



Monitoramento Inteligente da Qualidade de Água em Caixas Residenciais

Bruna Franca Martinez¹, Geovanna da Silva Lima², Guilherme Soares Santos³, Lucas Cesar Kato⁴, Pedro Henrique Mansano Fernandes⁵, Wallace Santana⁶

Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM)
Rua da Consolação, 930 Consolação, São Paulo - SP, 01302-907 - Brasil

10420225@mackenzista.com.br¹, 10420059@mackenzista.com.br²,
10428380@mackenzista.com.br³, 10419319@mackenzista.com.br⁴,
10388037@mackenzista.com.br⁵, 1165744@mackenzie.br⁶

Abstract.

This article presents the development of an intelligent water quality monitoring system for residential tanks, based on Internet of Things (IoT) technologies. The project integrates pH, turbidity, and temperature sensors connected to an ESP32 device, with data transmission through the MQTT protocol, processing in Node-RED, and visualization using Grafana dashboards. Furthermore, the system provides automatic notifications via the WhatsApp API, enabling immediate preventive actions in risk situations. The results demonstrate the feasibility of the solution, showing accuracy in data collection and efficiency in identifying critical parameters, thus contributing to public health and aligning with SDG 6 of the 2030 Agenda.

Resumo

Este artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema de monitoramento inteligente da qualidade da água em caixas residenciais, utilizando tecnologias de Internet das Coisas (IoT). O projeto integra sensores de pH, turbidez e temperatura conectados a um dispositivo ESP32, com transmissão via protocolo MQTT, processamento em Node-RED e visualização em dashboards no Grafana. Além disso, o sistema emite notificações automáticas por meio da API do WhatsApp, permitindo ações preventivas imediatas no caso de situações de risco. Os resultados indicam a viabilidade da solução, demonstrando precisão na coleta de dados e eficiência na identificação de parâmetros críticos, contribuindo diretamente para a saúde pública e se alinhando ao ODS 6 da Agenda 2030.

1. Introdução

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU, 2023), a qualidade da água destinada ao consumo humano é um dos principais fatores que afetam a saúde pública. Garantir o acesso universal à água potável de qualidade é um dos pilares do ODS 6 – Água potável e

saneamento, que busca assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água para todos até 2030.

Segundo Julião et al. (2021) negligenciar a limpeza das caixas-d’água domésticas pode torná-las uma fonte de contaminação, evidenciando a importância do monitoramento contínuo da água armazenada. A World Health Organization (WHO, 2017) recomenda que o pH da água potável esteja entre 6,5 e 8,5, pois valores fora desse intervalo podem favorecer a corrosão das tubulações, reduzir a eficácia da cloração e causar desconforto ao consumo.

De acordo com a WHO (2017), a turbidez deve ser inferior a 5 Unidades de Turbidez Nefelométrica (NTU), sendo ideal menor que 1 NTU, para garantir a efetividade da desinfecção e evitar riscos microbiológicos. Como ressaltam Wu et al. (2021), “a ausência de sistemas inteligentes de acompanhamento em reservatórios aumenta a probabilidade de contaminação e coloca em risco a segurança hídrica das comunidades” (p. 4225).

Nesse contexto, Maqsood et al. (2020), os sensores conectados às plataformas em nuvem permitem coletar dados ambientais e gerar alertas imediatos, facilitando tanto a prevenção de riscos sanitários quanto a gestão de recursos hídricos. Ainda segundo os autores, o uso de dispositivos como ESP32, associado a sensores de pH, temperatura e turbidez, “tem baixo custo e alta aplicabilidade em cenários residenciais” (Maqsood et al., 2020, p. 124).

O Ministério da Saúde (2021) recomenda que a água para consumo seja mantida abaixo de 25 °C, pois temperaturas elevadas favorecem a proliferação bacteriana, reduzem a eficácia da desinfecção por cloro e mudam seu sabor.

Portanto, o presente projeto propõe o desenvolvimento de um sistema IoT que integra sensores de pH, turbidez e temperatura, um dispositivo ESP32, comunicação via broker MQTT, processamento em Node-RED, banco de dados em nuvem e visualização por dashboards no Grafana, além de envio de notificações automáticas via API do WhatsApp. Dessa forma, busca-se contribuir para a melhoria da saúde pública e para o cumprimento do ODS 6 da Agenda 2030, com foco em soluções práticas e acessíveis para residências brasileiras.

