



UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

Faculdade de Computação e Informática



Protótipo de baixo custo para regulação autônoma do pH em reservatórios de água usando IoT

Alex Cruz, Arthur Jones, Luis Felipe Nascimento, Wallace Rodrigues de Santana

¹Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM)

Rua da Consolação, 930 Consolação, São Paulo - SP, 01302-907 - Brasil

{10420357@mackenzista.br, 10420317@mackenzista.br,
10420572@mackenzista.com.br, 1165744@mackenzie.br}

Abstract. This article presents the development of an IoT-based water quality monitoring system integrating pH and temperature sensors with a complete data processing and visualization pipeline. Sensor readings obtained through an Arduino-based microcontroller are transmitted via MQTT, processed in Node-RED, stored in InfluxDB, and displayed in real time through Grafana dashboards. The system also incorporates meteorological data from the OpenWeather API, enabling external temperature comparison, compensation, and contextual environmental analysis. Automated alerts are implemented through Telegram, allowing immediate notifications when the pH value exceeds predefined thresholds. A prototype using an initial reservoir was assembled to validate the architecture and demonstrate continuous monitoring in a low-cost and accessible setup. Preliminary results confirm the feasibility and stability of the system, as well as its potential for future expansion, such as automated pH regulation using safe reagents and additional actuators. The project aims to deliver a scalable, practical, and efficient tool for water quality supervision, reducing manual measurements while enhancing data reliability and decision-making.

Resumo. Este artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema de monitoramento da qualidade da água baseado em IoT, integrando sensores de pH e temperatura a uma infraestrutura completa de processamento e visualização de dados. As leituras, obtidas por um microcontrolador baseado em Arduino, são transmitidas via MQTT, tratadas no

Node-RED, armazenadas no InfluxDB e exibidas em tempo real em painéis no Grafana. O sistema também incorpora dados meteorológicos provenientes da API OpenWeather, permitindo comparação com a temperatura ambiente, compensação térmica e análise ambiental contextualizada. Alertas automáticos são enviados por meio do Telegram, garantindo notificações imediatas sempre que o pH ultrapassa limites predefinidos. Um protótipo foi construído utilizando um recipiente inicial para validação da arquitetura e demonstração do monitoramento contínuo em uma solução de baixo custo e fácil implementação. Os resultados iniciais comprovam a viabilidade e estabilidade da solução, além de seu potencial para expansões futuras, como a regulação automática do pH utilizando reagentes seguros e atuadores adicionais. O projeto busca oferecer uma ferramenta escalável, prática e eficiente para supervisão da qualidade da água, reduzindo medições manuais e aumentando a confiabilidade e a capacidade de análise dos dados.

1. Introdução

O acesso à água potável e segura, meta central do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 (ODS 6) da ONU, permanece um desafio crítico em diversas comunidades (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2015). Em regiões que dependem de reservatórios e cisternas, a manutenção da potabilidade exige não apenas armazenamento adequado, mas também o monitoramento contínuo de parâmetros físico-químicos, como pH e temperatura, fundamentais para prevenir degradação da qualidade da água.

Nesse contexto, este projeto propõe o desenvolvimento de um sistema de monitoramento inteligente baseado em Internet das Coisas (IoT), integrando sensores de pH e temperatura a uma arquitetura completa de aquisição, processamento, análise e notificação. A proposta inspira-se em iniciativas como o Projeto Cisternas Inteligentes da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG, 2023), que demonstram a relevância do uso de sensores e tecnologias de comunicação para ampliar a segurança hídrica em comunidades vulneráveis.

A solução desenvolvida neste estudo é composta por um microcontrolador baseado em Arduino responsável pela leitura dos sensores e pelo envio dos dados via protocolo

MQTT. As informações são processadas no Node-RED, armazenadas em um banco de dados temporal InfluxDB e visualizadas em dashboards no Grafana, permitindo acompanhamento em tempo real e análise histórica. Em paralelo, o sistema integra dados meteorológicos provenientes da API OpenWeather, utilizados para comparação com a temperatura ambiente e, quando necessário, ajuste térmico das leituras do pH, aspecto essencial para melhorar a precisão das medições (SMITH, 2021).

Além das funcionalidades de monitoramento, o projeto incorpora a API do Telegram para envio de alertas automáticos sempre que o pH ultrapassa os limites definidos ou retorna à normalidade. Essa camada adicional de comunicação amplia o caráter preventivo da solução, garantindo resposta rápida a potenciais riscos à qualidade da água.

