

**MURILO: DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA IOT MULTI
PARÂMETRO E BAIXO CUSTO, PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA
ÁGUA DESTINADA PARA CONSUMO HUMANO**

**MURILO: DEVELOPMENT OF A LOW-COST, MULTI-PARAMETER IOT TOOL
FOR MONITORING THE QUALITY OF WATER INTENDED FOR HUMAN
CONSUMPTION**

Jonh Alefy Barros Oliveira*
Alexandro Lima Damasceno**

RESUMO

A água distribuída pelos sistemas convencionais e alternativos de abastecimento pode apresentar riscos à saúde devido à metodologia de monitoramento complexa, e burocrática. Atualmente, os profissionais responsáveis pelo controle da qualidade da água precisam se deslocar para realizar coletas manuais, um processo que demanda tempo e gera custos. Isso impede o acesso em tempo real às informações sobre a qualidade da água, aumentando o risco de propagação de doenças em comunidades que consomem água potencialmente contaminada ou com propriedades fora dos padrões permitidos para consumo humano. Este projeto propõe o desenvolvimento de um sistema IoT de baixo custo, para realizar a coleta e registro de parâmetros que indicam a potabilidade da água, realizando o envio dos dados para uma plataforma de monitoramento online, possibilitando o acesso remoto e em tempo real às informações coletadas.

Palavras-chave: Monitoramento. Qualidade da água, IoT. Água potável.

ABSTRACT

Water distributed through conventional and alternative supply systems may pose health risks due to the complex and bureaucratic monitoring methodologies currently in place. Professionals responsible for water quality control are required to conduct manual sample collections, a process that is time-consuming and costly. This limitation hinders real-time access to water quality data, increasing the risk of disease outbreaks in communities consuming potentially contaminated water or water with properties exceeding safe levels for human consumption. This project proposes the development of a low-cost IoT system designed to collect and record parameters

*

**

that indicate water potability. The data are then transmitted to an online monitoring platform, enabling remote and real-time access to the collected information.

Keywords: Monitoring. Water quality, IoT. Potable water.

1 INTRODUÇÃO

A água de forma potável e limpa é elemento fundamental para a manutenção da vida no planeta. Sua ausência em quantidade e qualidade afeta regiões, seja em seu desenvolvimento econômico ou ligada a doenças e mortes prematuras de pessoas (Alves *et al.*, 2017).

O sistema responsável pela distribuição dessa água para a população, segundo Lima *et al.* (2018) é composto por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, desde a captação, até as ligações prediais, destinadas à produção e fornecimento coletivo da água. Porém a ausência de infraestrutura de saneamento básico compromete a saúde e bem estar da população. No Brasil, 85,4% dos domicílios são atendidos pela rede geral de abastecimento da água, quanto ao acesso à rede coletora de esgoto; 65,3% dos domicílios dispõem deste serviço (Brasil, 2010).

Da água, algumas patologias que acometem o ser humano estão relacionadas a sua qualidade, dentre elas, podemos citar: hepatite A e E, cólera, febre tifóide, doenças entéricas e diarreicas causadas por bactérias, parasitas e vírus.

Essas doenças provenientes da água podem ser classificadas como doenças de origem hídrica e doenças de transmissão hídrica, as primeiras são geradas por substâncias orgânicas ou inorgânicas presentes na água em níveis acima do permitido para o consumo humano, enquanto doenças de transmissão hídrica, a água atua como condutor do agente infeccioso, como, por exemplo, com micro-organismos patogênicos (Bezerra *et al.*, 2017).

A gestão dos processos de tratamento, distribuição e fiscalização qualitativa da água deve ser realizada tanto para o sistema de abastecimento convencional, que conta com estações de tratamento e sua rede de distribuição, como também nos sistemas alternativos de abastecimento da água, que suprem a necessidade de algumas comunidade menores (Machado *et al.*, 2016).

O controle da qualidade dos recursos hídricos é relevante, já que está diretamente relacionado com a saúde e bem-estar da população e atividades econômicas como a piscicultura, agricultura e agropecuária (Junior, 2019). Segundo o IQA (Índice de Qualidade da Água), existem 9 parâmetros a serem avaliados na água utilizada para o abastecimento público, são eles: oxigênio dissolvido; coliformes termotolerantes; potencial hidrogeniônico (pH); demanda bioquímica de oxigênio; temperatura da água, nitrogênio total; fósforo total; turbidez; e resíduo total, que foram fixados para a conformação global da qualidade da água (Leite, 2020).

Segundo a Resolução Conama 357/2005, a temperatura da água e o potencial hidrogeniônico (pH), são parâmetros que influenciam no equilíbrio dos ecossistemas aquáticos naturais devido a seus efeitos na fisiologia de diversas espécies (Junior, 2019).

O controle da qualidade da água é uma necessidade universal, que exige atenção das autoridades sanitárias e consumidores, principalmente se tratando de água destinada para o consumo humano. Deste modo, avaliar a qualidade da água armazenada ao longo dos anos, é um processo necessário, quando se busca evitar a disseminação de doenças (Silva *et al.*, 2021).

O monitoramento convencional da qualidade da água é realizado através do recolhimento de amostras e da realização de testes em laboratório (Targino *et al.*, 2021). São analisados aspectos físico-químicos e biológicos da água, através de equipamentos de custo elevado e inacessíveis para uso familiar (Silva *et al.*, 2021).

No procedimento convencional utilizado para a realização de testes, as amostras são colhidas manualmente e enviadas a laboratório, através de anotações manuais dos dados, testes *in situ*, e outros procedimentos, que são descritos no Manual Prático de Análise da Água (FUNASA, 2009). Esses processos revelam uma série de inconvenientes para a prática do pesquisador, como o tempo de deslocamento, os custos envolvidos no trajeto e o acesso a áreas muitas vezes de difícil alcance, além dos elevados valores dos equipamentos utilizados em laboratório.

Nos últimos anos, o surgimento da Internet das Coisas (IoT) revolucionou a forma como os recursos hídricos são monitorados e gerenciados (Silva, 2023). Tecnologias têm sido desenvolvidas para reduzir o tempo em que amostras são coletadas, utilizando sensores para medir propriedades da água (Rocha *et al.*). Segundo Pasika; Gandla (2020) o monitoramento inteligente da qualidade da água, envolve sistemas compostos por microcontroladores e sensores, que são montados em modelo compacto e verificam parâmetros como o pH, turbidez e temperatura, funcionando em tempo real e continuamente enviando dados a estações de monitoramento através da tecnologia *wireless*.

Dentro deste contexto as plataformas de prototipagem apresentam diversas vantagens para o desenvolvimento de soluções. O baixo custo, facilidade para programar os microcontroladores, e o envio de dados de forma contínua, são algumas das vantagens.

Baseado nisso, faz-se ainda mais importante o desenvolvimento de alternativas para que esse controle da água seja realizado de forma mais rápida e acessível, onde os dados e informações consigam ser coletados em tempo menor, para que se evite a contaminação e propagação de doenças dentro das famílias consumidoras da água que pode estar contaminada. Além disso, o uso desse meio alternativo junto da tecnologia, otimiza e potencializa o trabalho de fiscalização e tratamento por meio desses profissionais.

