

Received:
October 19, 2024

Accepted:
October 30, 2024

Published:
October 31, 2024

Development of a Prototype for Water Reservoir Level Monitoring Using an ESP32 Board

João Alfredo Tameirão Fernandes¹ , Luan Brioschi Giovanelli¹ 

¹ Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Teófilo Otoni, Brasil.

Email address

joao.tameirao@ufvjm.edu.br (João A.T. Tameirão) – Corresponding author.
luan.giovanelli@ufvjm.edu.br (Luan B. Giovanelli)

Abstract

The ESP32 is a microcontroller developed by Espressif Systems. It is highly integrated with Wi-Fi and Bluetooth connectivity and widely used in Internet of Things (IoT) projects due to its versatility, performance, and low cost. It is employed in various sectors such as irrigation, commerce, and industry. Nowadays, water monitoring and efficient management are of great importance, mainly due to increased consumption and climate change. Based on this premise, a prototype was developed capable of remotely monitoring the water levels in domestic reservoirs via the Internet. With the development of the prototype, it was observed that it can positively improve, at a reduced cost, the processes of management and decision-making regarding residential water supply, contributing to the reduction of water waste.

Keywords: ESP32, Monitoring, Supply, Water level.

1. Introdução

É evidente que a falta de água é um problema recorrente, que afeta não somente casas e empresas, mas a sociedade como um todo. Com o aumento da demanda por água e o impacto das mudanças climáticas, a escassez de água tem se tornado cada vez mais comum em diversas regiões do mundo. De acordo com Galvão (2022), o consumo médio de água por pessoa é de 200 litros por dia. Enquanto que, em países subdesenvolvidos, o consumo pode chegar a 15 litros por pessoa por dia, em países desenvolvidos este consumo pode chegar a 575 litros por pessoa por dia.

Aliado ao alto consumo em determinadas regiões, em Teófilo Otoni/MG, o abastecimento residencial de água enfrenta diversos desafios, como a falta de manutenção e os vazamentos que começam após a saída da ETA e se intensificam nos bairros. Esses desafios podem levar a problemas como interrupção no fornecimento, desperdício de água e custos elevados de manutenção (Amaral *et al.*, 2019).

Neste contexto, o monitoramento do nível de água no abastecimento é uma parte importante na gestão eficiente dos recursos hídricos, não somente

em relação à preservação, mas também em relação ao bom funcionamento da rotina residencial. Amaral, Unruh e Oliveira (2021) afirmam que a medição de nível possui a finalidade de determinar o quão cheio, ou vazio, um recipiente está.

Dessa forma, a IoT surge como uma solução para o monitoramento da água, tendo em vista que é possível utilizar tecnologias como o *ESP 32* para monitorar o nível de água no interior da caixa d'água em residências, empresas e outros locais, a fim de evitar transtornos, desperdício e garantir o uso consciente desse recurso (Castro, 2009), trazendo benefícios significativos para usuários, concessionárias de água e o meio ambiente.

A utilização do *ESP32* permite a integração de sensores de nível de água, possibilitando a coleta de dados em tempo real e a automação de processos, proporcionando maior capacidade de monitoramento, confiabilidade, e eficiência do sistema. Outra perspectiva é o uso de redes de sensores sem fio para o monitoramento em larga escala. O *ESP32* pode ser utilizado como nó central de uma rede de sensores distribuídos, permitindo o monitoramento simultâneo de vários pontos de abastecimento residencial, obtendo dados abrangentes e detectando padrões de consumo em

diferentes áreas geográficas. Combinando dados coletados pelos sensores de nível com informações históricas, é possível desenvolver modelos preditivos e algoritmos inteligentes para otimizar o abastecimento.

Dessa forma, é possível monitorar o nível de água e programar alertas para quando o nível de água estiver baixo, tendo em vista situações do cotidiano. Esse tipo de solução pode ajudar a evitar situações de escassez que podem afetar várias atividades do dia a dia como higiene pessoal, preparo de refeições e, em casos mais específicos, até mesmo prejudicar o tratamento de pessoas com necessidades especiais.