A literatura aponta que tecnologias baseadas em IoT desempenham papel fundamental no monitoramento contínuo de parâmetros ambientais, permitindo maior precisão, menor custo operacional e melhor capacidade de ação preventiva (ALAM et al., 2019; SILVA; COSTA, 2020). A integração de dados climáticos externos, conforme discutido por Lee et al. (2020), fortalece ainda mais a análise contextual, tornando os sistemas mais robustos e confiáveis.

Embora o foco principal deste trabalho seja o monitoramento, a arquitetura proposta foi planejada para permitir expansões futuras, como a regulação automática do pH por meio de atuadores acoplados a reservatórios de reagentes seguros, reforçando o caráter modular e escalável da solução.

Por fim, este projeto busca demonstrar a viabilidade técnica e social da convergência entre sensores de baixo custo, plataformas IoT e serviços externos como estratégia eficaz para o monitoramento e preservação da qualidade da água em reservatórios domésticos. A solução proposta visa reduzir a necessidade de medições manuais, aumentar a precisão das leituras e fornecer autonomia operacional por meio de notificações inteligentes e análise contínua dos parâmetros monitorados.

2. Materiais e Métodos

2.1 Sensor de PH-4502C

O Sensor de pH para Arduino é um módulo amplamente utilizado em aplicações de análise química, aquarismo, hidroponia e monitoramento ambiental. Ele é composto por dois elementos principais:

- Eletrodo de pH, responsável pela medição química da solução;
- Módulo eletrônico condicionador, que adapta o sinal para leitura pelo microcontrolador (por exemplo, Arduino UNO).

O eletrodo pode permanecer submerso no líquido enquanto o módulo eletrônico permanece externamente, conectado ao microcontrolador. O pH, ou potencial hidrogeniônico, indica a quantidade de íons H⁺ presentes na solução, o que determina se ela é ácida, neutra ou alcalina.

Características do Sensor de pH:

- Tensão de aquecimento: 5 ±0,2V (AC/DC)
- Corrente de trabalho: 5–10 mA
- Tempo de resposta: 5 s
- Tempo de estabilização: 60 s
- Potência do componente: 0,5 W
- Saída: Analógica
- Faixa de medição: 0,00 ~ 14,00 pH
- Erro alcalino: 0,2 pH

Figura 1: Sensor de pH-4502C



Fonte: Usinainfo (2022).

2.2 Sensor de Temperatura DS18B20

O DS18B20 é um sensor de temperatura da Dallas/Maxim com saída digital programável de 9 a 12 bits. A funcionalidade básica do sensor é a medição de temperatura com saída diretamente em digital. A resolução do sensor de temperatura é configurada pelo usuário em 9, 10, 11 e 12 bits, correspondendo a incrementos $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0,25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0,125\text{ }^{\circ}\text{C}$, e $0,0625\text{ }^{\circ}\text{C}$ por bit respectivamente.

A comunicação entre o microcontrolador e o sensor se dá sobre um barramento de um fio, do qual pode-se derivar sua alimentação (parasitic power).

Cada unidade de DS18B20 contém um código serial único de 64 bits que permite o funcionamento de diversos sensores no mesmo barramento.

O componente pode ser alimentado por tensão entre 3 e 5,5V com uma corrente de standby de menos de 3uA. A conversão de temperatura em 12 bits é realizada em 750 ms, enquanto a medição em 9 bits acontece em menos de 94 ms.

Características do Sensor de Temperatura DS18B20

- Chip: DS18B20 (Datasheet)
- Tensão de operação: 3-5,5V
- Faixa de medição: $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Precisão: $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$

- Ponta de aço inoxidável
- Dimensão do cabo: 100cm

Figura 2: Sensor de Temperatura DS18B20



Fonte: Alfacomp (2019).

2.3 ESP-01 (ESP8266)

O módulo ESP-01, baseado no chipset ESP8266, é um microcontrolador Wi-Fi compacto e muito utilizado em projetos IoT (Internet das Coisas). Ele pode funcionar tanto sozinho quanto como módulo complementar ao Arduino UNO, permitindo conectividade com redes sem fio e comunicação via protocolos como HTTP, MQTT e TCP/IP.