2. Materiais e Métodos

O presente projeto foi desenvolvido com base em tecnologias de Internet das Coisas (IoT) para monitoramento da qualidade da água em caixas-d’água residenciais, visando acompanhar os parâmetros de pH, turbidez e temperatura. O sistema foi estruturado de forma a permitir a coleta, o processamento, o armazenamento e a visualização dos dados em tempo real, além do envio de

notificações automáticas ao usuário quando detectados níveis fora dos padrões de potabilidade definidos pela World Health Organization (WHO, 2017).

2.1. Componentes de Hardware

O ESP32 foi o microcontrolador central do sistema, responsável pela aquisição dos dados dos sensores e pela comunicação com o servidor. O dispositivo possui conectividade Wi-Fi integrada e baixo consumo energético. Sua programação foi realizada na IDE do Arduino, utilizando o protocolo MQTT para o envio contínuo dos dados ao Node-RED, que por sua vez encaminhou as medições para o InfluxDB, permitindo posteriormente sua visualização e análise no Grafana.



Figura 1. Módulo ESP32

O sensor de pH analógico foi empregado para medir o grau de acidez ou alcalinidade da água, em uma escala de 0 a 14. O sensor converte o potencial elétrico gerado pela diferença de íons de hidrogênio em um sinal analógico, posteriormente lido pelo conversor ADC do ESP32. O valor ideal de pH da água potável situa-se entre 6,5 e 8,5, conforme as diretrizes da WHO (2017), sendo que valores fora dessa faixa podem indicar corrosão de tubulações ou presença de contaminantes.



Figura 2. Sensor de pH

O sensor de turbidez detecta a presença de partículas em suspensão na água por meio da dispersão da luz emitida em um feixe infravermelho. Quando a água contém impurezas, a intensidade da luz refletida aumenta, permitindo estimar o nível de turbidez. De acordo com a WHO (2017), a turbidez deve ser inferior a 5 NTU, sendo o ideal menor que 1 NTU. O sinal do sensor é lido pelo ESP32, convertido em valor numérico e transmitido via MQTT para armazenamento.



Figura 3. Sensor de Turbidez

O sensor de temperatura DS18B20 mede a temperatura da água em tempo real, enviando os dados ao ESP32 através de comunicação digital One-Wire. A temperatura da água é um fator determinante para o crescimento microbiano e para a eficácia do cloro residual, sendo recomendado que permaneça abaixo de 25 °C (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2024).



Figura 4. Sensor de Temperatura

2.2. Componentes de Software

A transmissão dos dados entre o ESP32 e o servidor foi realizada via protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), amplamente utilizado em sistemas IoT pela eficiência na comunicação publish/subscribe. O ESP32 publicou os valores de pH, turbidez e temperatura em tópicos específicos, enquanto o Node-RED atuou como cliente subscriber.

O Node-RED foi utilizado no processo de fluxos de dados, a ferramenta permitiu conectar dispositivos, processar informações e definir lógicas de automação com interface gráfica, sendo responsável por:

1. Receber os dados via MQTT;
2. Armazenar os valores no banco de dados InfluxDB;
3. Acionar a API do WhatsApp para notificar o usuário quando detectadas condições críticas.

O InfluxDB foi escolhido para o armazenamento por ser um banco de dados time-series, otimizado para dados com carimbo de tempo. Cada medição foi registrada com as variáveis de pH, turbidez e temperatura, permitindo análises temporais e correlação entre os parâmetros.

A plataforma Grafana foi utilizada para a visualização dos dados coletados em tempo real. Foram criados dashboards que exibem gráficos dos parâmetros de pH, turbidez e temperatura, possibilitando o acompanhamento visual do estado da água armazenada e a identificação de anomalias.

A API do WhatsApp foi integrada ao Node-RED para o envio de mensagens automáticas aos usuários quando os parâmetros ultrapassavam limites pré-definidos. Essa funcionalidade aumenta a usabilidade e permite resposta rápida às situações de risco, como necessidade de limpeza da caixa-d'água.

3. Resultados

O desenvolvimento do projeto “Monitoramento Inteligente da Qualidade de Água em Caixas Residenciais” permitiu validar a viabilidade de um sistema IoT para o acompanhamento em tempo real dos parâmetros de qualidade da água. Os testes foram realizados contemplando a aferição de pH, turbidez e temperatura em condições simuladas. Durante a implementação, surgiram desafios associados principalmente ao protótipo físico, como dificuldades de conexão entre os sensores e o ESP32, necessidade de ajustes elétricos manuais e instabilidade nas leituras iniciais.