Face ao exposto, este trabalho teve como objetivo desenvolver um protótipo de monitoramento de nível de água utilizando um microcontrolador *ESP8266*, um sensor de proximidade *VL53LOX* e a plataforma de Internet das Coisas (IoT) *Adafruit IO*.

1.1. Revisão de Literatura

1.1.1. Automação no monitoramento do nível de água

Segundo Nunes (2022), dentre as tecnologias e produtos disponíveis para monitorar o nível de água em reservatórios, é possível citar:

- Sensores de nível por pressão: medem a pressão hidrostática da água e, a partir disso, calculam o nível de água no reservatório;
- Sensores ultrassônicos: utilizam ondas sonoras para medir a distância entre o sensor e a superfície da água, determinando assim o nível;
- Sensores de capacitância: baseiam-se na variação da capacidade de um sensor devido à proximidade da água;
- Sondas de nível submersíveis: são imersas diretamente na água e enviam leituras de nível a um sistema de monitoramento;
- Radar e Lidar: podem ser usados em aplicações mais avançadas, fornecendo medições precisas e em tempo real;
- Software de Monitoramento: coletam, armazenam e exibem os dados de nível de água, muitas vezes oferecendo recursos de análise e geração de relatórios;
- IoT e Sistemas de Monitoramento em Nuvem: utilizam conexões sem fio para

transmitir dados para servidores em nuvem, permitindo acesso remoto aos dados; e

- Alarmes e Avisos: recursos que notificam os operadores ou autoridades quando o nível da água atinge níveis críticos.

Dentre os benefícios oriundos do monitoramento contínuo da água por meio da automação, podem-se citar: permitir a detecção precoce de vazamentos em tubulações e equipamentos de abastecimento, e, ao identificar rapidamente esses vazamentos, medidas corretivas podem ser tomadas, reduzindo as perdas de água (Gamboa-Medina, 2009); os usuários podem obter informações em tempo real sobre o volume disponível nos reservatórios, permitindo um uso mais eficiente dos recursos hídricos e evitando desperdícios (Oliveira et al., 2014); o conhecimento do nível de água disponível possibilita ajustes no consumo e a adoção de práticas sustentáveis, como a reutilização da água da chuva (Alves, 2015).

1.1.2. O ESP32

A Placa *ESP32* é um microcontrolador de baixo custo e eficiência energética, desenvolvido pela Espressif Systems. Reconhecido por sua versatilidade, o *ESP32* oferece suporte a tecnologias de conexão como Wi-Fi e Bluetooth. Equipado com um processador *dual-core* com capacidade de até 240 MHz, 520 KB de RAM, 4 MB de memória flash interna, e uma gama de periféricos, incluindo *UART*, *SPI*, *I2C* e interface para câmera, o *ESP32* se destaca em projetos de Internet das Coisas (IoT, do inglês *Internet of Things*), que constituem seu principal foco de desenvolvimento. No entanto, suas aplicações também se estendem a áreas como robótica, entretenimento e automação residencial.

De acordo com Pereira (2020), o *ESP32* é modular e expansível, permitindo a conexão de sensores, atuadores e outros componentes eletrônicos. Para Santos (2023), a utilização do *ESP32* no monitoramento apresenta várias vantagens, como:

- Custo acessível. O *ESP32* é uma opção econômica em comparação com outras soluções comerciais disponíveis no mercado, tornando-o mais acessível para aplicações residenciais;
- Flexibilidade e adaptabilidade. O *ESP32* pode ser facilmente personalizado e adaptado às necessidades específicas do

monitoramento de nível de água. Sua modularidade permite a conexão de diferentes sensores e atuadores, garantindo a flexibilidade do sistema;

- Facilidade de programação. O ambiente de programação do *ESP32* é intuitivo e baseado em linguagem C/C++, o que facilita o desenvolvimento de código para o monitoramento de nível de água, mesmo para iniciantes;
- Compatibilidade com diversos sensores. O *ESP32* é compatível com uma ampla variedade de sensores de nível de água disponíveis no mercado, permitindo a escolha do sensor mais adequado às necessidades do projeto.