O ESP-01 possui dois pinos GPIO utilizáveis, memória interna para pequenos programas e suporte para firmware AT ou versões customizadas como NodeMCU (Lua) e MicroPython. Sua principal função neste projeto é enviar dados para servidores remotos ou receber comandos externos, permitindo que o sistema opere de forma conectada e automatizada.

Características do ESP-01:

- Chip: ESP8266EX

- Wi-Fi: 802.11 b/g/n
- Tensão de operação: 3,3 V (atenção: não suporta 5 V diretamente)
- Memória Flash: 512 KB ou 1 MB
- Protocolos suportados: TCP, UDP, HTTP, MQTT
- Dois GPIO disponíveis (GPIO0 e GPIO2)
- Baixo consumo em modo Deep Sleep

Figura 3: ESP-01



Fonte: Saravati (2022)

2.4 Servo Motor SG90

O servo motor SG90 é um microservo muito utilizado em projetos mecânicos de pequeno porte, como automatização de portas, sistemas de posicionamento, braços robóticos e abertura de recipientes. Ele utiliza sinal PWM (Pulse Width Modulation) para posicionar o eixo com precisão em até 180°. Seu sistema interno é composto por engrenagens e um potenciômetro que garante o controle de ângulo. O funcionamento consiste em enviar pulsos com durações específicas, correspondendo a posições angulares predefinidas.

Características do Servo SG90:

- Modelo: SG90 – micro servo
- Tensão de operação: 4,8 V a 6 V
- Consumo em operação: ~200 mA
- Torque: 1,8 kgf·cm
- Ângulo de rotação: ~180°
- Sinal de controle: PWM (50 Hz)
- Engrenagens de nylon

Figura 4 – Servo Motor SG90



Fonte: Eletrogate (2024).

2.5 Arduino UNO R3

O Arduino UNO R3 é uma das placas de prototipagem mais utilizadas do mundo, especialmente em ensino e automação. Baseado no microcontrolador ATmega328P, oferece 14 pinos digitais, 6 entradas analógicas, comunicação USB, alimentação externa e compatibilidade com milhares de módulos e sensores. No projeto, o Arduino atuará como unidade central de controle, fazendo a leitura dos sensores, acionando o servo motor e enviando dados ao ESP-01 quando necessário.

Características do Arduino UNO R3:

- Microcontrolador: ATmega328P
- Tensão de operação: 5 V
- Alimentação externa: 7–12 V
- Pinos digitais: 14 (6 com PWM)
- Entradas analógicas: 6
- Clock: 16 MHz
- Conexão USB tipo B
- Memória Flash: 32 KB
- SRAM: 2 KB
- EEPROM: 1 KB

Figura 5 – Arduino Uno R3



Fonte: MakerHero (2017).

2.6 Protoboard Longa

A protoboard é uma matriz de conexões reutilizável que permite montar circuitos sem a necessidade de solda. A protoboard longa oferece maior área para montagem de circuitos com múltiplos sensores e módulos, facilitando conexões estáveis entre o Arduino, ESP-01, sensores e servo motor.

Ela possui trilhas laterais de alimentação (linhas de + e -) e uma área central dividida por colunas condutivas.

Características da protoboard longa:

- Material: ABS isolante
- Linhas de alimentação duplas
- Aproximadamente 830 furos (dependendo do modelo)
- Reutilizável e indicada para prototipagem rápida

Figura 6 – Protoboard Longa



Fonte: MakerHero (2024).

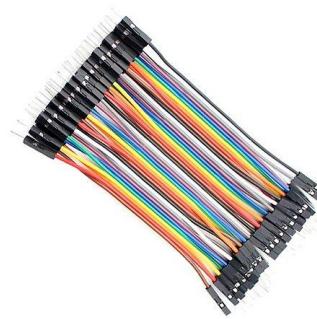
2.7 Jumpers (Cabos de Conexão)

Os jumpers são cabos utilizados para realizar ligações elétricas entre os pinos de sensores, módulos e protoboard. Eles podem ser do tipo macho-macho, macho-fêmea ou fêmea-fêmea, dependendo dos dispositivos conectados. No projeto, os jumpers são essenciais para estabelecer as ligações entre o Arduino, o módulo de pH, o ESP-01 e o servo motor.

