



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba
Campus Campina Grande
Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Telemática

Monitoramento de Parâmetros de Qualidade da Água com Plataforma Desenvolvida com Arduino

Matheus Pereira Braz da Silva

Orientador: Danyllo Wagner Albuquerque

Campina Grande, Junho de 2023
©Matheus Pereira Braz da Silva



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba
Campus Campina Grande
Coordenação do Cursos Superior de Tecnologia em Telemática

Monitoramento de Parâmetros de Qualidade da Água com Plataforma Desenvolvida com Arduino

Matheus Pereira Braz da Silva

Monografia apresentada à Coordenação do
Curso de Telemática do IFPB - *Campus*
Campina Grande, como requisito parcial
para conclusão do curso de Tecnologia em
Telemática.

Orientador: Danyllo Wagner Albuquerque

Campina Grande, Junho de 2023

S586o Silva, Matheus Pereira Braz da.

Monitoramento de parâmetros de qualidade da água com plataforma desenvolvida em arduino. / Matheus Pereira Braz da Silva. - Campina Grande, 2023.

48 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em tecnologia em Telemática) - Instituto Federal da Paraíba, 2023.

Orientador: Prof. Dr. Danyllo Wagner Albuquerque.

1.Plataforma de monitoramento 2.Qualidade da água
3.Internet das coisas I.Albuquerque, Danilo Wagner. II.Título.

CDU 004

Monitoramento de Parâmetros de Qualidade da Água com Plataforma Desenvolvida com Arduino

Matheus Pereira Braz da Silva

Danyllo Wagner Albuquerque

Bruno de Brito Leite

Igor Barbosa da Costa

Campina Grande, Paraíba, Brasil

Junho/2023

Dedico a amigos e familiares que contribuíram de alguma forma direta ou indireta.

O potencial humano para evoluir é infinito. - Issac Netero em HunterxHunter

Agradecimentos

Agradeço profundamente à minha família e amigos pelo apoio incondicional e esforço em me ajudar a superar todos os desafios e ter sucesso neste trabalho. Sua crença em mim e sua orientação foram inestimáveis, e sou verdadeiramente grato por suas contribuições.

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos ao meu orientador por seu excepcional apoio, dedicação e esforço para garantir o sucesso deste projeto. Sua orientação e experiência foram fundamentais, e sou grato por seu compromisso.

Também gostaria de expressar minha gratidão aos meus colegas de pesquisa, que forneceram um ambiente colaborativo e estimulante. Suas contribuições e discussões enriqueceram minha perspectiva e me ajudaram a superar obstáculos ao longo do caminho.

Gratidão ao IFPB pelo suporte financeiro para este projeto. Seu investimento tornou possível a realização da pesquisa e a obtenção dos recursos necessários para análises e experimentos. Sua confiança em meu trabalho é muito apreciada.

Agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para o sucesso deste trabalho. Seu apoio foi inestimável e sou extremamente grato por ter tido a oportunidade de trabalhar com pessoas tão incríveis.

Resumo

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma plataforma para o monitoramento e gestão da qualidade da água, visando a preservação dos recursos hídricos e o bem-estar das comunidades. A plataforma utiliza sensores inteligentes e tecnologias de Internet das Coisas (IoT) para coletar dados em tempo real de parâmetros como pH, turbidez, níveis de oxigênio dissolvido e presença de poluentes. A implementação dessa plataforma oferece uma solução acessível e prática para o monitoramento contínuo do estudo abrangendo diversas etapas, desde a seleção dos parâmetros de água até a programação do Arduino e o desenvolvimento da plataforma de monitoramento. Os resultados obtidos mostraram a possibilidade de análise e visualização dos dados de qualidade da água, facilitando a tomada de decisões informadas e a implementação de medidas corretivas. A utilização da plataforma contribui para a sustentabilidade dos recursos hídricos e a segurança da população, permitindo a detecção precoce de problemas e ação corretiva oportuna. Essa plataforma representa uma solução prática e eficaz para o monitoramento contínuo da qualidade da água, com implicações significativas na preservação do meio ambiente e no bem-estar das comunidades. Acredita-se que este estudo incentiva pesquisas e aplicações práticas nesse campo, impulsionando o desenvolvimento de soluções avançadas para a gestão sustentável dos recursos hídricos.