2. Metodologia

A metodologia adotada incluiu a escolha dos componentes e a criação do código em C++ para realizar a leitura e transmissão dos dados. Os materiais principais utilizados foram o microcontrolador *ESP8266*, conhecido por sua capacidade de comunicação via *Wi-Fi*, e o sensor de proximidade *VL53L0X*, responsável pela medição da distância. A comunicação com a plataforma *Adafruit IO*, utilizada para visualização dos dados, foi implementada utilizando o protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*).

O código desenvolvido foi baseado no uso das bibliotecas específicas para comunicação I2C, controle do sensor de distância e envio dos dados via MQTT. Para isso, foram utilizadas as bibliotecas *Wire.h*, *Adafruit_VL53L0X.h*, *Adafruit_MQTT.h* e *ESP8266WiFi.h*.

No fluxograma apresentado na Figura (1) são descritas as etapas principais do sistema montado, começando com a inicialização do microcontrolador e, em seguida, pela configuração da comunicação *Wi-Fi* e a conexão com o servidor MQTT da *Adafruit IO*. Após estabelecer a conexão, o sensor *VL53L0X* realiza as medições de distância e, se os dados forem válidos, eles são publicados no portal *Adafruit IO* para monitoramento remoto. Se a medição não for válida, o sistema aguarda antes de realizar uma nova leitura.

A programação foi realizada na IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado) *ESP32*. Primeiramente, o sistema se conecta à rede *Wi-Fi* utilizando o nome da rede (SSID) e a senha fornecida. Após a conexão com a internet, o *ESP8266* tenta se conectar ao broker MQTT da

Adafruit IO. Esse broker é responsável por receber os dados do sensor e exibi-los no portal.

O sensor de distância *VL53L0X* é configurado para realizar medições periódicas. Caso a leitura seja válida, os dados são enviados para o feed MQTT específico, onde podem ser visualizados em tempo real através de um dashboard. A função principal do código, chamada de *loop()*, é responsável por realizar essas medições repetidamente, garantindo que o monitoramento ocorra de maneira contínua. Após cada leitura, há um intervalo de 20 segundos antes de uma nova medição ser realizada. O código também contém funções para conectar o *ESP8266* ao *Wi-Fi* e ao servidor MQTT, além de tratar erros de conexão e reiniciar o processo caso falhe.