Características dos Jumpers:

- Tipos: macho-macho, macho-fêmea, fêmea-fêmea
 - Comprimentos variados (15 cm, 20 cm, 30 cm...)
 - Material: cobre estanhado com isolamento em PVC
 - Ideal para prototipagem e testes elétricos

Figura 7 - Jumpers



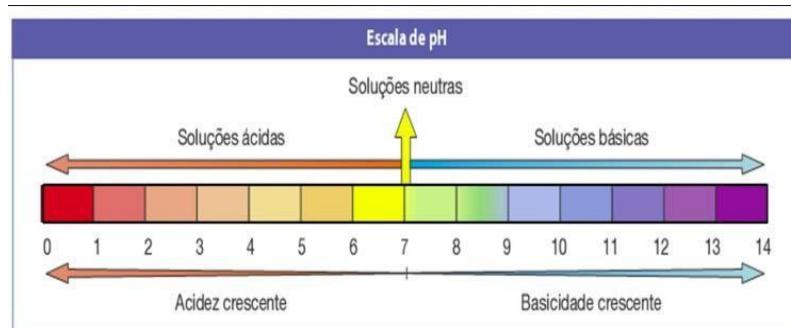
Fonte: Eletrogate (2018).

2.8 Comportamento do pH e Relação com a Alcalinidade

O pH é uma medida que indica o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade de uma solução. Ele varia em uma escala de 0 a 14, onde:

- pH < 7: indica meio ácido
- pH = 7: indica meio neutro
- pH > 7: indica meio alcalino (básico)

Figura 8 – Escala pH



Fonte: Descomplica (2017).

O pH é fundamental porque influencia diretamente reações químicas, processos biológicos e a qualidade da água. Em sistemas aquáticos, por exemplo, valores muito altos ou muito

baixos podem comprometer o equilíbrio químico e afetar o desempenho de processos como tratamentos, filtragem e estabilização.

A alcalinidade está relacionada à capacidade da água de neutralizar ácidos e funciona como um "tampão" que ajuda a manter o pH estável. Por isso, gráficos de alcalinidade costumam ser analisados em conjunto com a variação do pH: quando a alcalinidade diminui, a água fica mais suscetível a mudanças bruscas no pH. Manter um pH adequado e estável é essencial para garantir eficiência, segurança e qualidade nos processos que dependem dessas variáveis.

2.9 Reagentes e Sistema de Correção do pH

Para viabilizar a correção controlada do pH da água no protótipo, foram selecionados reagentes com segurança adequada ao manuseio e eficácia compatível com sistemas de pequeno porte. Nos casos em que o pH apresenta valores inferiores a 6, optou-se pelo uso de carbonato de sódio (Na_2CO_3) ou bicarbonato de sódio, substâncias amplamente reconhecidas pela capacidade de elevar o pH e aumentar a alcalinidade da água. O uso de carbonato de sódio como agente neutralizante e elevador de pH é documentado em materiais educacionais e técnicos sobre tratamento de água e piscinas, demonstrando sua aplicabilidade como corretor alcalino em contextos seguros e de baixa complexidade (ENVIRONMENTAL LITERACY COUNCIL, 2025; ACQUIPHERA, 2024; SANTIAGO, 2016).

Para situações nas quais o pH ultrapassa valores acima de 8, a alternativa adotada foi o ácido cítrico (food grade), um ácido orgânico de baixa periculosidade. Embora a literatura científica aponte que sistemas profissionais de tratamento de água geralmente utilizam ácidos inorgânicos, como ácido clorídrico ou ácido fosfórico, estudos também indicam que ácidos orgânicos podem desempenhar papel como ajustadores de pH em determinadas aplicações experimentais ou de pequeno porte, desde que avaliadas suas limitações e cuidados

(KIM et al., 2020; LI et al., 2021; LIU et al., 2021).

Dado que o presente projeto encontra-se em fase de protótipo inicial, o mecanismo de correção é composto por um único recipiente acoplado a um servo motor, responsável por

liberar pequenas quantidades do reagente conforme a faixa de pH medida. Nessa etapa, a estrutura ainda não permite dosagem precisa ou múltiplos reagentes, o que restringe o sistema à utilização de carbonato de sódio para elevar o pH e ácido cítrico para reduzi-lo, priorizando segurança e simplicidade operacional.