Logo, este trabalho tem por objetivo desenvolver um sistema de monitoramento da água para consumo humano, onde o sistema irá realizar a coleta e o registro dos dados de temperatura, pH e turbidez da água. Essas informações serão transmitidas em tempo real e de forma remota para uma estação de monitoramento web, na plataforma ThingSpeak¹, onde será possível visualizar as informações de forma clara, através de gráficos, onde serão registrados os valores.

A metodologia proposta para o desenvolvimento deste trabalho, envolverá a revisão

¹ <https://thingspeak.com>

bibliográfica de estudos relacionados à qualidade da água distribuída. Com base nessa revisão foram selecionados os requisitos para funcionamento do sistema e parâmetros de maior relevância a serem monitorados.

O trabalho está organizado em seções. Na seção 2, Referencial Teórico, são abordados os principais conceitos necessários para o entendimento do tema. A seção 3 apresenta um apanhado geral de trabalhos relacionados. Na seção 4, descrita a metodologia utilizada para o desenvolvimento do protótipo proposto, incluindo a montagem dos circuitos e a programação individual de cada um deles. Em seguida, nas seções 5 e 6, são apresentados os resultados e a conclusão, respectivamente.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este trabalho foi desenvolvido utilizando um conjunto de tecnologias e conceitos relacionados à Internet das Coisas (IoT) e parâmetros para monitoramento da qualidade da água. A compreensão desses conceitos é fundamental para o entendimento do projeto. As subseções a seguir são apresentadas de forma detalhada para facilitar a compreensão do conteúdo do artigo.

2.1 Água e sua qualidade

A água é um elemento essencial para o surgimento e a sobrevivência de todas as formas de vida. Além de ser um recurso natural indispensável para a composição bioquímica dos seres vivos (Franco *et al.*, 2021), a água é o principal constituinte para o funcionamento do planeta. Ela faz parte de todos os seres vivos, porém apenas 0,77% de toda a água disponível é aproveitável (Silva *et al.*, 2021).

A água contém uma série de componentes que provêm tanto do próprio ambiente em que ela está inserida quanto de atividades humanas. A qualidade da água está relacionada a esses componentes e às concentrações em que eles se encontram, de modo que sua classificação de pureza e potabilidade está baseada na quantidade e concentração desses elementos (Lira, 2014). Conforme a Portaria de Potabilidade da Água BRASIL (2011), é recomendado a análise dos seguintes parâmetros para designar sua pureza e potabilidade:

- Físicos: cor, turbidez, temperatura, radioatividade, condutividade;
- Organolépticos: gosto e odor;
- Químicos: pH, cloraminas, dióxido de cloro, cloro residual livre, fluoreto, agrotóxicos, produtos secundários da desinfecção, cianotoxinas;
- Microbiológicos: coliformes totais, *Escherichia coli*;
- Hidrobiológicos: cianobactérias;

No Brasil, no que se refere aos instrumentos normativos, destacam-se a portaria do Ministério da Saúde Nº 2.914/2011, e as normas da ABNT: NBR 15.2007, NBR 5.626/1998, NBR

12.214/1992. A Portaria do MS Nº 2914 estabelece que “toda água destinada ao consumo humano, distribuída coletivamente por meio de sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água, deve ser objeto de coleta e vigilância da qualidade da água” (Carvalho, 2014).

Segundo o Ministério da Saúde Portaria Nº 2.914 de 12 de Dezembro de 2011 em seu Art 5º, são adotadas as seguintes definições

I - água para consumo humano: água potável destinada à ingestão, preparação e produção de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem;

II - água potável: água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido nesta Portaria e que não ofereça riscos à saúde;

III - padrão de potabilidade: conjunto de valores permitidos como parâmetro da qualidade da água para consumo humano, conforme definido nesta Portaria;

XV - controle da qualidade da água para consumo humano: conjunto de atividades exercidas regularmente pelo responsável pelo sistema ou por solução alternativa coletiva de abastecimento de água, destinado a verificar se a água fornecida à população é potável, de forma a assegurar a manutenção desta condição;

A conservação da água em seu estado potável para consumo humano, seja para beber, ou utilizá-la para qualquer outra atividade básica do dia a dia, é fator indispensável para saúde e qualidade de vida. Segundo a Resolução Conama 357/2005, a Temperatura da água e o Potencial Hidrogeniônico (pH), são parâmetros que influenciam no equilíbrio dos ecossistemas aquáticos naturais devido a seus efeitos na fisiologia de diversas espécies (Junior, 2019).

O consumo e contato com a água contaminada é uma das principais causas de doenças hídricas, doenças como a hepatite A e E, cólera, febre tifóide, malária e diarreia, que acometem um grande número de pessoas, atingindo seus índices maiores em épocas chuvosas em que a infraestrutura urbana permite o escoamento da água poluída pela superfície. O monitoramento da qualidade da água deve ser realizado tanto pela vigilância em saúde ambiental, quanto pela entidade responsável pela distribuição e abastecimento.

2.1.1 Parâmetros de qualidade da água

O pH (Potencial Hidrogeniônico) tem a função de indicar a neutralidade, acidez ou alcalinidade de uma solução aquosa. O valor de pH varia de 0 a 14, com cálculo sendo feito a partir do logaritmo negativo de base 10 da concentração de íons de hidrogênio em moléculas por litro. O valor de pH igual a 7 indica que a solução se encontra em estado neutro; se o índice de pH for acima de 7, indica que a solução é básica (maior alcalinidade), logo a solução com índices abaixo de 7 se apresenta como uma solução ácida, acusando maior presença de moléculas de hidrogênio do que de oxigênio (Targino *et al.*, 2021).

A Portaria Nº 888 de 2021 do Ministério da Saúde, em seu Art. 39 do Anexo XX, estabelece que o pH ideal deve se encontrar na faixa de valores de 6,0 a 9,0 em seu sistema de distribuição. A medição desses valores deve ser efetuada na saída do tratamento a cada duas horas, sendo esse protocolo adotado para águas provenientes de mananciais superficiais. Já para

as soluções alternativas coletivas, o pH deve ser analisado diretamente no ponto de consumo, devendo essa amostra ser coletada semanalmente.

Outro parâmetro que indica a qualidade da água é a turbidez. A turbidez é uma das características de avaliação da água bruta e tratada, é um indicador qualitativo da água que abastece a população. Ela quantifica a interferência à passagem de um feixe de luz por uma amostra de água, que é causada por partículas sólidas em suspensão, como areia, argila, materiais orgânicos, rejeitos de mineração, bactérias, algas e etc; que desviam ou absorvem os raios luminosos que penetram a água, dando a ela uma aparência turva (Targino *et al.*, 2021).

Além de apresentar aparência, sabor e cheiro desagradáveis, a água com elevados índices de turbidez pode ser prejudicial à saúde, tornando-se um meio propício ao crescimento de microrganismos patogênicos, causando até doenças gastrointestinais.

As medições de turbidez são feitas através de equipamentos chamados de turbidímetros, onde os resultados são dados em nephelometric turbidity unit (NTU), ou unidade nefelométrica de turbidez (UNT) (Junior *et al.*, 2019). O valor permitido para a água tratada é 1 NTU na saída das estações de tratamento, e de 5 NTU em qualquer ponto das redes de distribuição (Leite, 2020).