Palavras-chave: plataforma, monitoramento, qualidade da água, recursos, IoT, sensores, coleta de dados, tomada de decisões, medidas corretivas, sustentabilidade, preservação ambiental, bem-estar das comunidades.

Abstract

Water quality is a crucial factor for human health and the environment, and continuous monitoring is essential, especially in areas where water supplies are limited. However, the assessment and monitoring of water quality is challenging due to, among other factors, the high costs involved in acquiring equipment and the difficult interpretation of analysis results. This work aims to develop a platform for monitoring and managing water quality, with a view to preserving water resources and the well-being of communities. The platform uses smart sensors and Internet of Things (IoT) technologies to collect real-time data on parameters such as pH, turbidity, dissolved oxygen levels and the presence of pollutants. The work methodology consisted of steps such as the selection of water parameters, selection and acquisition of sensors, construction of the electronic circuit, Arduino programming, development of the monitoring platform, and testing and validation of the platform. Among the study results, the possibility of analysis and visualization of water quality data stands out, facilitating informed decision-making and the implementation of corrective measures. The implementation of the platform contributes to the sustainability of water resources and the safety of the population, allowing early detection of problems and timely corrective action. Representing an affordable solution for continuous water quality monitoring, the platform has significant practical implications for the preservation of the environment and the well-being of communities. It is hoped that this study will stimulate research and practical applications in this field, boosting the development of advanced solutions for the sustainable management of water resources.

Keywords: platform, monitoring, water quality, resources, IoT, sensors, data collection, decision-making, corrective measures, sustainability, environmental preservation, community well-being.

Sumário

Lista de Abreviaturas	xii
Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas	xiv
1 Introdução	1
1.1 Problemática	2
1.2 Objetivos	3
1.3 Metodologia	3
1.4 Relevância e Contribuições	4
1.5 Estrutura do Trabalho	6
2 Fundamentação Teórica	7
2.1 Microcontroladores e Arduino	7
2.2 Plataforma Web	8
2.3 Protocolo MQTT	8
2.4 Água e indicadores de qualidade	9
2.4.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)	9
2.4.2 Turbidez	9
2.4.3 Temperatura da água	10
2.4.4 Condutividade elétrica da água	10
2.5 Considerações do capítulo	10
3 Trabalhos Relacionados	11
4 Configuração do Estudo	13
4.1 Seleção de parâmetros de água	13
4.2 Seleção e aquisição dos sensores	14
4.3 Construção do circuito eletrônico	16
4.4 Programação do esp32	16
4.5 Desenvolvimento da plataforma de monitoramento	17
4.6 Testes e validação da plataforma	18

4.7	Considerações do Capítulo	18
5	Resultados e Discussão	19
5.1	Construção da Plataforma	19
5.1.1	Desenvolvimento do software	22
5.2	Monitoramento dos indicadores	24
5.2.1	Validação dos dados	26
5.3	Implicações	30
6	Ameaças à Validade	32
7	Considerações Finais	34
	Referências Bibliográficas	36

Lista de Abreviaturas

IFPB	Instituto federal da Paraíba
IOT	<i>Internet of things</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
PH	<i>Potencial Hidrogeniônico</i>
CONAMA	<i>Conselho Nacional do Meio Ambiente</i>
SQL	<i>Linguagem de Consulta Estruturada</i>
SGBD	<i>Sistema Gerenciador de Banco de Dados</i>
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>