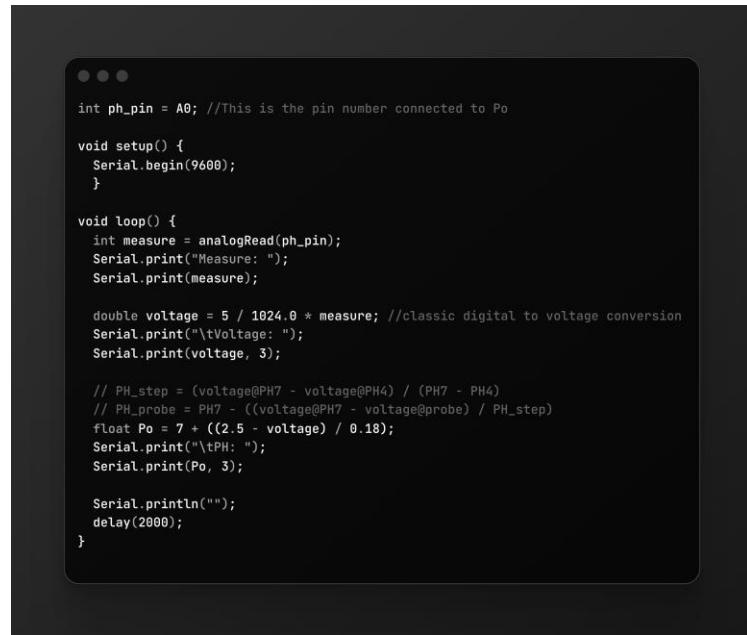
Futuramente, está prevista a integração de um módulo de dosagem automática, utilizando bombas peristálticas ou válvulas eletrônicas, o que possibilitará aplicar quantidades exatas de reagente de acordo com a necessidade real da água. Essa expansão permitirá que o sistema realize uma regulação fina, contínua e totalmente autônoma do pH, atendendo a padrões mais avançados de confiabilidade e controle.

2.10 Aquisição, Calibração e Processamento dos Dados de pH

O sensor de pH foi calibrado seguindo o procedimento recomendado para circuitos analógicos baseados em eletrodos de vidro. O ajuste foi realizado até que a saída analógica estabilizasse em 2,5 V, ponto correspondente ao pH neutro (7,0) segundo a curva de compensação típica do módulo sensor. Após a calibração, o microcontrolador ESP32/Arduino passou a enviar continuamente as leituras para um broker MQTT configurado em um servidor EC2 da Amazon Web Services (AWS).

O servidor MQTT foi disponibilizado pelo endereço IP público da instância EC2, utilizando a porta 1883, padrão para conexões não criptografadas. Todas as publicações realizadas pelo microcontrolador são recebidas pelo Node-RED, que opera como camada de processamento. No Node-RED, nodos mqtt in fazem a leitura contínua dos tópicos e direcionam as informações tanto para o banco de dados InfluxDB, responsável por armazenamento temporal, quanto para a API do Telegram, por meio de nodos específicos da plataforma. Dessa forma, sempre que o valor de pH ultrapassa os limites definidos ($\text{pH} < 6$ ou $\text{pH} > 8$), o sistema envia automaticamente um alerta ao usuário via Telegram.

Figura 9 – Código usado para Calibração



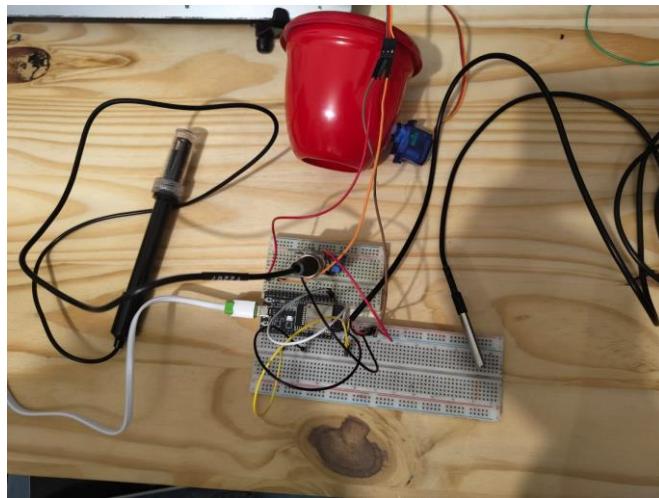
3. Resultados

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos durante a implementação e integração completa do sistema de monitoramento e automação. As evidências a seguir demonstram o funcionamento dos sensores, do fluxo MQTT, da coleta meteorológica via API, do processamento no Node-RED, do registro no InfluxDB e da visualização no Grafana, além do envio de alertas pelo Telegram.