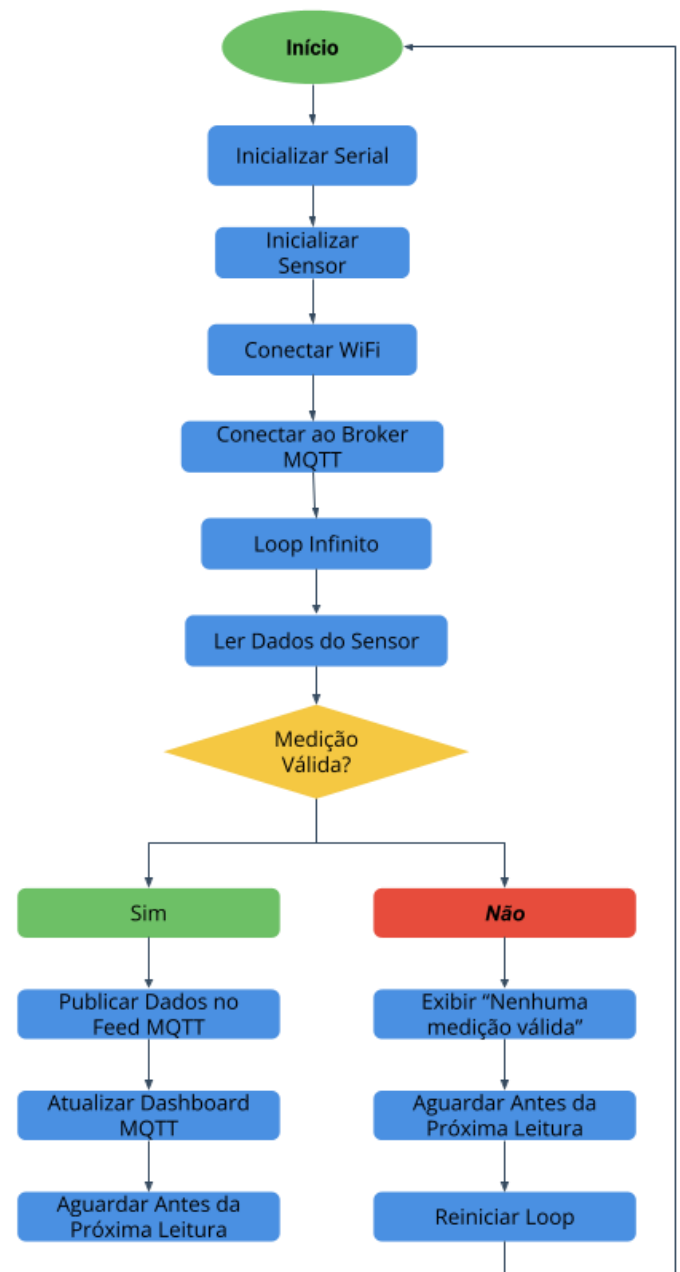


Figura 1 – Fluxograma do funcionamento do sistema.

O portal *IO-Adafruit* possui a função de armazenamento de dados e algumas formas de apresentá-los ao usuário, como, por exemplo, na forma de gráficos. Também é possível criar um layout para fácil compreensão dos dados. Na Figura (2) é apresentado o layout utilizado para o nível do reservatório.

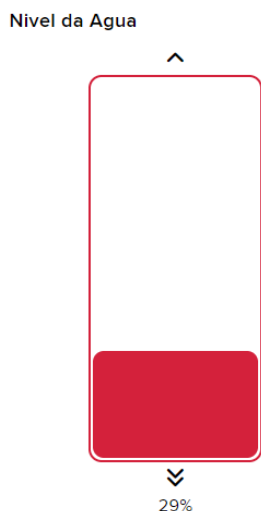


Figura 2 – Layout utilizado no portal *IO-Adafruit* para fácil compreensão dos dados.

Uma paleta de cores foi associada a diferentes níveis da água, assim, foi estabelecido que se o nível da água estivesse em 100%, o layout seria apresentado na cor azul. Entre 99% e 60%, o layout mudaria para a cor amarela - representando um estado de atenção. Abaixo de 60%, o layout mudaria para a cor vermelha - indicando alerta quanto ao nível de água presente no reservatório.

Os materiais utilizados para montagem do protótipo, bem como os custos relativos à aquisição destes, estão descritos na Tabela (1). Ressalta-se que o galão de detergente utilizado, com capacidade de 20L, foi oriundo de doação, assim sendo, não consta o valor deste na Tabela (1). Ademais, o intuito é conectar o protótipo a qualquer tipo de reservatório, ou seja, o custo para aquisição do galão daria-se apenas para fins de teste do protótipo em si.

Para fins de comparação com as leituras do sensor, instalou-se uma fita métrica no interior do reservatório, conforme apresentado na Figura (3). A fita foi posicionada a uma altura mínima de 10,5 cm (devido à posição da tubulação de saída do reservatório), e atingiu uma altura máxima de 26 cm.

Tabela 1 – Materiais utilizados para montagem do protótipo.

