

Desenvolvimento de uma ferramenta de monitoramento hídrico utilizando tecnologias de baixo custo para educação ambiental

Caroline De Boer Dias¹, Tiago Antônio Rizzetti¹

¹Colégio Técnico Industrial de Santa Maria– Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)
97.105-959 – Santa Maria – RS – Brasil

caroline.dias@ufsm.br, rizzetti@ctism.ufsm.br

Abstract. *This work presents the development and technical validation of a low-cost water monitoring tool using an ultrasonic sensor coupled to an ESP32 microcontroller. Water level measurements are processed to calculate flow velocity and discharge using the Manning equation. The data are transmitted via MQTT to a Node.js server, which provides real-time visualization through a WebSocket-based web interface. Field tests demonstrated good accuracy, with a mean absolute error of 0.078 cm and variation below 1%. The solution proved technically feasible and shows strong potential for future application in environmental education projects.*

Resumo. *Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a validação de uma ferramenta de monitoramento hídrico de baixo custo utilizando um sensor ultrassônico acoplado a uma placa ESP32. As medições de altura da lâmina d'água são processadas para o cálculo de velocidade e vazão por meio da equação de Manning. Os dados são transmitidos via MQTT para um servidor Node.js, que os disponibiliza em tempo real em uma interface web por meio de WebSocket. Os testes em ambiente real indicaram boa precisão, com erro médio absoluto de 0,078 cm e variação inferior a 1%. A solução mostrou-se tecnicamente viável e apresenta potencial para uso futuro em projetos de educação ambiental.*

1. Introdução

A presença de tecnologias digitais no ambiente escolar tem se tornado um fator decisivo para transformar práticas pedagógicas e ampliar o envolvimento dos estudantes com o processo de aprendizagem. Ferramentas acessíveis, como sensores, microcontroladores e plataformas de programação simplificada, vêm sendo incorporadas a projetos educacionais com o objetivo de estimular a autonomia, a criatividade e o pensamento analítico dos alunos, mesmo em contextos com limitações estruturais (DOS SANTOS e DE CAMARGO, 2024). Essas soluções favorecem a construção de experiências práticas e contextualizadas, promovendo ambientes colaborativos onde docentes e discentes compartilham responsabilidades e protagonismo (TABUENCA et al, 2023).

No campo da Educação Ambiental (EA), a integração de tecnologias emergentes representa uma oportunidade para fortalecer a formação cidadã e ampliar a compreensão crítica sobre os desafios ecológicos contemporâneos. A partir da Política Nacional de Educação Ambiental (BRASIL, 1999), tornou-se obrigatório incluir essa temática

nos currículos da educação básica, profissional e superior. No entanto, nos diferentes níveis educacionais, ainda persistem lacunas na articulação entre formação técnica e consciência socioambiental, o que demanda práticas interdisciplinares que conectem saberes científicos, sociais e tecnológicos (JÚNIOR et al, 2024).

Projetos que envolvem o uso de sensores e microcontroladores para monitoramento ambiental têm demonstrado grande potencial para aproximar os estudantes de problemas reais, como a análise da qualidade da água em corpos hídricos próximos à comunidade escolar (HOTALING et al., 2012). Essas iniciativas permitem que os alunos observem, coletem e interpretem dados ambientais, desenvolvendo competências técnicas ao mesmo tempo em que fortalecem valores de responsabilidade e participação social (ZAGO et al., 2021).

Este trabalho propõe o desenvolvimento de uma ferramenta educacional de baixo custo para o monitoramento quantitativo de recursos hídricos utilizando sensores eletrônicos integrados a microcontroladores. A iniciativa busca articular ciência, tecnologia e cidadania, promovendo atividades práticas que favoreçam a observação de fenômenos hidrológicos e a compreensão crítica dos impactos ambientais. Para a transmissão dos dados coletados pelos sensores, será utilizado o protocolo de comunicação MQTT, responsável pela publicação das medições em um broker local. Em seguida, um servidor Node.js fará a ponte entre o MQTT e a aplicação web, enviando as informações em tempo real para o navegador por meio de WebSocket (via Socket.IO) e disponibilizando a interface de visualização através de HTTP.