Outro fator relevante foi a calibragem do sensor de pH. Idealmente, a calibração deve ser feita utilizando soluções buffer padronizadas (pH 4, 7 e 10). Contudo, a equipe não teve acesso aos buffers apropriados durante o período de testes. Como alternativa, foi necessário recorrer a uma solução improvisada, ajustando manualmente os valores de referência com base em leituras comparativas utilizando água filtrada e água sanitária. Embora não seja o método mais preciso, essa abordagem permitiu estabilizar temporariamente o sensor e registrar variações coerentes durante a simulação.

3.1. Resultados iniciais no Node-RED

Antes da análise gráfica, foi possível visualizar no Node-RED o fluxo completo dos dados recebidos via MQTT. Cada valor de pH, turbidez e temperatura foi exibido em tempo real no debug console, confirmando que:

- o ESP32 estava enviando dados continuamente;
- os sensores estavam conectados e registrando valores coerentes;
- o fluxo Node-RED → InfluxDB funcionava corretamente.

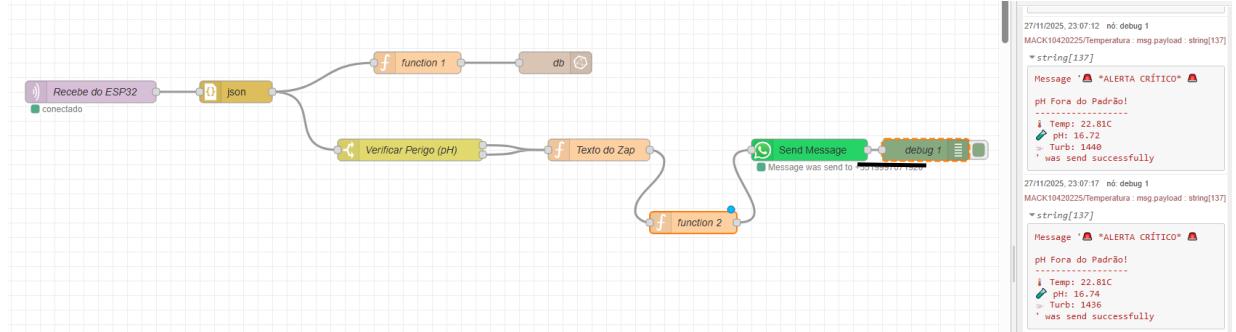


Figura 5. Configurações Node-RED

Esses resultados foram essenciais para validar o pipeline antes da etapa de análise em dashboards.

3.2. Resultados do sensor de pH

O sensor de pH demonstrou capacidade de registrar com precisão as variações de acidez e alcalinidade, possibilitando identificar quando os valores ultrapassavam os limites recomendados de 6,5 a 8,5 (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2017).

A Figura 6 apresenta o tipo de visualização gerada pelo sistema, que permitiu o acompanhamento contínuo das oscilações de pH ao longo do tempo. O sistema também enviou alertas automáticos via WhatsApp sempre que o pH esteve fora da faixa segura, contribuindo para ações preventivas imediatas e demonstrando a efetividade da automação proposta.

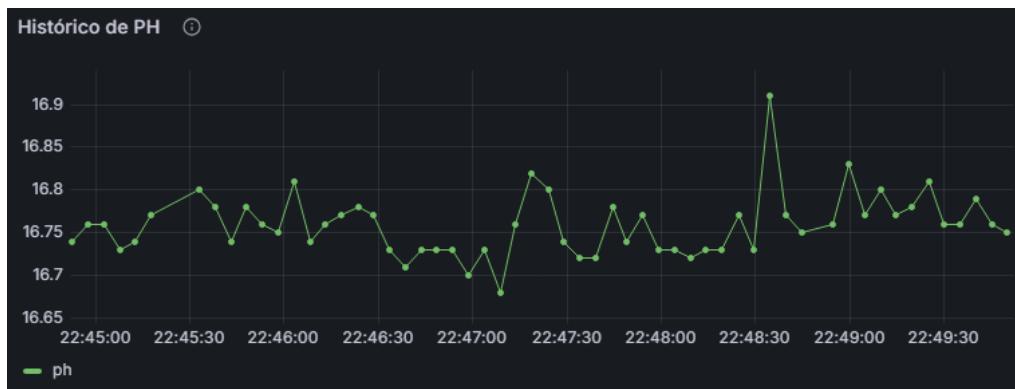


Figura 6. Gráfico de medição de PH

3.3. Resultados do sensor de turbidez

O sensor de turbidez identificou corretamente a presença de partículas em suspensão na água. A Figura 7 apresenta um exemplo dos dados coletados pelo sistema, que classificou os níveis conforme os padrões estabelecidos pela WHO (2017). De acordo com os resultados, foi possível observar que os valores permaneceram predominantemente na faixa entre 1 e 5 NTU, classificada como “água levemente turva”, mantendo-se abaixo do limite crítico de 5 NTU. O sistema acionou alertas sempre que a turbidez ultrapassou os limites aceitáveis, garantindo a efetividade do monitoramento e contribuindo para a prevenção de riscos microbiológicos.