2.2 IoT - Histórico e conceitos

A história da IoT se inicia muito antes do nascimento da internet. Suas raízes vêm da tecnologia RFID - Radio Frequency Identification. Os princípios desta tecnologia vêm da Segunda Guerra Mundial, como a forma de identificar se o avião captado pelo radar era amigo ou inimigo. O avião, ao captar o sinal do radar, deveria refletir de acordo com suas características, ou emitir um novo sinal, assim o radar compreenderia se ele fazia parte ou não do grupo. Porém o termo “Internet das Coisas” (IoT) foi utilizado por Kevin Ashton, o pioneiro na tecnologia RFID no campo da gestão de suprimentos, pela primeira vez, em uma apresentação à Proctor & Gamble em 1999 (Minerva *et al.*, 2015).

O termo Internet das Coisas (IoT) não tem limitação definida, o que significa que não existe uma definição geral, onde a comunidade global e usuários aprovam, logo a Internet das coisas segue amadurecendo, e continua sendo o conceito mais novo e popular no mundo da tecnologia da informação (Mouha, 2021).

Desde então, a IoT vem ganhando mais definições, à medida que crescem os números de pesquisadores, acadêmicos, patrocinadores e desenvolvedores na área. Aggarwal e Das consideram a IoT como uma “rede global que permite a comunicação de humano para humano, humano para coisa e coisa para coisa”, possibilitando que todos os objetos que são capazes, possam se comunicar entre si através da internet (Oliveira, 2020).

O Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos - IEEE, descreve o termo “Internet das Coisas” como “uma rede complexa, adaptável e auto configurável, que interconecta “Coisas” à internet através do uso de protocolos de comunicação padrão (Júnior, 2019). A “Coisa” usada como termo, pode ser qualquer dispositivo ou sensor com capacidade de coletar dados e

transmiti-lo através de rede sem fio"(Mouha 2021).

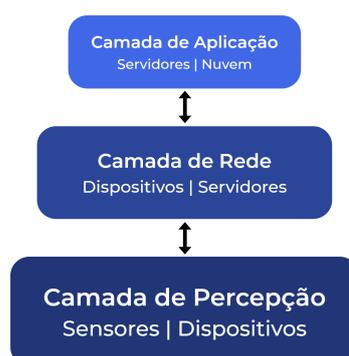
Segundo Madakam, Ramaswamy e Tripathi é “uma rede aberta e abrangente de objetos inteligentes com capacidade de auto-organização, compartilhamento de informações, dados e recursos, reagindo e agindo diante de situações e mudanças no ambiente” (Schulze, 2022).

A IoT evoluiu de forma considerável, muito impulsionada pelo avanço da tecnologia de sensores, conectividade e análise de dados. A IoT pode ser reconhecida como a conexão de objetos cotidianos à internet, permitindo a troca de informações e automatização de tarefas. Através desse avanço tecnológico, os dados podem ser usados para melhorar a eficiência e a conveniência de setores como a saúde, transporte, agricultura e indústria.

2.3 Arquitetura IoT

Assim como acontece na definição de IoT, sua arquitetura possui diferentes propostas, cada uma com seu número de camadas e nomes diferentes. No entanto, existem três que estão presentes em todas as arquiteturas, são a camada de percepção, rede e aplicação (Figura 1).

Figura 1 – Arquitetura básica IoT



Fonte: Autoria Própria (2024)

A primeira, **Camada de Percepção**, é a camada física. Ela é formada por sensores para detecção e coleta de informações sobre o ambiente, esta camada detecta parâmetros físicos ou identifica outros objetos inteligentes no meio onde está inserida (Mouha, 2021). Os sensores usados nessa camada são os mais diversos, e vão depender da sua finalidade de uso. Podem ser usados sensores de temperatura, umidade, precisão e etc (Hernandez *et al.*, 2014).

A segunda camada é a **Camada de Rede**, e pode ser considerada como o cérebro da IoT, que atua como ligação entre as Camadas de Percepção e Aplicação, ela é responsável por se conectar a outros objetos inteligentes, dispositivos de rede e servidores, também caracterizada por transmitir e processar dados dos sensores. Ela pode exercer uma série de atividades, desde o armazenamento e transmissão, até a análise de dados e autenticação de usuários (Oliveira, 2020), bem como usar técnicas de Inteligência Artificial, como Machine Learning, para aprender padrões e melhorar o desempenho em atividades.

E por fim, a terceira camada é a **Camada de Aplicação**, tem como principal objetivo servir de interface para os usuários, apresentando os dados coletados pelos sensores. Ela é responsável

por fornecer serviços de aplicação específicos ao usuário. Nesta camada, são definidas diversas aplicações aos quais a Internet das Coisas pode ser implantada, como casas inteligentes, cidades inteligentes e etc (Mouha, 2021).

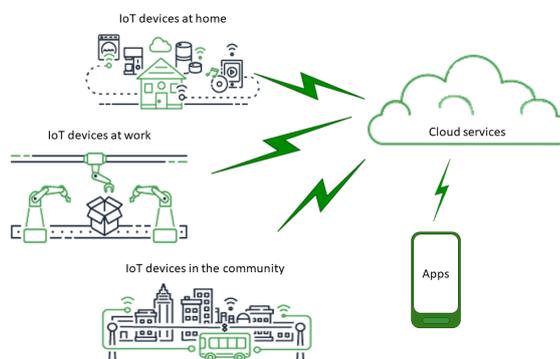
Para citar como exemplo, o projeto desenvolvido em (Khanna, 2016) apresenta um “Sistema de Estacionamento Inteligente Baseado em IoT”, no qual, para a Camada de Aplicação é desenvolvido um aplicativo móvel que possui um conjunto de três telas. Porém vale ressaltar que a camada de aplicação não precisa possuir uma visualização gráfica, existem outras formas de transmitir informação para o usuário, através da visão, audição, tato, dentre outros.

2.4 Aplicação da IoT

A Internet das Coisas tem uma importante promessa de trazer benefícios sociais e econômicos, em áreas como agricultura sustentável, qualidade e uso da água, cuidados com a saúde, manufatura e gestão ambiental, dentre outras áreas. O que faz dela uma área em constante crescimento e alvo de pesquisas, visando o desenvolvimento de aplicações em seu meio.

A IoT já é uma realidade e avança para todas as esferas do nosso cotidiano (Figura 2), desde a comunicação através da internet com veículos e entre veículos, até sistemas de saúde com monitoramento on-line de pacientes (Filho, 2016).

Figura 2 – Aplicações IoT



Acesso em: <https://docs.aws.amazon.com/pt_br/iot/latest/developerguide/aws-iot-how-it-works.html>

Destaca-se que a IoT pode ser utilizada em diferentes áreas do conhecimento. Áreas como transporte, logística, saúde e ambientes inteligentes, comunicação máquina a máquina e de veículo para veículo. Combinações feitas com sensores podem ser aplicadas para vários objetivos, desde o monitoramento do nível de água de uma represa, ou até mesmo detectar o vazamento de esgoto em rios e córregos.

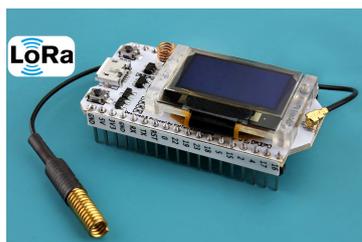
2.5 Componentes

Nesta seção, serão apresentados os componentes utilizados no desenvolvimento do dispositivo MURILO. Cada sub-seção abordará os principais elementos de hardware de cada componente.