Componentes	Un.	Quant.	Val. Unit.	Total
Tubo PVC 75mm	un	1	R\$ 15,99	R\$ 15,99
Tubo PVC 1/2'	un	1	R\$ 12,90	R\$ 12,90
Galão de detergente 20 L	un	1	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Redução 75mm/ 50mm	un	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00
Redução 50mm/ 40mm	un	1	R\$ 16,43	R\$ 16,43
Redução 40mm/ 1/2'	un	1	R\$ 4,07	R\$ 4,07
Joelho de 90° de PVC 1/2'	un	3	R\$ 2,00	R\$ 6,00
Tampão de 75mm PVC	un	1	R\$ 11,48	R\$ 11,48
Jumpers macho	kit	1	R\$ 7,90	R\$ 7,90
ESP32	un	1	R\$ 46,90	R\$ 46,90
Sensor VL53L0X	un	1	R\$ 24,50	R\$ 24,50
Protboard	un	1	R\$ 9,90	R\$ 9,90
Total				R\$ 166,07



Figura 3 – Detalhe da fita métrica posicionada no interior do reservatório.

As medições do nível de água no interior do reservatório seguiram os seguintes passos:

1º. Encher o reservatório até a marcação de 16,5 cm - altura considerada como sendo o nível máximo de água no reservatório, para que não ocorra o transbordamento;

2º. Coletar três medições com o sensor VL53L0X e calcular a média entre elas;

3º. Iniciar a fase de esvaziamento do reservatório; e

4º. A cada 20 segundos, coletar medições do sensor VL53L0X e da fita métrica;

5º Passo: Deixar o nível da água atingir o limite mínimo do reservatório e coletar três medições com o sensor VL53L0X e calcular a média entre elas; e

6º Passo: Repetir o processo.

Após a realização de sete procedimentos de esvaziamento, foram tomadas as leituras e calculou-se a média destas.

3. Resultados e Discussão

É apresentado, na Figura (4), o protótipo montado, ilustrando as conexões e adaptações necessárias para a instalação do ESP32 e do sensor VL53L0X.



Figura 4 – Protótipo montado.

Para uma melhor avaliação das medições realizadas pelo protótipo, foram elaboradas duas tabelas: uma contendo a média entre os valores medidos (Tabela 2), e outra com a variação entre a

leitura inicial e as demais (Tabela 3). É importante salientar que os pontos de referência do sensor VL53L0X e da fita métrica são diferentes - o sensor mede a distância de sua localização (acima do nível de água) até o nível efetivo da água; enquanto a fita métrica, pelo fato do 0 estar posicionado no mesmo nível da tubulação de saída, mede da saída da água até o topo.

Tabela 2 – Média das Medições Realizadas pelo Protótipo.

Medidas	Valor da fita métrica (mm)	Valor do sensor (mm)
0	165	325
1	145	344
2	126	354
3	110	394
4	93	378
5	78	387
6	61	393
7	36	402
8	0	416

Tabela 3 – Variação da Distância nas Medições.

Medidas	Valor da fita métrica (mm)	Valor do sensor (mm)
0	0	0
1	20	19
2	39	29
3	55	69
4	72	53
5	87	62
6	104	68
7	129	77
8	165	91

Para fins de melhor visualização dos dados, utilizou-se as Tabela (2) e (3), para geração dos gráficos das Figuras (5) e (6).