3.1 Protótipo e Sensores Montados

A figura 9 apresenta o conjunto de sensores utilizados no experimento, incluindo o sensor de pH, o sensor de TDS, o sensor de temperatura e o microcontrolador responsável pela aquisição e transmissão dos dados.

Figura 10 – Sistema IoT

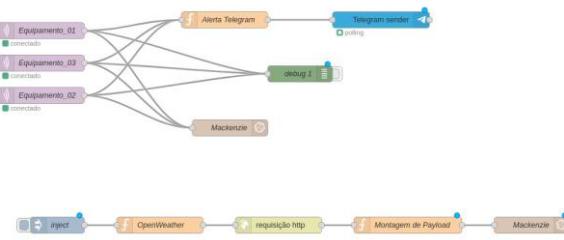


Fonte: Autoria própria

3.2 Publicações e Leitura dos Dados via MQTT

Após a calibração e estabilização das leituras, os sensores passaram a publicar continuamente os valores coletados no servidor MQTT hospedado na AWS EC2, utilizando o protocolo MQTT na porta 1883. A Figura 11 mostra a visualização das mensagens publicadas nos tópicos configurados no Node-RED.

Figura 11 – Fluxo low code node-red



Fonte: Autoria própria

3.3 Visualização dos Dados no Grafana

Com o envio dos sensores ao InfluxDB, foi possível construir dashboards completos no Grafana, permitindo o acompanhamento em tempo real dos parâmetros monitorados. As métricas exibidas incluem pH, temperatura e demais variáveis recebidas.

Figura 12 – Dashboard Geral Grafana

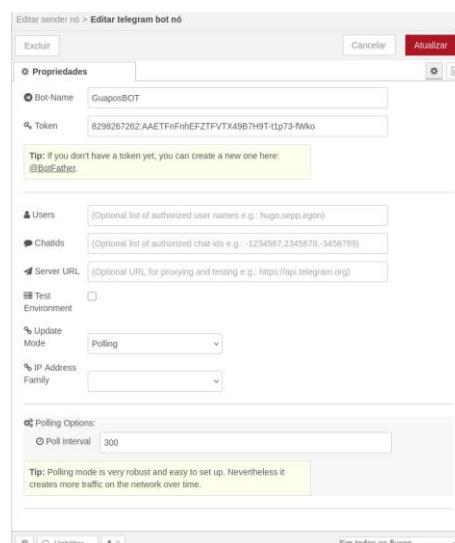


Fonte: Autoria própria

3.4 Integração com o Telegram e Testes de Notificação

A automação de alertas foi configurada no Node-RED utilizando uma function dedicada ao envio de notificações através do Telegram. A Figura 13 demonstra a lógica implementada e a confirmação de recebimento das mensagens no aplicativo.

Figura 13 – Nô Telegram

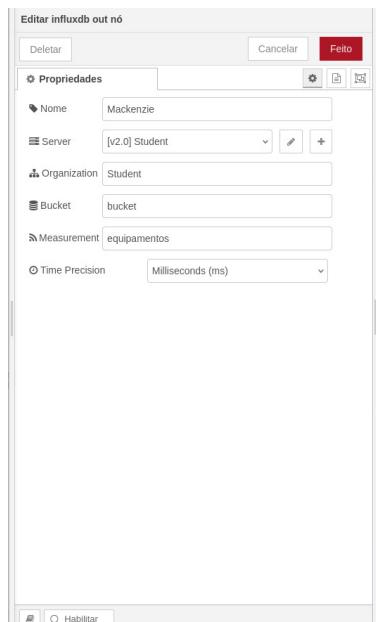


Fonte: Autoria própria

3.5 Registro dos Equipamentos no InfluxDB

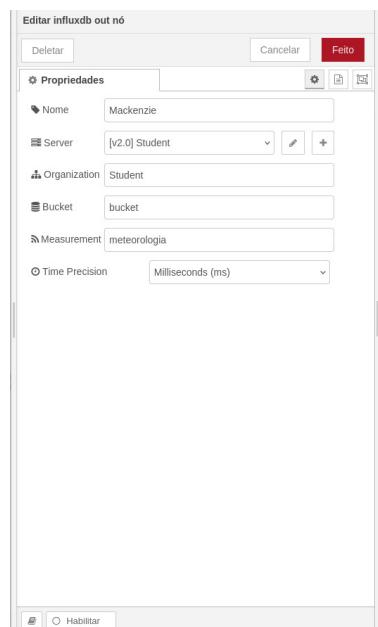
A solução também inclui um fluxo para registrar no InfluxDB informações relacionadas aos equipamentos utilizados, permitindo rastreamento e auditoria futura. As Figuras 14 e 15, apresentam os nós responsáveis por estruturar e enviar esses registros.