2. Objetivos

Esse estudo busca projetar, implementar e testar um sistema capaz de medir, em tempo real, parâmetros quantitativos como a altura da lâmina d'água, velocidade do escoamento e vazão, empregando um sensor ultrassônico integrado a um microcontrolador com comunicação sem fio. Pretende-se ainda estabelecer uma arquitetura funcional que permita a transmissão eficiente dos dados coletados por meio do protocolo MQTT e sua visualização em uma interface web responsiva utilizando Node.js e WebSocket.

Além do desenvolvimento do protótipo, e também será avaliado a precisão, estabilidade e confiabilidade das medições realizadas pelo sistema em comparação com valores de referência obtidos em campo. A análise inclui métricas estatísticas, como erro médio absoluto, raiz do erro quadrático médio e erro máximo e mínimo, a fim de verificar o desempenho do sensor em condições reais de uso. Embora o foco principal seja a viabilidade técnica da solução proposta, os resultados obtidos servirão de subsídio para etapas futuras, nas quais a ferramenta será incorporada a práticas de educação ambiental no Colégio Técnico Industrial de Santa Maria com alunos dos cursos técnicos integrados ao ensino médio que convivem próximos ao curso hídrico.

3. Metodologia

A metodologia adotada teve início com a construção do protótipo destinado à medição da altura da lâmina d'água. Para isso, utilizou-se a placa ESP32 Heltec Lora integrada ao sensor ultrassônico JSN-SR04T, adequado para ambientes externos e para medições contínuas em áreas sujeitas à umidade. O microcontrolador foi programado para registrar, em intervalos regulares, a distância entre o sensor e a superfície da água, convertendo

esse valor em altura útil para o cálculo hidráulico. A partir dessas medições, foram estimadas a velocidade e a vazão do fluxo utilizando a equação de Manning. Ela considera a Área da seção transversal do escoamento (A), o Perímetro molhado (P), a rugosidade da parede (n), a vazão da água (Q), e a declividade da linha d'água (I). Essa abordagem permitiu transformar medições de altura em parâmetros hidrológicos relevantes, de forma compatível com a geometria da seção monitorada. Na figura 1 demonstramos a conexão do sensor com a placa Helec LoRA 32.

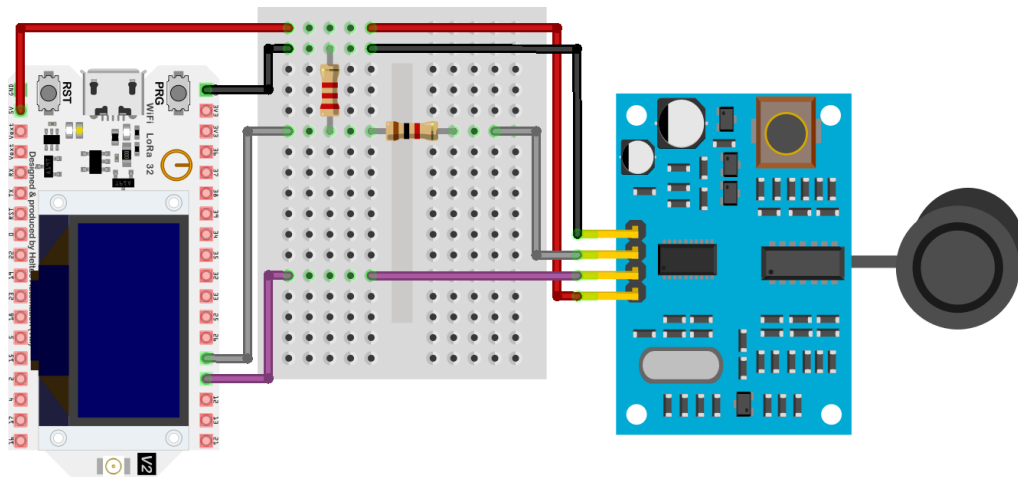


Figura 1. Esquemático de conexão do sensor para monitoramento.

A transmissão dos dados obtidos pelo sensor foi realizada por meio do protocolo MQTT, no qual o ESP32 publica continuamente as medições em um broker instalado localmente. Um servidor desenvolvido em Node.js foi configurado para se inscrever nos tópicos MQTT e receber os valores publicados em tempo real. Além de atuar como cliente MQTT, o servidor também foi responsável por disponibilizar a interface web por meio do protocolo HTTP, permitindo que usuários carregassem a página de visualização diretamente no navegador. Após o carregamento inicial da interface, a comunicação passa a ocorrer via WebSocket (Socket.IO), garantindo a atualização contínua e instantânea dos dados exibidos. Além disso, a arquitetura adotada com o uso de um servidor Node.js intermediário é necessária devido às restrições da rede Wi-Fi local, que não permite conexões diretas com a internet, mas possibilita a comunicação interna entre dispositivos. O servidor, portanto, atua como ponte entre o broker e a interface web, garantindo a distribuição dos dados em tempo real dentro da rede, tornando a solução mais estável e escalável para aplicações futuras.