Lista de Figuras

5.1	Ligação do sensor de ph ao Arduino através da <i>protoboard</i>	20
5.2	Ligação do sensor de temperatura ao Arduino através da <i>protoboard</i>	20
5.3	Ligação do sensor de turbidez ao Arduino através da <i>protoboard</i>	21
5.4	Ligação do sensor de condutividade ao Arduino através da <i>protoboard</i>	21
5.5	Ligação da comunicação do Arduino com esp32 para envio dos dados.	22
5.6	Ligação completa.	23
5.7	Bibliotecas.	24
5.8	Método <i>setup</i>	24
5.9	Método <i>loop</i>	25
5.10	Envio de dados em <i>JSON</i> ao servidor.	25
5.11	<i>Dashboard</i>	26
5.12	Local da coleta de água.	26
5.13	PHmetro. Fonte:metaquimica(2023)	27
5.14	Condutivimetro. Fonte: netlab(2023)	28
5.15	Turbidimetro. Fonte: bilbos(2023)	28
5.16	Coleta de dados.	29

Lista de Tabelas

2.1	Valores mínimos e máximos permitidos para indicadores de qualidade da água para consumo humano na região Nordeste do Brasil.	9
4.1	Especificações do sensor de pH.	15
4.2	Especificações do Sensor de Condutividade.	15
4.3	Especificações do Sensor de Turbidez da Água.	15
4.4	Especificações do Sensor de Temperatura.	16
5.1	Resultado médio da coleta de amostras através dos sensores	29
5.2	Comparação entre os sensores usados e os equipamentos específicos	30

Capítulo 1

Introdução

A qualidade da água é um dos principais aspectos que afetam a saúde humana e o meio ambiente [Davies *et al.* 2008]. Em muitas áreas do mundo, o abastecimento de água é limitado e, portanto, a sua qualidade é de grande importância. Com a crescente demanda por água potável, é essencial monitorar continuamente a qualidade da água em reservatórios e corpos d'água [Zhu *et al.* 2020] [Mays 2012]. Neste contexto, a concepção e desenvolvimento de uma plataforma para monitoramento da qualidade da água de um reservatório é extremamente importante e relevante.

Nos últimos anos, o surgimento da Internet das Coisas (IoT) revolucionou a forma como monitoramos e gerenciamos os recursos hídricos [Choi, Lee e Kim 2019]. A interconectividade de dispositivos físicos (e.g., sensores e atuadores) e lógicos (e.g., módulos de software) permitem a coleta, a análise e o compartilhamento de dados. Com a IoT, agora torna-se possível o monitoramento de indicadores de água como, temperatura, pH, condutividade elétrica e níveis de oxigênio dissolvido, medir a vazão de forma remota e contínua. Essa tecnologia oferece uma vantagem significativa sobre os métodos tradicionais (i.e., manuais ou semi-automatizados) que dependem de medições manuais, que geralmente são demoradas, custosas, e propensas a erros humanos [Al-Fuqaha *et al.* 2019].

A plataforma será construída usando o Arduino, que é amplamente utilizado para projetos de eletrônica [Geetha *et al.* 2015] [Dai *et al.* 2021] [Li *et al.* 2019]. Ela terá sensores para medir os parâmetros de qualidade da água e um módulo de comunicação sem fio para enviar os dados coletados para um servidor na nuvem. Com isso, será possível analisar os dados em tempo real e tomar medidas preventivas caso ocorra alguma anormalidade. Adicionalmente, será provido um *dashboard* web com dados e indicadores alusivos a qualidade da água para fins de monitoramento. Através desse *dashboard* o usuário poderá configurar os valores limiares associado a cada um dos indicadores da água bem como analisar dados históricos e configurar o recebimento de alertas.

O objetivo deste estudo é monitorar indicadores hídricos e sua aplicação prática ajudando a identificar problemas de forma rápida explorando o potencial da IoT usando a plataforma Arduino que permite a aplicação oportuna de medidas corretivas. Isso é especialmente im-

portante em áreas onde a água é escassa ou em locais que estão suscetíveis à poluição. Com o monitoramento contínuo, será possível melhorar a gestão dos recursos hídricos, garantindo que a água seja utilizada de forma sustentável, preservando este recurso para as gerações futuras.