Figura 14 – Nô InfluxDB Postagem Equipamentos



Fonte: Autoria própria

Figura 15 – Nô InfluxDB Postagem Meteorologia

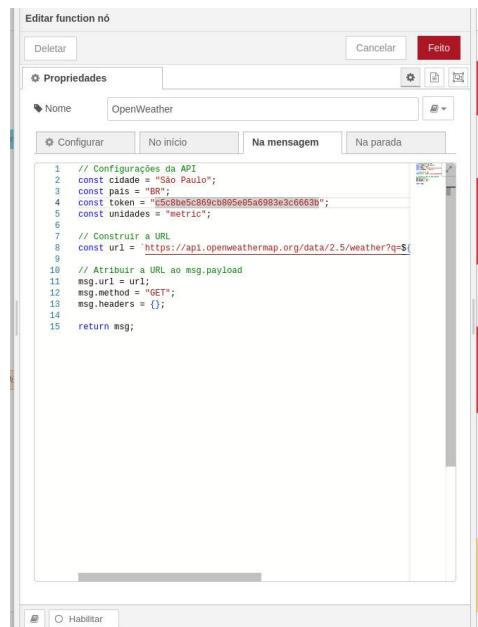


Fonte: Autoria própria

3.6 Coleta de Dados Meteorológicos via API OpenWeather

Além dos sensores físicos, o sistema consome dados meteorológicos em tempo real através da API OpenWeather. A primeira etapa consiste em uma função de aquisição HTTP que realiza a chamada ao endpoint oficial e retorna o JSON completo com as informações climáticas.

Figura 16 – Requisição para API OpenWeather

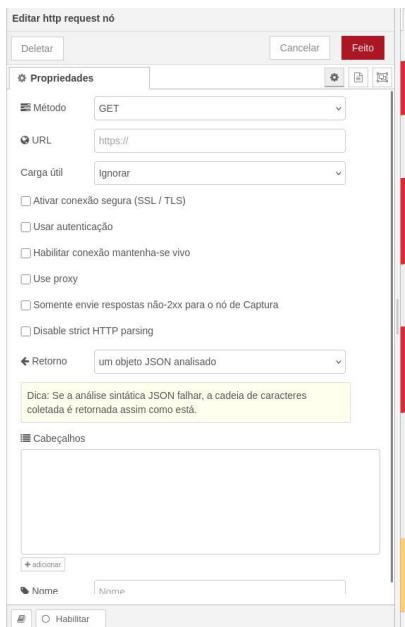


Fonte: Autoria própria

3.7 Processamento do JSON e Envio ao InfluxDB

O JSON retornado pela OpenWeather é tratado por uma segunda function, responsável por extrair os campos de interesse (temperatura externa, umidade, pressão atmosférica, etc.). Em seguida, o pacote é enviado ao InfluxDB para armazenamento. A Figura 17 apresenta, o nó HTTP Request que recebe JSON.

Figura 17 – Nô HTTP Request que recebe JSON



Fonte: Autoria própria

4. Conclusões

O desenvolvimento do sistema de monitoramento da qualidade da água demonstrou a viabilidade técnica e prática de integrar sensores físicos, plataformas IoT e serviços externos em uma solução única, acessível e contínua. O uso conjunto do sensor de pH, do sensor de temperatura DS18B20 e do microcontrolador Arduino/ESP, aliado ao fluxo MQTT, permitiu a coleta e transmissão confiável dos dados, enquanto o Node-RED atuou como ferramenta central de processamento, filtragem e automação das informações recebidas.