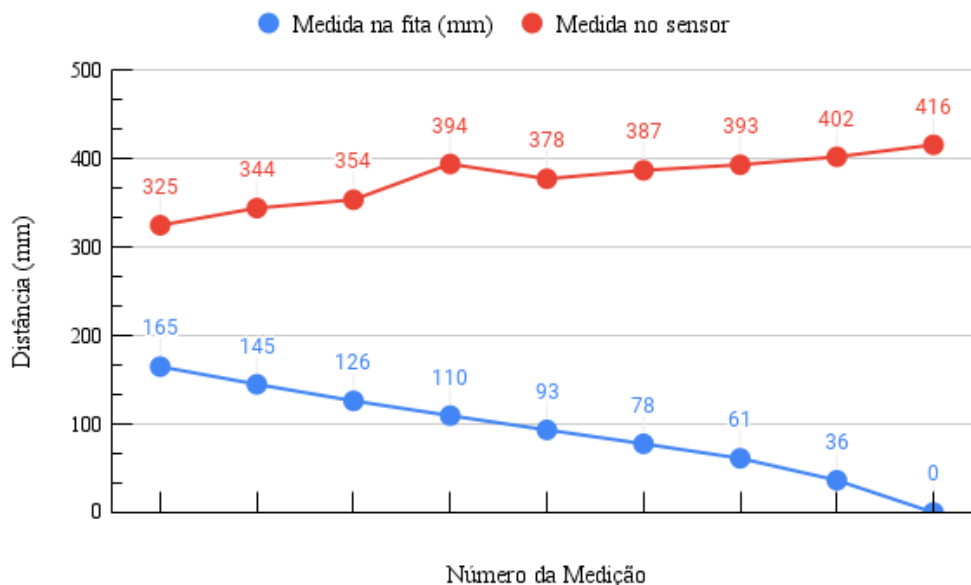


Figura 5 – Comparação das Médias das Medições de Distância: Sensor VL53L0X vs. Fita Métrica.

Ao observar-se os dados da Tabela (2) e da Figura (5), nota-se que, enquanto os valores da régua diminuem de 165 mm a 0 mm, os valores do sensor aumentam de 325 mm a 416 mm. Essa diferença é atribuída ao fato de as referências serem

diferentes, como já explicitado anteriormente. Apesar dessa diferença, o sensor demonstra consistência em suas leituras, indicando um padrão crescente nas medições.

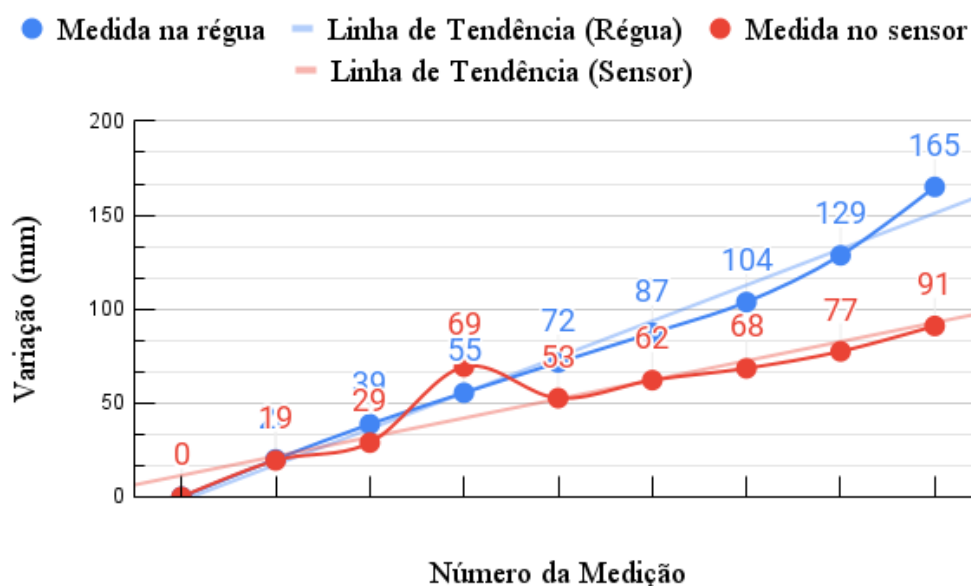


Figura 6 – Comparação da Variação da Distância entre Medições Consecutivas: Sensor VL53L0X vs. Fita Métrica.

A análise dos dados apresentados na Tabela (3) e na Figura (6) revela que os valores medidos pela régua apresentam um padrão de aumento consistente e contínuo, indicando uma elevação gradual do nível de água. Em contrapartida, os valores medidos pelo sensor VL53L0X apresentaram uma flutuação significativa entre as leituras 3 e 5. Essa inconsistência nas leituras do

sensor sugere possíveis imprecisões ou interferências externas.