2.5.1 Heltec Wi-fi LoRa

O ESP32 Heltec Wi-fi LoRa (Figura 3) é uma placa de desenvolvimento que integra três formas de comunicação: Wifi, Bluetooth e a LoRa (Rede de Comunicação de Longo Alcance). Ela possui um microprocessador desenvolvido pela Espressif Xtensa 32-Bits LX6, dual core e com baixo consumo de energia.

Figura 3 – ESP32 Heltec WiFi LoRa



Acesso em: <<https://www.usinainfo.com.br/blog/esp32-lora-wifi-sx1278/>>

Em sua região inferior do módulo há um interface de bateria do tipo SH1.25-2 com um sistema integrado para o gerenciamento de bateria, que permite o controle de carga e descarga, onde protege contra a sobrecarga, e troca automaticamente as fontes de alimentação, USB e bateria. Está integrada a uma tela OLED de 0,96 polegadas com resolução 128x64. Também conta com um controlador de carga JST para uma bateria (Li-Ion ou Li-Po) de 3.7V.

A LoRa opera em frequência de 433MHz, 868MHz ou 915MHz. Além de possuir o diferencial de se conectar com módulos e sensores na placa para obter dados ou executar ações. O dispositivo também possibilita que uma interface seja feita para que as informações obtidas pelo LoRa possam ser acessadas via Bluetooth ou Wi-Fi, e posteriormente possam ser disponibilizadas na internet.

2.5.2 Sensor de pH (BNC 0-14)

O sensor de pH BNC 0-14 da Figura 4, é um sensor que utiliza um eletrodo de vidro onde mede o nível de acidez ou alcalinidade em soluções. É indicado para verificar e permitir a manutenção dos níveis de pH dentro de escalas de uso em piscinas, aquários, caixas d'água, rios, lagos e reservatórios em geral, permitindo o controle dos níveis e proporções aceitáveis para consumo e uso de pessoas, animais e plantas.

Este dispositivo é projetado para fornecer informações sobre as concentrações de íons de hidrogênio (pH) presentes em substâncias analisadas. Ele funciona baseado no potencial de célula eletroquímica e tem sua faixa de medição de pH entre 0 e 14 que é medida proporcionalmente a tensão em volts obtida nas leituras, que varia de 0 a 5 volts. Quando o sensor é mergulhado na solução de teste, os íons de hidrogênio presentes nesse líquido iniciam uma troca com íons positivamente carregados na membrana de vidro, de forma a criar o potencial eletroquímico por meio da membrana, convertendo em sinais para leitura do módulo.

Figura 4 – Sensor de pH



Acesso em: <<https://www.fermarc.com/produto/sensor-de-ph-arduino-modulo-de-leitura.html>>

O módulo sensor de pH, tem as seguintes especificações técnicas: tensão de aquecimento de $5 \pm 0,2$ volts (AC/DC), corrente de trabalho de 5 a 10 mA, faixa de temperatura de 0 a 60°C, saída analógica de 0 a 5 volts, além de possuir eletrodo com dimensões de 160 mm de largura x 26 mm de profundidade x 26 mm de altura.

O sensor precisa ser calibrado regularmente, usando soluções com valores de pH já conhecidos. Precisa ser manuseado com bastante cuidado e sua limpeza precisa ser feita de forma adequada. Por fim, o sensor deve ser armazenado corretamente em solução de armazenamento apropriada.

2.5.3 Sensor de Temperatura (DS18B20)

O sensor de temperatura DS18B20 Figura 5 é um termômetro digital produzido pela Dallas Instruments, é um dispositivo de alta precisão, que utiliza o princípio de mudança de resistência com a variação de temperatura.

Figura 5 – Sensor de Temperatura



Fonte: <<https://www.eletrogate.com/sensor-de-temperatura-ds18b20-a-prova-dagua>>

Sua comunicação é feita por apenas 1 fio, chamado pelo fabricante de protocolo de comunicação *One Wire*, em uma única comunicação, ou seja, ele precisa de apenas 1 pino do microcontrolador para transferência de dados. Este sensor opera de 3 a 5,5 volts, e pode ser alimentado por linha de dados.

O sistema One-Wire foi desenvolvido pela Dallas Semiconductor, tendo o protocolo de comunicação cuja estrutura se dá de forma de um barramento. É uma linha única para transmissão de dados, no qual pode fazer conexão com vários dispositivos para troca de informação.

Sua amplitude de operação vai de -55°C até $+125^{\circ}\text{C}$ e com precisão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, se estiver operando dentro da faixa de -10°C até $+85^{\circ}\text{C}$. O termômetro digital à prova d'água, é utilizado para monitorar a temperatura em reservatórios de água ou climatização de ambientes.

2.5.4 Sensor de Turbidez (ST100)

O sensor de turbidez (Figura 6) é um módulo desenvolvido com o objetivo de proporcionar um método simples e prático para a verificação de um dos parâmetros de qualidade da água. O módulo sensor é formado por um componente que necessita estar em contato com a água. Este componente emite uma luz infravermelho imperceptível à visão humana, sendo capaz de detectar partículas que estiverem em suspensão na água e assim fazendo a medição da taxa de dispersão de luz.

Este sensor possui como especificação técnica um Chip Board: MPC6021, tensão de 5 volts, saída analógica de 0 a 4.5 volts, e temperatura de operação de -30°C a 80°C .

O aumento da turbidez é causado por partículas sólidas como materiais orgânicos e argila, que interferem na propagação da luz emitida pelo sensor através do efeito Tyndall, que detecta a dispersão da luz projetada em um líquido, ou seja, quanto maior o número de partículas, mais a luz será espalhada.

Assim, a verificação acontece de forma simples, em águas mais claras, a dispersão da luz até o receptor é mínima e a medida em que a turbidez aumenta, menor é a quantidade de luz que chega até o receptor.

Figura 6 – Sensor de Turbidez



Acesso em: <<https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-turbidez-arduino-st100>>

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Nesta seção serão apresentados trabalhos que buscam desenvolver ferramentas para otimizar e melhorar a coleta de dados referentes a parâmetros de potabilidade da água, utilizando de dispositivos e sensores da IoT para isso.

O trabalho feito por Leite (2020) propõe uma plataforma de monitoramento da qualidade da água, em que seu custo seja acessível ao público, através da utilização de sensores “baratos”, e que realizam a medição dos principais parâmetros relacionados à qualidade da água. Os parâmetros abordados foram: temperatura, pH e turbidez, utilizando a plataforma Arduino e a linguagem de programação C. Os parâmetros são mostrados em display LCD, e o objetivo foi monitorar as águas de forma superficial da cidade de Pau dos Ferros/RN.

A proposta teve resultados satisfatórios, e seus dados foram comparados com outros sensores e outros materiais. No decorrer do trabalho foram encontradas dificuldades para obter resultados tidos como exatos. A calibração dos potenciômetros presentes nos sensores fez-se necessária para coletar os dados para convertê-los em unidades reais.