Para validar o desempenho do protótipo, o sistema foi testado em ambiente real em estruturas de escoamento localizadas na bacia-escola da UFSM. As medições fornecidas pelo sensor foram comparadas com valores obtidos manualmente, permitindo avaliar a precisão do dispositivo. A confiabilidade dos resultados foi analisada por meio de métricas estatísticas, como erro médio absoluto (MAE), raiz do erro quadrático médio (RMSE) e o erro percentual máximo e mínimo, possibilitando identificar padrões de variação e limitações operacionais associadas às condições ambientais do local monitorado. Esses procedimentos permitiram verificar a viabilidade técnica da solução e sua adequação para aplicações futuras em projetos de educação ambiental. A figura 2 abaixo

explicita como o sistema descrito funciona ao receber transmitir e publicar os dados adquiridos por meio do sensor.

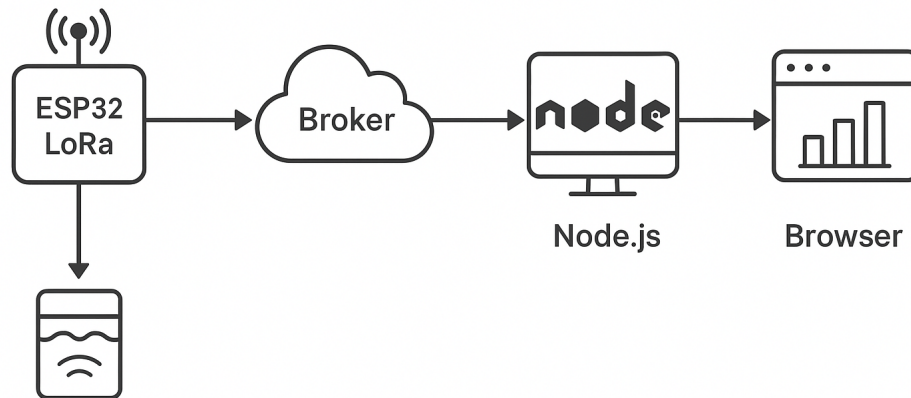


Figura 2. Esquemático de conexão do sensor para monitoramento.

4. Resultados e Discussão

Os resultados demonstram que o protótipo apresentou desempenho satisfatório na medição do nível d'água mesmo em condições de escoamento classificadas como turbulentas. Segundo White (2011), a turbulência em canais naturais ocorre majoritariamente no interior do líquido, enquanto a superfície livre tende a permanecer relativamente estável. Isso explica por que, apesar do regime turbulento, o sensor manteve leituras consistentes, uma vez que sua operação depende da estabilidade superficial e não do comportamento interno do fluxo. As medições obtidas apresentaram boa concordância com os valores reais registrados por régua graduada de 9,5 cm, evidenciando a confiabilidade do método proposto.

O erro médio absoluto (MAE) foi de 0,078 cm, enquanto a raiz do erro quadrático médio (RMSE) alcançou 0,091 cm, evidenciando baixa dispersão geral das medições. O erro máximo observado foi de +0,176 cm e o mínimo de -0,112 cm, valores compatíveis com as oscilações esperadas para sensores ultrassônicos sujeitos a pequenas variações de superfície e reflexão. Considerando a altura real de 9,5 cm, o erro médio representa aproximadamente 0,82% de variação, indicando que o sistema apresenta precisão percentual e adequação para atividades de monitoramento hídrico em aplicações educacionais e ambientais de baixo custo e está alinhado com as informações presentes no manual do fabricante do equipamento que especifica erro de 1% a 3% (ANDANG, 2019).

A interface web desenvolvida para visualização dos dados cumpriu seu papel funcional ao exibir, em tempo real, as medições de altura, vazão e velocidade do fluxo, integrando corretamente as informações recebidas via MQTT e retransmitidas ao navegador por meio de WebSocket através do servidor Node.js. Embora tecnicamente funcional, a interface ainda apresenta um layout simples, voltado prioritariamente à validação do sistema e à verificação da responsividade dos gráficos como demonstra a figura 2 abaixo.