Embora este valor (69 mm) que representa a diferença entre a medida inicial e a medida 4 do sensor, estar, aparentemente, fora do padrão, verificou-se que, em comparação com o trabalho de Oliveira (2021), que também faz uso do sensor VL53L0X para monitoramento de nível de água em um reservatório, esse dado não está equivocado por

uma questão de mau posicionamento ou imperícia do operador, mas sim por questões intrínsecas do sensor.

Ao utilizar o *ESP 32* para monitoramento do nível de água em reservatórios, os resultados do presente trabalho vão ao encontro dos trabalhos desenvolvidos por Leite et. al (2021), que objetivaram automatizar uma bomba d'água com o auxílio de um circuito de monitoramento que mostre com exatidão a quantidade de água presente em uma caixa d'água em em propriedades rurais; por Souza et al. (2021), que tiveram como objetivo a detecção precoce de falhas no sistema de abastecimento de água potável de uma edificação; e por Silva (2023), que desenvolveu um sistema para gerenciamento e controle do consumo hidráulico de residências.

Após uma pesquisa de mercado objetivando encontrar produtos similares ao desenvolvido neste trabalho, o protótipo apresentou diversas vantagens. São elas:

- Operação via *Wi-Fi* (Internet das Coisas), enquanto os demais produtos do mercado geralmente dependem de cabos para funcionar;
- Medição precisa em milímetros, diferentemente de muitos produtos do mercado, que oferecem apenas quatro faixas de leitura;
- Instalação escalável para múltiplas caixas d'água, necessitando apenas do sensor e da placa principal, todos operados pela mesma interface. Já os produtos concorrentes exigem a aquisição de kits completos, com monitoramento de cada unidade realizado individualmente;
- Instalação externa em um vaso comunicante, evitando a instalação dentro da caixa d'água, o que preserva o volume do reservatório e reduz os riscos de contaminação. Por outro lado, muitos produtos no mercado precisam ser instalados diretamente dentro da caixa d'água;
- Sensores disponíveis no mercado costumam depender de fonte de energia ou baterias e oferecem painéis limitados, geralmente para um ou dois reservatórios.
- Custo mais acessível, tendo em vista que sua montagem custou, aproximadamente, R\$167, enquanto outros produtos similares são vendidos a partir de R\$199,99, conforme Tabela (4).

Tabela 4 – Valores de alguns equipamentos disponíveis no mercado.

Produto	Valor (R\$)
1	249,00
2	359,99
3	199,99
4	257,79
Média	266,69

4. Conclusão

Com o desenvolvimento do protótipo, verificou-se que este pode aprimorar, de forma positiva e com custo reduzido, os processos de gerenciamento e tomada de decisões em relação ao abastecimento residencial, aproveitando as mais diversas possibilidades de aplicação das tecnologias em nosso cotidiano, seja para o aprimoramento de tarefas simples nas residências ou para a otimização de processos em ambientes industriais, criando soluções inovadoras para problemas do mundo real, colaborando para reduzir o desperdício da água em nossa sociedade.

Referências

- Alves, R.A.P., 2015. *Solução de monitoramento de consumo de água residencial*. Graduação em Sistemas de Informação. Centro Universitário Eurípides de Marília (UNIVEM). Disponível em: <<https://aberto.univem.edu.br/handle/11077/1385>> [Acessado 18 outubro 2024].
- Amaral, A.S., Santos, D.P.D., Silva, D.P.e Lorentz, P.L., 2019. *Análise do sistema de saneamento básico do Residencial Laranjeiras no bairro São Jacinto em Teófilo Otoni-MG*. Graduação em Engenharia Civil. Centro Universitário Doctum. Disponível em: <<https://dspace.doctum.edu.br/handle/123456789/4402>> [Acessado 18 outubro 2024].
- Amaral, G.L., Unruh, G.R. e Oliveira, M.M., 2021. *Energy IO: Sistema de monitoramento de gastos residenciais – água e luz*. Graduação em Engenharia Eletrônica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/28657>> [Acessado 18 outubro 2024].