O projeto desenvolvido em Targino et al. (2021) teve como objetivo desenvolver um dispositivo de baixo custo para monitorar em tempo real os parâmetros de pH, turbidez, e temperatura da água. Para que o objetivo fosse atingido, foi desenvolvido um hardware, formado por sensores, controladores e uma fonte de alimentação, junto da programação de software que foi feita em linguagem Arduino, que é semelhante a linguagem C. A calibração e validação dos sensores foi feita através de ensaios no Laboratório de Saneamento da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), com pHmetro e turbidímetro. O sistema foi testado em um reservatório de água da UFCG e enviava os dados coletados para a plataforma online ThingSpeak, que apresenta os dados e informações graficamente.

Os resultados comprovaram a eficiência do sistema de baixo custo para monitoramento da qualidade da água. Os resultados das medições se mostraram coerentes com os valores lidos pelo pHmetro e turbidímetro. Além disso, a plataforma ThingSpeak também se mostrou uma ótima alternativa para receber os dados.

A pesquisa realizada por Lima et al. (2018) propõe a criação de um módulo de sensores com a disponibilização dos dados na internet. Realizando sua programação através da plataforma Arduino e os dispositivos disponíveis. A proposta é aplicar o módulo na Universidade Estadual de Feira de Santana, monitorando as variáveis da água da instituição, podendo também aplicá-lo em outros campos de pesquisa.

O objetivo da proposta foi tido como atendido. O protótipo dos sensores irá servir como primeiro passo para outras pesquisas do meio. As variáveis foram medidas e enviadas a gráficos onde mostravam os valores ao longo do dia. O autor frisa que o objetivo não era julgar a potabilidade e qualidade da água, mas sim mostrar novos caminhos e ferramentas para obter informações sobre o tema.

Por fim, o trabalho Júnior (2019) apresenta o desenvolvimento e aplicação de um sistema de automação para monitorar a qualidade da água. A aplicação será implantada no Instituto Federal de Tocantins, com propósito de auxiliar profissionais das Ciências Agrárias no monitoramento automático da qualidade da água. A implementação do sistema tem como objetivo principal análise da viabilidade de um sistemas de baixo custo para monitorar a água.

O autor, avaliou como positivo o desenvolvimento do protótipo, já que seu custo foi inferior aos encontrados no mercado, dando aos seus usuários uma maior segurança com as

coletas automáticas de dados, sem erros humanos em anotações, por exemplo.

O quadro apresentado na Tabela 1 podemos notar que de todos os projetos, apenas dois utilizaram a plataforma de prototipagem ESP32, sendo o Arduino a plataforma mais utilizada dentre os outros. Além disso, os sensores de pH e temperatura são aplicados por todos os projetos.

Tabela 1 – Tabela Comparativa

Autor		MURILO	LEITE, 2020	TARGINO et al., 2021	LIMA et al., 2018	JUNIOR, 2019
Armazenamento	Nuvem	X		X		X
Plataforma		ESP32	Arduino	Arduino	Arduino	ESP32
	Temperatura	X	X	X	X	X
Sensores	pH	X	X	X	X	X
	Turbidez	X	X	X		
	Display	X	X	X		
Monitoramento	ThingSpeak	X		X		X

4 METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

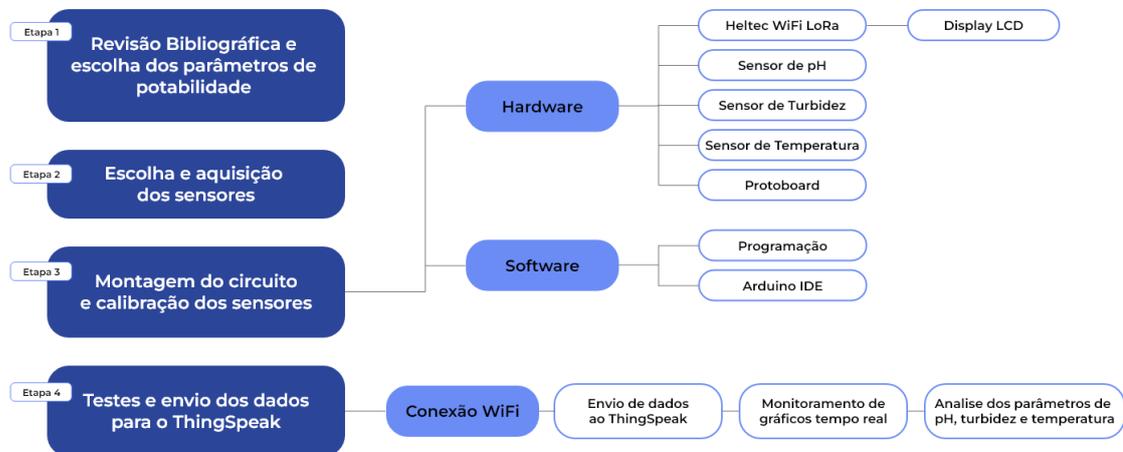
O presente trabalho teve como ponto de partida o estudo de padrões de monitoramento da qualidade da água, através de uma pesquisa bibliográfica de artigos, visando entender o funcionamento da abordagem convencional, seus limitadores e problemáticas a serem combatidas. Após os estudos visando artigos relacionados a parâmetros de qualidade da água, foi realizado um estudo sobre plataformas e outros trabalhos desenvolvidos que buscavam monitorar reservatórios de água e realizar a coleta de dados dos mesmos.

Assim, foi escolhida uma metodologia dividida em etapas, conforme ilustrado na Figura 7. Primeiramente, realizou-se a revisão bibliográfica. Seleccionaram-se os parâmetros mais importantes e de melhor aplicação para monitorar a qualidade da água. Depois, foram adquiridos os sensores, construído o circuito e programado o dispositivo. Por fim, foram realizados os testes, o envio de dados para a nuvem e a validação da plataforma.

A metodologia foi executada de uma forma interativa e incremental, onde cada etapa foi desenvolvida e validada antes de avançar para a próxima. Utilizou-se a abordagem de reuniões semanais para revisão e alinhamento do projeto, onde foi avaliado o progresso e foram planejadas as próximas etapas.

Com base no levantamento dos indicadores utilizados na metodologia convencional, foi realizada a triagem dos elementos mais eficazes para avaliar a qualidade da água, considerando também a disponibilidade de sensores acessíveis e funcionais para uso no projeto. Como resultado, o potencial hidrogeniônico (pH), a turbidez e a temperatura da água foram selecionados como os principais parâmetros a serem monitorados pelo dispositivo. Com os parâmetros definidos, foram adquiridos os respectivos sensores, o sensor de pH (BNC 0-14), sensor de turbidez (ST100), e por fim o sensor de temperatura (DS18B20).

Figura 7 – Fluxograma da metodologia



Fonte: Autoria Própria

4.1 Montagem dos circuitos e programação do dispositivo

Para o monitoramento remoto cada parâmetro possui um sensor dedicado, totalizando o uso de três sensores no sistema proposto. As rotinas de coleta de dados foram programadas na IDE do Arduino e transferidas para o microcontrolador Heltec WiFi LoRa. O microcontrolador processa os dados de cada leitura e os envia para uma plataforma online.

Para montagem dos circuitos os sensores foram montados um de cada vez, calibrados e testados. Após validação de cada um dos sensores isoladamente, foi feita a integração dos circuitos, códigos, e testado o funcionamento do dispositivo com os sensores em conjunto.