A integração com o InfluxDB possibilitou o armazenamento estruturado das séries temporais, permitindo análises históricas e auditoria dos equipamentos. A exibição dos dados no Grafana comprovou a capacidade do sistema de fornecer visualização em tempo real, clara e intuitiva, essencial para monitoramento operacional. Além disso, a comunicação ativa via Telegram ampliou significativamente o valor da solução, tornando possível alertar o usuário imediatamente sempre que o pH ultrapassar a faixa recomendada, reforçando o caráter preventivo da ferramenta.

A incorporação dos dados meteorológicos obtidos pela API OpenWeather agregou uma camada contextual importante, permitindo compensação térmica e melhor compreensão das

variações ambientais que influenciam diretamente o comportamento do pH. Essa integração evidencia o potencial do uso combinado entre sensores físicos e APIs externas como estratégia eficiente para aumentar a precisão e a inteligência do sistema.

No que diz respeito à regulação do pH, embora o protótipo inicial dependa de um único recipiente acoplado a um servo motor, sua operação demonstrou a aplicabilidade de reagentes seguros — como ácido cítrico e carbonato de sódio — em sistemas experimentais. A arquitetura atual, ainda que simples, estabeleceu as bases para futuras expansões, como a implementação de bombas peristálticas e múltiplos reservatórios para dosagem automática e ajustada em tempo real.

O projeto como um todo alcançou seus objetivos principais: mostrou que é possível elaborar um sistema de monitoramento de baixo custo, modular e expansível, utilizando tecnologias amplamente acessíveis. A solução contribui para a democratização do monitoramento de água em reservatórios e cisternas, alinhando-se diretamente às metas de sustentabilidade da ONU ao promover autonomia, eficiência e segurança no acompanhamento da qualidade da água.

Em síntese, os resultados obtidos validam não apenas o funcionamento do protótipo, mas também a relevância social e técnica da proposta. As possibilidades de evolução são amplas, e apontam para um sistema totalmente automatizado, preciso e capaz de atender aplicações em escala maior, mantendo sua essência como uma solução prática, econômica e de alto impacto para comunidades que dependem de armazenamento doméstico de água.

5. Referências

- ACQUIPHERA. *Bases elevadoras de pH (Soda Ash / Carbonato de Sódio)*. 2024. Disponível em: <https://acquiphera.com.br/index.php/bases-elevadores-ph/>
- ALAM, M.; KHAN, R.; ALI, A. *IoT-based smart water quality monitoring system*. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, v. 10, n. 6, p. 50–56, 2019.
- ENVIRONMENTAL LITERACY COUNCIL. *Does Sodium Carbonate Affect the pH of Water?* 2025.

- Disponível em: <https://enviroliteracy.org/does-sodium-carbonate-affect-the-ph-of-water/>
- KIM, S.; PARK, D.; LEE, J. *Integration of local weather APIs for environmental monitoring*. Sensors, 2020.
 - KUMAR, V.; SINGH, P. *Data visualization in IoT environmental systems using Grafana*. Journal of Environmental Informatics, v. 25, n. 4, p. 230–238, 2022.
 - LEE, J.; PARK, D.; KIM, S. *Integration of local weather APIs for environmental monitoring applications*. Sensors, v. 20, n. 3, p. 750–762, 2020.
 - LI, X.; CHEN, Y. *Automated pH control systems for sustainable water management*. Water Science and Technology, v. 83, n. 5, p. 1020–1030, 2021.
 - LIU, H. et al. *Effects of organic acids on water chemistry in treatment processes*. Science of the Total Environment, 2021.
 - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). *Transformando o nosso mundo: a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável*. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 20 set. 2025.
 - SANTIAGO, A. P. *Ajuste de alcalinidade e pH com bicarbonato em sistemas aquícolas*. Universidade Federal do Ceará, 2016. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/21453/3/2016_tese_apsantiago.pdf
 - SILVA, A. P.; COSTA, M. R. *Aplicações de IoT em sistemas de monitoramento ambiental de baixo custo*. Revista Brasileira de Tecnologia e Sustentabilidade, v. 5, n. 2, p. 88–97, 2020.
 - SMITH, J. *Temperature Compensation Techniques in pH Measurement Systems*. Journal of Applied Sensor Technology, v. 18, n. 2, p. 135–142, 2021.
 - UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS (UFMG). *Projeto Cisternas Inteligentes: Monitoramento remoto da qualidade da água em comunidades rurais*. Belo Horizonte: UFMG, 2023. Disponível em: [link se houver]. Acesso em: 30 out. 2025.