Para fins educacionais é necessário aprimorar sua atratividade visual e usabilidade, incorporando elementos gráficos mais intuitivos, organização mais clara dos painéis e recursos interativos que facilitem a interpretação dos fenômenos hidrológicos monitorados.

Monitoramento do Rio



Figura 3. Interface web para demonstração dos dados capturados.

Ainda assim, os testes indicam que toda a arquitetura de comunicação funcionou de forma estável, garantindo atualização contínua e confiável dos dados coletados pelo protótipo.

Embora o desempenho tenha sido satisfatório, é importante considerar fatores ambientais que podem influenciar a propagação da onda ultrassônica. A temperatura da água e do ar, por exemplo, altera a velocidade do som e pode introduzir pequenas variações na medição (KANG et al. 2021). Condições como espuma superficial, vegetação flutuante, ondas geradas por vento e detritos podem afetar o retorno do pulso ultrassônico (FOLETTTO, 2025). Apesar disso, nos cenários analisados, tais interferências não se manifestaram de forma significativa, permitindo a estabilidade da medição do nível.

Como perspectiva futura, a ferramenta desenvolvida apresenta potencial para aplicação em projetos de educação ambiental, especialmente em contextos escolares que buscam integrar tecnologias acessíveis ao estudo de fenômenos naturais. A possibilidade de coletar, visualizar e interpretar dados reais sobre o comportamento de rios cria oportunidades para que os estudantes compreendam, de forma prática e contextualizada, conceitos relacionados a variações hidrológicas e eventos extremos. Além disso, a utilização de sensores de baixo custo e microcontroladores amplia a viabilidade de implementação em escolas públicas e laboratórios didáticos, favorecendo práticas investigativas e metodologias da cultura maker. Assim, embora o foco deste trabalho tenha sido a validação técnica do protótipo, os resultados demonstram que a solução pode evoluir para um recurso pedagógico, capaz de fortalecer a formação cidadã e contribuir para a conscientização sobre a preservação dos recursos hídricos.

Referências

- ANDANG, A., HIRON, N., CHOBIR, A., and BUSAERI, N. (2019). Investigation of ultrasonic sensor type jsn-srt04 performance as flood elevation detection. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, volume 662 of *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, page 012018, IOP Publishing.
- BRASIL (1999). Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Diário

- Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 1, 28 abr. 1999.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica (2025). Secretaria de educação profissional e tecnológica (setec/mec). Disponível em: <https://www.gov.br/mec/> . . . Acesso em: 26 jun. 2025.
- DOS SANTOS, Lucas Matias; DE CAMARGO, V. S. (2024). Desenvolvimento de uma estufa inteligente utilizando a plataforma arduino no contexto da educação 5.0. *Monumenta-Revista Científica Multidisciplinar*, 9(9).
- Foletto, A. V. K. (2025). *Metodologia para aferição do nível de canais fluviais por meio de sensores de distância*. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo.
- HOTALING, L. e. a. (2012). Sense it: Teaching stem principles to middle and high school students through the design, construction and deployment of water quality sensors. *Advances in Engineering Education*, 3(2):n2.
- JUNIOR, A. L. B., CUNHA, J. P. d., LIMA, M. d. S. X. d., and SILVA, M. R. d. L. d. (2024). Educação ambiental e para sustentabilidade no ensino médio: uma revisão sistemática. *Caderno Pedagógico*, 21(6):e4628–e4628.
- Kang, S., David, J., Yang, S., Yu, J., and Ham, Y. (2021). Energy-efficient ultrasonic water level detection system with dual-target monitoring. *Sensors*, 21(6):2241.
- MACHADO, A. A. and ZAGO, M. R. R. d. S. (2020). Articulações entre práticas de educação ambiental, robótica e cultura maker no contexto das aulas de laboratório de ciências. *Tecnologias, sociedade e conhecimento*, 7(2).
- TABUENCA, B. e. a. (2023). Generating an environmental awareness system for learning using iot technology. *Internet of things*, 22.
- White, F. M. (2011). *Fluid Mechanics*. McGraw-Hill, New York, 7 edition.
- ZAGO, M. R. R. S., VAZ, A. C. N., da CRUZ, M. A. L., PEREIRA, W. L., and KRELLING, L. M. (2021). Ações da educação ambiental: Reflexões e práticas na escola. *Tecnologias, sociedade e conhecimento*, 8(1).