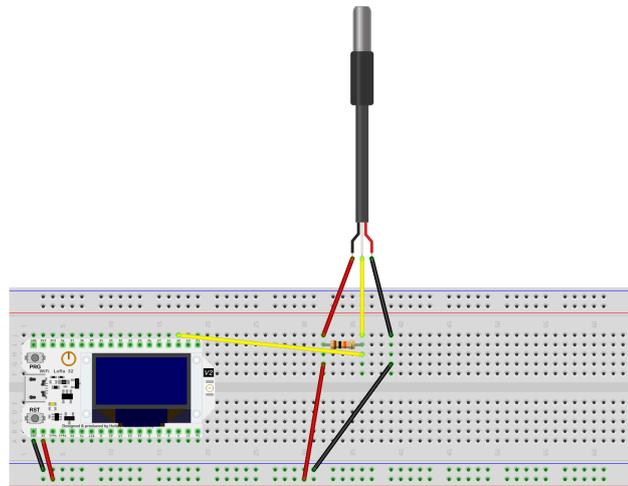
4.1.1 Montagem do Sensor de Temperatura

O sensor de temperatura DS18B20 é um termômetro digital, que pode medir e interpretar a temperatura, fornecendo essas informações através da unidade de temperatura na escala graus Celsius (°C).

A conexão do sensor de temperatura com o ESP32 é realizada assim como está ilustrado na Figura 8. O pino de alimentação (VCC) do sensor é conectado ao pino de 5V do ESP32, o pino terra (GND) do sensor é conectado ao GND do ESP32 e o pino de dados do sensor é conectado ao pino digital 12. Além disso é necessário que se adicione um resistor de 10k Ohms entre o pino de dados e o de alimentação 5V, para garantir um estado lógico estável.

Para funcionamento do sensor, são necessárias duas bibliotecas, OneWire e Dallas Temperature, que podem ser baixadas diretamente do repositório de bibliotecas do Arduino IDE. O sensor fornece os dados em graus Celsius, sem que seja necessária calibração.

Figura 8 – Circuito Sensor de Temperatura



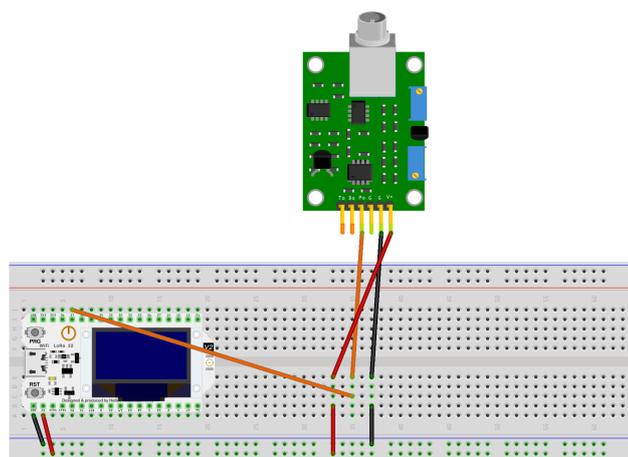
Fonte: Autorial Própria

4.1.2 Montagem do Sensor de pH

O sensor de pH BNC 0-14 é um produto sensível que possui um eletrodo de vidro que capta os índices de pH em líquidos. Ele possui uma placa com regulador de tensão que suporta fornecimento entre 3.3 e 5.5V. O sensor possui um eletrodo pH, que é utilizado como sonda, e um módulo de leitura eletrônico, que faz a intermediação com o ESP32.

Para conectarmos o módulo de leitura do sensor ao ESP32, foram utilizados cabos jumpers, foram conectados o pino V+ do módulo ao 5V do ESP32, o G ao GND, e o pino Po do módulo ao pino analógico 37 (A1) do ESP32, assim como ilustrado na Figura 9.

Figura 9 – Circuito Sensor de pH



Fonte: Autorial Própria

Para que o sensor seja utilizado com sucesso ele precisa passar por um processo de calibração. As leituras feitas pela haste do sensor, variam de 0 a 5V, que são proporcionais aos valores de pH, que variam de 0 a 14. Sendo pH = 0 possui uma tensão de 0V, e pH = 14 tem sua tensão de 5V. Para calibração do módulo é necessário colocar o pino central BNC em

curto, que ao ser conectado com o ESP32, ele mostrará o valor médio da tensão do módulo, assim conseguimos ajustar o potenciômetro para que ele passe para a tensão sugerida para funcionamento, de 2,5V equivalente a $pH = 7$. Porém ao realizar os testes, foi detectado que os valores de tensão lidos não ficavam abaixo de 3,5V em nosso sensor, então o valor base para a calibração foi esse de 3,5V.

Após a calibração do módulo de leitura, ele é retirado do curto-circuito, e a sonda é conectada ao conector BNC. Em seguida, o código é ajustado para converter os valores de leitura, obtidos em volts, para os valores padrão de pH, utilizando a seguinte fórmula:

$$pH = -5.70 * (volts) + 27.80 \quad (1)$$

Na fórmula de conversão de volts em pH utilizada por Matheus Gebert Straub (2022), em um artigo de calibragem do sensor de pH. O "volts" representa a média do valor lido pelo sensor em volts, e "27,80", é o valor de calibração, um ajuste que fazemos para que a leitura em volts se aproxime o máximo possível dos valores padrão de pH, podendo ser alterado conforme a tensão obtida.

Para testar o sensor, foram utilizadas soluções com pH conhecidos, permitindo a comparação entre o valor obtido e o valor padrão. A sonda de leitura é extremamente sensível e deve estar sempre limpa, sendo armazenada corretamente em solução apropriada após cada teste de leitura.

4.1.3 Montagem do Sensor de turbidez

O sensor é formado por uma sonda que emite luz infravermelho, sendo ela imperceptível à visão humana, essa luz é capaz de detectar partículas que estariam em suspensão na água, que iriam variar a leitura de acordo com a taxa de dispersão da luz na água. Além da sonda que fica em contato com a água, o sensor também possui um módulo de leitura, que faz intermédio com o ESP32.

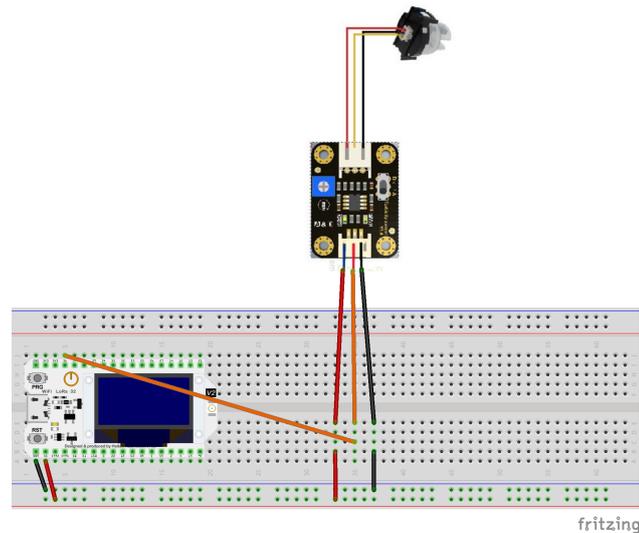
Para montagem dos circuitos do sensor, podemos utilizar a leitura com o pino digital, ou analógico. Para o projeto foi escolhido o uso do pino analógico por possuir uma leitura mais precisa. Portanto a ligação foi feita como ilustrado na figura 10, o G foi ligado ao GND do ESP32, o A ao pino analógico, e o V ao VCC para alimentação de 5V.