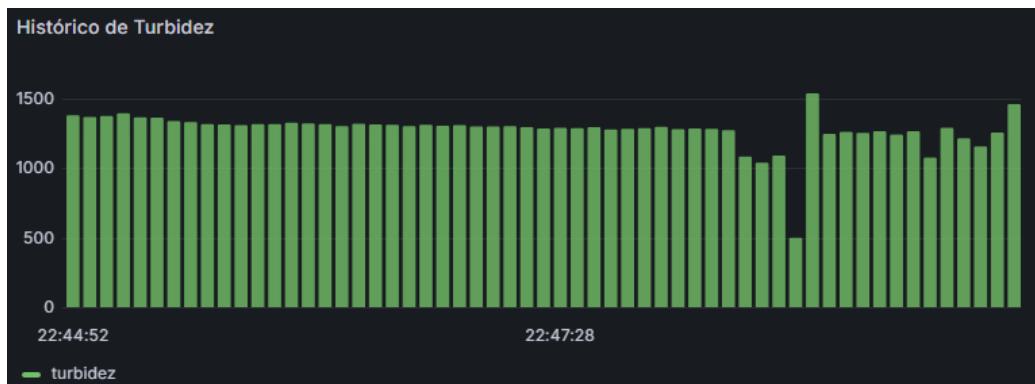


Figura 7. Gráfico de Turbidez da água

3.4. Resultados do sensor de temperatura

O sensor de temperatura apresentou desempenho satisfatório quando submetido a diferentes condições (água resfriada, em temperatura ambiente e aquecida) com variação máxima de aproximadamente $\pm 0,3$ °C em relação a um termômetro digital de referência.

A Figura 8 ilustra um exemplo de visualização dos dados de temperatura. As barras verdes representam os valores registrados diariamente, enquanto a linha indica o limite máximo aceitável (25 °C). Observou-se que, na maior parte do período, a temperatura permaneceu dentro da faixa adequada, aproximando-se do limite apenas em alguns dias, o que evidencia a eficiência do sistema em identificar situações críticas.

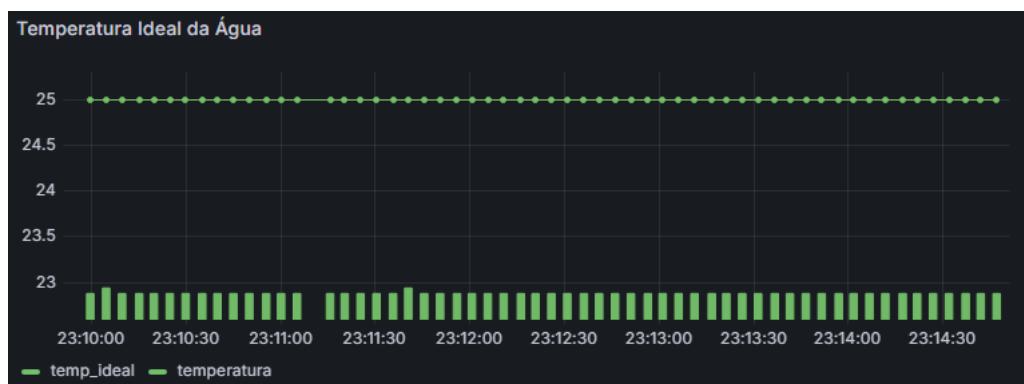


Figura 8. Gráfico de temperatura ideal da água

3.5. Resultados do Dashboard

Assim, foi criado um dashboard completo no Grafana para acompanhar, em tempo real, os parâmetros de pH, turbidez e temperatura. O painel foi estruturado com três gráficos principais, cada um dedicado a um dos sensores, permitindo uma interpretação rápida e integrada do comportamento da água monitorada.