- Castro, C.N., 2009. *Getting started with Arduino*. *Qualitas Revista Eletrônica*, 8(2), pp. 1-13. <https://doi.org/10.38116/978-65-5635-031-8>
- Galvão, C.P., 2022. Monitoramento do nível de água em reservatórios residenciais. In: Figueiredo, S.C.G., Rodrigues, F.A. e Ribas, L.F., 2022. *Tópicos especiais de Engenharia Civil*, 1(1), pp. 8-17. <http://doi.org/10.36229/978-65-5866-214-3.CAP.01>
- Gamboa-Medina, M.M. e Reis, L.F.R., 2009. Detecção de vazamentos em redes de distribuição de água para abastecimento: Estado da arte. In: *XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 19. Disponível em https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/81/b474ccab4258f4993a77c3b0770c1083_7edeac84c5a8be1badb89fb1bfab9d2b.pdf [Acessado 18 outubro 2024].
- Leite, C.E.C., Ferreira, F.B.F., Silvestre, G.H., Souza, G.S. e Schiavon, G.H., 2021. *Autobomb: Controle do nível da caixa d'água em propriedades rurais utilizando ESP32*. Técnico em Eletrônica. Escola Técnica Philadelpho Gouvêa Netto. Disponível em http://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/10576/1/eletronicaetim_2021_2_carloseduardocerqueiraleite_autobomb.pdf [Acessado 18 outubro 2024].
- Nunes, I.R., 2022. *Sistema de controle e monitoramento de reservatórios de líquidos e bombas d'água para condomínio*. Graduação em Engenharia Mecatrônica. Centro Universitário UniSATC. Disponível em <http://repositorio.satc.edu.br/bitstream/satc/499/2/Israel%20Rodrigues%20Nunes.pdf> [Acessado 18 outubro 2024].
- Oliveira, I.R.H., Santos, C.R.B. e Rodrigues, M.A.L., 2014. *Desenvolvimento de um aplicativo Android para monitoramento microcontrolado do nível de um reservatório de água residencial em tempo real*. In *XII Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica (CEEL)*, 12, pp. 1-5. Uberlândia, MG. Disponível em <https://docente.ifrn.edu.br/josyannegiستا/ Disciplinas/projeto-integrador/2016-subsequente/tcc-nbr12284-x-nr18> [Acessado 18 outubro 2024].
- Pereira, M.R.S., 2020. *A aplicação do microcontrolador ESP32 no ensino: Medindo posições em função do tempo utilizando o sensor VL53L0X associado ao ESP32*. Especialização em Ensino de Física. Universidade Federal do Amapá. Disponível em http://repositorio.unifap.br/bitstream/123456789/898/1/TCCE_AplicacaoMicrocontroladorESP32.pdf [Acessado 18 outubro 2024].
- Santos, J.V., 2023. *Sistema de rastreamento qualificatório de corridas usando sensor PIR e microcontrolador ESP32*. Graduação em Engenharia da Computação. Universidade Federal do Amazonas. Disponível em https://riufam.edu.br/bitstream/prefix/7070/5/TCC_JimmyVillalaz.pdf [Acessado 18 outubro 2024].
- Silva, D.P.P., 2023. *Sistema para gerenciamento e controle do consumo hidráulico de residências baseado em ESP32*. Graduação em Engenharia Eletrônica. Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/51511> [Acessado 18 outubro 2024].
- Souza, R.M.O., Santos, J.R., Amici, T.T. e Camusso, D., 2021. *Monitoramento de caixa d'água com realidade aumentada e IoT*. *Revista Brasileira de Mecatrônica*, 4(2), pp. 56-67. Disponível em <https://revistabrmecatronica.sp.senai.br/ojs/index.php/revistabrmecatronica/article/view/138/129> [Acessado 18 outubro 2024].