Após a conexão dos circuitos, o código foi desenvolvido para converter as leituras de volts em NTU. Para determinar os valores corretos de NTU, utilizamos a equação a seguir:

$$x = 8,529539 \pm \frac{\sqrt{1,052834 - 0,243448(4,3382052 - V)}}{0,121724} \quad (2)$$

O sinal utilizado dentro do código foi o negativo, e a variável "V" presente na equação, representa o valor da tensão obtida na leitura. Essa equação estabelece a relação entre o valor de tensão em volts e o NTU, permitindo que se obtenham valores dentro da faixa aceitável de NTU.

Figura 10 – Circuito Sensor de Turbidez



Fonte: Autoria Própria

4.1.4 Envio dos dados para o ThingSpeak

Para possibilitar o acesso em tempo real aos dados dos sensores, as informações coletadas são exibidas no display integrado do ESP32 Heltec WiFi LoRa e enviadas para um servidor na nuvem, permitindo o acesso remoto. A plataforma escolhida para o armazenamento e visualização dos dados foi o ThingSpeak.

O ThingSpeak é uma plataforma de IoT gratuita. Os dados são plotados em gráficos a cada período de tempo. Outro detalhe importante, é que o ESP32 Heltec WiFi LoRa também possibilita a conexão com WiFi, facilitando a comunicação e envio desses dados.

Os dados lidos pelos sensores são enviados para o dashboard do ThingSpeak através da conexão Wi-Fi do ESP32. Para estabelecer essa conexão com a plataforma online, é utilizada a biblioteca oficial do ThingSpeak, disponível na IDE do Arduino. Ao criar um novo dashboard no ThingSpeak, são gerados um ID de canal e uma chave de API, que precisam ser especificados no código para direcionar corretamente os dados. Além disso, o código permite a configuração dos gráficos em que cada dado será plotado, facilitando a visualização das informações coletadas. É importante destacar que há um intervalo mínimo de 15 segundos entre os envios de dados, conforme as limitações da plataforma.

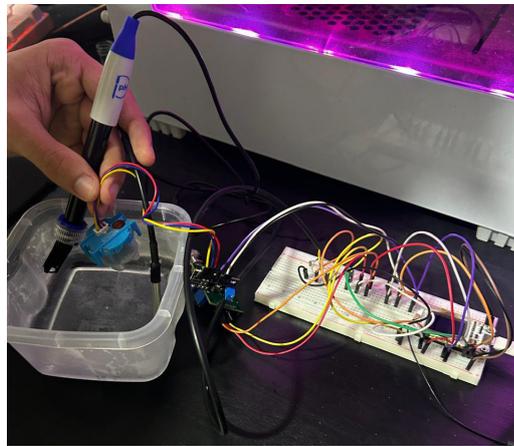
O ThingSpeak apresentou um desempenho satisfatório. Além de ser gratuito, a plataforma oferece uma interface intuitiva e de fácil acompanhamento dos dados. Durante os testes, não foram observadas falhas, e os dados foram plotados corretamente. O limitador de 15 segundos entre as transmissões não interferiu na coleta de dados, nem comprometeu o monitoramento dos parâmetros de qualidade da água.

5 RESULTADOS

Nesta seção, são apresentados os resultados dos testes realizados com o primeiro modelo do projeto MURILO.

O dispositivo MURILO (Figura 11) apresentou resultados e desempenho tidos como satisfatórios, dentro da sua proposta. O microcontrolador ESP32, da Espressif Systems, mostrou-se uma escolha adequada para o projeto, pois permite conexão Wi-Fi sem a necessidade de módulos adicionais, além de possibilitar o envio de dados em tempo real para a plataforma online ThingSpeak.

Figura 11 – Protótipo MURILO

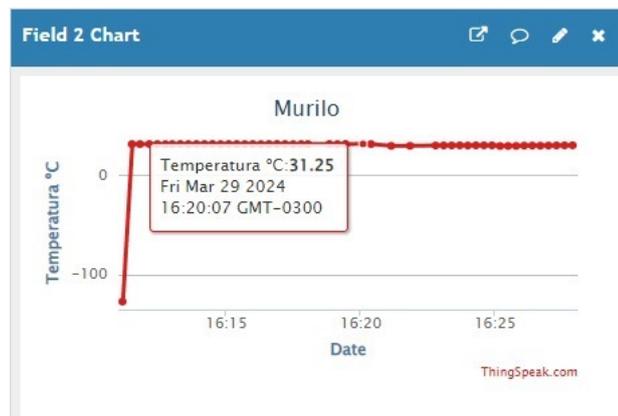


Fonte: Autoria própria

Os resultados apresentados são a partir de dados coletados dos testes com a água mineral, visando medir as variações nos parâmetros de pH, turbidez e temperatura.

O sensor de temperatura demonstrou desempenho satisfatório, sem variações significativas e fornecendo dados consistentes. A média das medições foi de 31,2°C, como mostrado na Figura 12. O valor obtido foi equivalente à temperatura do ambiente onde os testes foram realizados.

Figura 12 – Gráfico Temperatura



Fonte: Autoria própria

O sensor de turbidez também apresentou um comportamento estável em suas medições, sem grandes variações durante o período de coleta de dados. A média registrada foi de 1,61 NTU (Figura 13), com variações entre 1,59 NTU e 1,63 NTU, valores esperados para uma amostra de água mineral, demonstrando um desempenho consistente durante todo o período de testes. As grandes variações apresentadas no gráfico são de períodos curtos de tempo em que o sensor foi removido da água para verificar se estava realizando a coleta correta dos dados.

Figura 13 – Gráfico Turbidez



Fonte: Autoria própria

Por outro lado, o sensor de pH apresentou maiores variações na coleta de dados, como apresentado na Figura 14. Apesar de uma calibração cuidadosa e testes iniciais, o sensor de pH se mostrou mais desafiador devido à sua alta sensibilidade. O sensor demora aproximadamente um minuto para estabilizar em uma faixa de medida, e mesmo após esse período, os valores ainda apresentavam flutuações, sem manter estabilidade em um único valor durante o período de coleta. Após ajustes e calibração, alcançamos uma performance aceitável do sensor, com variações menores ao enviar os dados a cada 15 segundos para a plataforma. O sensor de pH registrou valores entre 6,32 e 7,08, dentro da faixa esperada para água mineral, que varia entre 6 e 7.

Figura 14 – Gráfico pH



Fonte: Autoria própria

Embora tenham ocorrido algumas variações pontuais na coleta de dados de pH durante o monitoramento remoto da água, o MURILO demonstrou ser eficiente no envio de dados via Wi-Fi, além de apresentar um excelente custo-benefício. Os custos do dispositivo desenvolvido neste projeto são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores dos materiais utilizados no MURILO

Materiais	Quantidade	Valor Unitário
ESP32	1	\$179.50
Sensor de pH	1	\$55.46
Sensor de turbidez	1	\$189.34
Sensor de temperatura	1	\$14.73
Resistor de 10k Ohm	1	\$0.85
Protoboard	1	\$12.83
Custo Total:		\$452.71

Comparado aos dispositivos utilizados em laboratório pela metodologia convencional (Tabela 3), o MURILO se destaca como uma proposta promissora para a coleta de dados, com grande potencial de otimização. A diferença de custo entre os equipamentos é significativa: o sensor de pH utilizado no MURILO custou R\$ 55,46, enquanto o pHmetro de laboratório tem um custo estimado em R\$ 1.187,03. No total, o custo de desenvolvimento do MURILO foi de R\$ 452,71, representando menos da metade do valor necessário para medir o pH utilizando a metodologia convencional. O projeto permite o envio e monitoramento em tempo real e de forma remota, em contraste com a metodologia convencional.