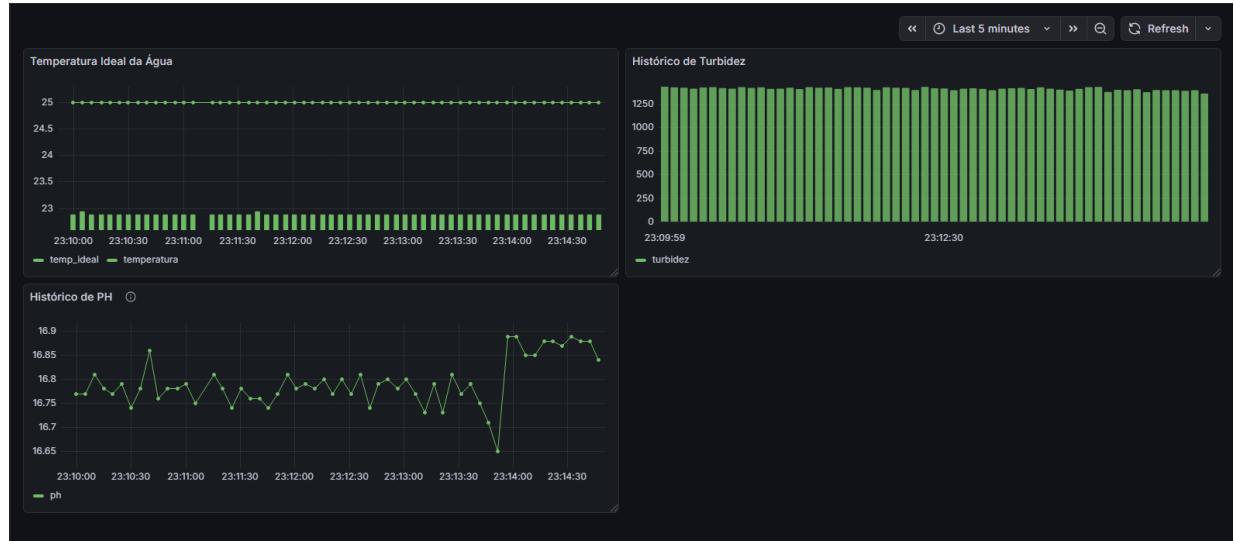


Figura 9. Dashboard completo no Grafana

3.6. Notificações via WhatsApp

Após a análise gráfica e identificação de valores fora dos limites seguros, o sistema enviou automaticamente mensagens ao usuário via API do WhatsApp. As notificações continham:

- o parâmetro alterado;
- o valor registrado.

Esse recurso demonstrou ser extremamente útil, garantindo resposta rápida frente a situações de risco.

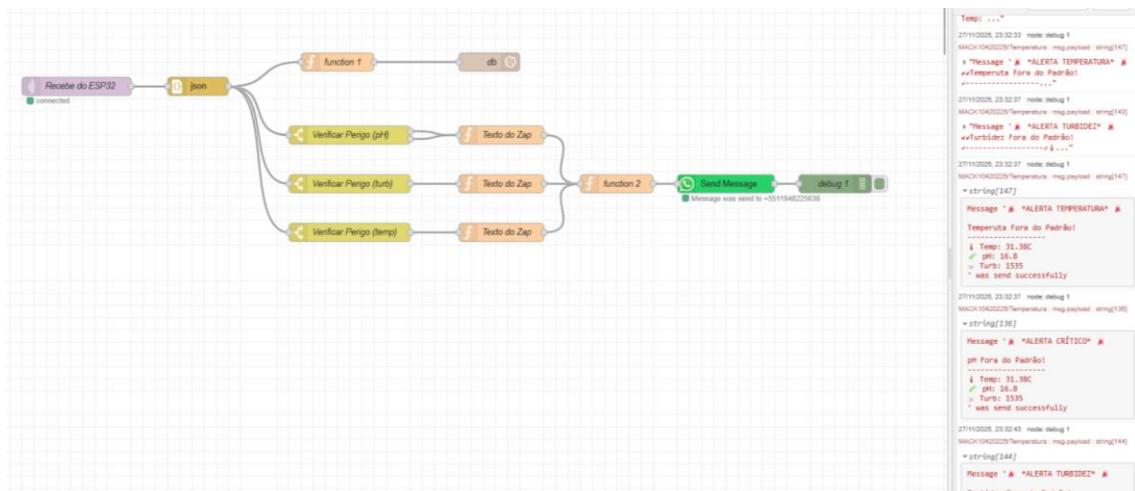


Figura 10. Envio de mensagem Node-RED



Figura 11. Mensagem de alerta

4. Conclusões

O projeto desenvolvido comprovou a viabilidade técnica e funcional de um sistema inteligente para monitoramento da qualidade da água em caixas residenciais, baseado em tecnologias de Internet das Coisas (IoT). A integração entre o microcontrolador ESP32 e os sensores de pH, turbidez e temperatura possibilitou a coleta precisa e em tempo real de dados essenciais para a avaliação da potabilidade da água armazenada. Os testes realizados demonstraram que o sistema foi capaz de identificar variações relevantes nos parâmetros monitorados e emitir alertas imediatos via WhatsApp sempre que valores críticos foram detectados, permitindo ações preventivas com maior agilidade.

Além disso, a arquitetura implementada com Node-RED, InfluxDB e Grafana permitiu uma visualização clara, organizada e historicamente registrada das medições, contribuindo para o entendimento contínuo do comportamento da água armazenada. O baixo custo e a acessibilidade dos componentes reforçam o potencial de adoção do sistema em contextos residenciais diversos, apoando iniciativas de saúde pública e alinhando o projeto ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 (ODS 6), que visa assegurar água potável e saneamento para todos.

Durante o desenvolvimento, entretanto, foram enfrentadas diversas dificuldades, sobretudo decorrentes da decisão de construir um protótipo físico, e não apenas um digital. A equipe não possuía experiência prévia em elétrica e eletrônica, o que tornou desafiador compreender o funcionamento das conexões, a pinagem dos sensores e a lógica de integração com o ESP32. A calibragem dos dispositivos também representou um obstáculo significativo: em vários momentos, os sensores apresentaram leituras inconsistentes, gerando dúvidas sobre sua integridade ou sobre a forma como estavam sendo manipulados. Em determinados estágios do projeto, acreditou-se até que o sistema não funcionaria, especialmente quando dificuldades simples, como problemas com fiação, ruído elétrico ou resistência inadequada, impediam o funcionamento correto dos sensores. Essas dificuldades, porém, contribuíram para a aprendizagem prática da equipe e enriqueceram o processo formativo, consolidando conhecimentos que dificilmente seriam adquiridos apenas em ambiente teórico.

Portanto, conclui-se que o sistema proposto demonstrou não apenas viabilidade, mas também potencial de expansão para aplicações mais amplas, como condomínios e ambientes coletivos. Como trabalhos futuros, recomenda-se aprimorar o hardware, aplicar técnicas de aprendizado de máquina para previsão de anomalias e explorar sensores adicionais que permitam ampliar a gama de parâmetros monitorados. Assim, o projeto se apresenta como uma solução prática, acessível e alinhada às demandas atuais por monitoramento ambiental eficiente e orientado por dados.

5. Referências

DFROBOT. **Analog pH Sensor V2.** 2023. Disponível em:

https://wiki.dfrobot.com/Analog_pH_Sensor_V2_SKU_SEN0161-V2. Acesso em: 08 nov. 2025.

JULIÃO, Fabiana Cristina et al. **Storage tanks for household water usage in Brazil: microbiological and chemical quality, and maintenance of sanitary conditions.** Arquivos de Ciências da Saúde (Rio Preto), v. 28, n. 1, p. 11-15, 2021. Disponível em:
<https://doi.org/10.17696/2318-3691.28.1.2021.1802>. Acesso em: 08 nov. 2025.

KEYESTUDIO. **Turbidity Sensor Module KS0429.** 2022. Disponível em:

https://wiki.keyestudio.com/Turbidity_Sensor_Module_SKU:_KS0429. Acesso em: 08 nov. 2025.

MAQSOOD, T.; et al. **IoT-based smart water quality monitoring: Recent techniques, trends and challenges**. Journal of Cleaner Production, v. 270, p. 122-156, 2020.

MAXIM INTEGRATED. **DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer**. 2023. Disponível em: <https://www.maximintegrated.com/en/products/sensors/DS18B20.html>. Acesso em: 08 nov. 2025.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021**. Estabelece os procedimentos de controle da qualidade da água para consumo humano. Brasília, 2021.

OLIVEIRA, R. S.; et al. **Visualização de dados ambientais com dashboards: aplicações para saneamento**. Revista Brasileira de Computação Aplicada, v. 13, n. 2, p. 45-57, 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2023. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Guidelines for Drinking-water Quality**. 4th ed. Geneva: WHO, 2017.

WU, J.; et al. **Smart water quality monitoring system using IoT and cloud**. Sensors, v. 21, n. 12, p. 4224, 2021.