Tabela 3 – Valores dos materiais similares da metodologia convencional

Materiais	Quantidade	Valor Unitário
Phmetro	1	\$1,187.03
Turbidimetro	1	\$899.24
Termômetro digital	1	\$16.75
Custo Total:		\$2,103.02

6 CONCLUSÃO

O presente projeto teve como objetivo o desenvolvimento de uma ferramenta de baixo custo para controle e monitoramento em tempo real, de parâmetros associados à qualidade da água para consumo humano.

Os resultados deste estudo mostram a eficiência no envio de dados para a plataforma online ThingSpeak, e uma boa coleta de dados por parte dos sensores de turbidez e temperatura, que se mostraram estáveis. Porém algumas dificuldades foram identificadas, especialmente com relação a operação com o sensor de pH. A sensibilidade do sensor exige uma manipulação cuidadosa, e uma calibração constante, o que gera resultados e dados incertos para o projeto. Assim, observa-se que o protótipo ainda precisa ser aprimorado. No estágio atual em que se encontra, ele pode ser utilizado para detecção de irregularidades significativas na qualidade da água.

O baixo custo para a criação do dispositivo, mostra-se favorável para a aplicação do monitoramento remoto em áreas de difícil acesso, para ampliar a segurança das famílias que consomem a água proveniente de sistemas alternativos, ou que armazenam água em locais alternativos como cisternas e etc. O custo do protótipo desenvolvido foi de R\$ 452,71, inferior aos equipamentos semelhantes encontrados no mercado, e com diferencial de apresentar os dados de forma remota e em tempo real, sem tempo nem custo de deslocamento.

Para trabalhos futuros, a otimização da ferramenta pode ser realizada, incluindo a criação de uma caixa para transporte e proteção do dispositivo, permitindo a aplicação dele em reservatórios diversos. Além da incorporação de mais sensores que possam melhorar o controle da qualidade e tornar ainda mais precisa a coleta de dados. Além da possibilidade de implementar uma plataforma própria para notificar e informar os usuários da água e os responsáveis por monitorar e tratar a mesma.

REFERÊNCIAS

ALVES, W. S. et al. Avaliação da qualidade da água do abastecimento público do município de Juazeiro do norte, ce. **Revista Desafios**, MISC, v. 4, n. 2, p. 112–119, 2017.

BEZERRA, A. D. A. et al. Análise da potabilidade de água de chafarizes de dois bairros do município de Fortaleza, Ceará. **Acta Biomedica Brasiliensia**, Faculdade de Ciências Biológicas e da Saúde, v. 8, n. 1, p. 24–34, 2017.

BRASIL, I. Instituto brasileiro de geografia e estatística. **Censo demográfico**, v. 2010, p. 11, 2010.

BRASIL, M. d. S. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, n. 12, 2011.

CARVALHO, J. R. S. d. **Avaliação do DESVIUFPE como barreira para proteção da qualidade da água de chuva armazenada em cisternas**. Dissertação (B.S. thesis), 2014.

FILHO, M. F. Internet das coisas. **Unisul Virtual**, 2016.

FRANCO, M. L. et al. Proposta de dispositivo de monitoramento da qualidade da água de baixo custo. **Revista ComInG-Communications and Innovations Gazette**, v. 5, n. 1, p. 44–55, 2021.

FUNASA, F. d. S. Manual prático de análise de água. 3. **Brasília: Fundação Nacional de Saúde**. 145p, 2009.

HERNANDEZ, G. et al. Smart nest thermostat: A smart spy in your home. **Black Hat USA**, v. 1550, 2014.

JUNIOR, J. A. J. **Desenvolvimento de sonda multiparâmetro dinâmica de qualidade de água (Sonda Aqua-X)= dynamic multi-parameter probe development (Aqua-X Probe)**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Brasil, 2019.

JUNIOR, O. P. da S.; CARVALHO, S. L. de; RAGASSI, B. Avaliação da temperatura, turbidez e ph no córrego das marrecas-sp. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 12, n. 24, 2019.

JÚNIOR, W. B. L. Modelagem de um sistema multiparâmetro para monitoramento da qualidade da água utilizando internet das coisas. Universidade Federal do Tocantins, 2019.

KHANNA, A. S. **High temperature corrosion**. [S.l.]: World Scientific, 2016.

LEITE, M. Y. F. Plataforma de monitoramento da qualidade da água utilizando sistemas embarcados. 2020.

LIMA, E. L. et al. Módulo de sensores para monitoramento da qualidade da água com transmissão sem fio utilizando plataforma de prototipagem. Universidade Estadual de Feira de Santana, 2018.

LIRA, O. d. O. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em etas**. [S.l.]: Funasa, 2014.

MACHADO, A. V. M. et al. Acesso ao abastecimento de água em comunidades rurais: o desafio de garantir os direitos humanos à água. In: **XII Congresso Nacional de Excelência em Gestão & III INOVARSE-Responsabilidade Social Aplicada**. [S.l.: s.n.], 2016. p. 14.

Matheus Gebert Straub. **Projeto de calibração sensor de pH**. 2022. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/blog/sensor-de-ph-arduino-como-calibrar-e-configurar/>>. Acesso em: 13 de setembro 2024.

MINERVA, R.; BIRU, A.; ROTONDI, D. Towards a definition of the internet of things (iot). **IEEE Internet Initiative**, IEEE, v. 1, n. 1, p. 1–86, 2015.

MOUHA, R. A. Internet of things (iot). **Journal of Data Analysis and Information Processing**, Scientific Research Publishing, v. 9, n. 2, p. 77–101, 2021.

OLIVEIRA, R. A. d. O. Plante - uma plataforma inteligente para o monitoramento e irrigação agrícola. 2020.

ROCHA, R. S.; ITO, A. H.; LAUTENSCHLAGER, S. R. Uso de sensores inteligentes com transmissão sem fio para monitoramento de cloro residual na rede de distribuição de água de jussara-pr.

SCHULZE, M. Digitalisierung in der finanzberichterstattung–folgen und consequenzen für den einsatz des neuen mediums. **Junior Management Science (JUMS)**, Planegg: Junior Management Science e. V., v. 7, n. 4, p. 1001–1031, 2022.

SILVA, A. B. da et al. Monitoramento dos parâmetros microbiológicos da água de cisternas em escolas públicas de pocinhos. **Interfaces Científicas-Saúde e Ambiente**, v. 8, n. 3, p. 336–347, 2021.

SILVA, M. P. B. d. **Monitoramento de parâmetros de qualidade da água com plataforma desenvolvida com Arduino**. Dissertação (B.S. thesis), 2023.

TARGINO, I. F. et al. Sistema de baixo custo para monitoramento remoto da qualidade da água. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 6, p. 665–680, 2021.