1.1 Problemática

A água consumida por nós é um recurso precioso e, se não usada com cautela, se tornará brevemente uma substância altamente limitada, sendo altamente necessário a sua administração sustentável, é essencial para a sobrevivência dos seres vivos e do planeta [UNESCO 2018]. Com o aumento da população, surgiu a necessidade de um sistema de armazenamento e distribuição de água altamente eficaz para todos [Abdul-Wahab, Abdul-Majeed e Abdul-Lateef 2018]. Usam-se modelos de tubulações para distribuição da água, os quais com o tempo podem abrigar matérias indesejadas como: ferrugem e metais da parede das tubulações de distribuição antigas, lodo e lama de tubulações danificadas e sedimentos durante o processo de reparo de tubulações. Diante disso, torna-se necessária a monitoração em tempo real para assegurar a qualidade da água consumida. Monitorar os indicadores hídricos tornou-se crucial para garantir a disponibilidade de água segura e limpa para todos [Li *et al.* 2019].

Nesse contexto, o Arduino pode ser empregado na construção de uma plataforma de monitoramento de parâmetros de qualidade da água. A plataforma realizará de forma rápida e segura diversos tipos de análises, assegurando a qualidade da água em tempo real. O Arduino apresenta diversas vantagens, tais como baixo custo, facilidade de programação, e a possibilidade de coletar dados em tempo real e de forma contínua. Esses dados podem ser transmitidos para um *dashboard* web através de algum protocolo de rede, possibilitando o acompanhamento e a análise dos resultados de forma conveniente. Entretanto, para garantir um sistema eficiente e preciso, é necessário desenvolver e implementar soluções que levem em conta as características específicas do ambiente e das fontes de água a serem monitoradas, bem como as normas e padrões de qualidade estabelecidas pelas autoridades competentes.

A partir da implementação de um sistema de monitoramento, com ele acompanha benefícios significativos para a população. O monitoramento em tempo real da qualidade da água é essencial para indicar potenciais riscos à saúde pública e assegurar o fornecimento de uma água própria a consumo para todos. O uso de tecnologias de IoT pode permitir a detecção precoce de contaminantes e a tomada de medidas rápidas para minimizar os efeitos dessas possíveis impurezas.

É importante destacar que o uso de tecnologias como esta pode ser uma solução altamente viável e acessível para o monitoramento de sistemas de água em comunidades de diferentes tamanhos e regiões dado o difícil acesso a água ou em locais que estão suscetíveis à poluição, sempre recorrendo ao armazenamento desta trazendo riscos ao consumo quando armaze-

nada contendo já um grau de impureza. Além disso, a falta de informação na qualidade da água fornecida pode aumentar a desconfiança dos consumidores e trazer questionamentos à percepção da qualidade dos serviços prestados pelas autoridades competentes.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste estudo é garantir a segurança da água para consumo humano através da construção de uma plataforma para monitoramento da qualidade da água. Para endereçar este objetivo geral, alguns objetivos específicos foram definidos de acordo com o que segue:

- a) Identificar e selecionar os parâmetros de água (e.g., pH, turbidez, temperatura, condutividade elétrica e níveis de oxigênio dissolvido) prioritários para garantia da qualidade da água;
- b) Selecionar e adquirir os sensores adequados para medir os parâmetros de qualidade da água;
- c) Desenvolver o circuito eletrônico com o microcontrolador Arduino e conectar os sensores para realizar a leitura dos parâmetros da água do reservatório;
- d) Programar o Arduino para realizar a aquisição e armazenamento dos dados dos sensores em tempo real;
- e) Desenvolver uma plataforma web para acesso remoto e visualização dos dados em tempo real;
- f) Testar e validar a plataforma de monitoramento em um reservatório, avaliando a precisão e confiabilidade das medições dos sensores, e a usabilidade da plataforma pelos usuários.

1.3 Metodologia

Para atingir os objetivos propostos, alguns passos metodológicos são requeridos. Cada um desses passos são descritos sucintamente nos itens a seguir:

1. **Seleção de parâmetros de água:** a escolha dos melhores parâmetros de qualidade da água a serem monitorados depende do contexto e das necessidades específicas do reservatório em questão. Algumas das principais diretrizes que podem ser seguidas para identificar esses parâmetros são as (a) Normas e regulamentações; (b) Consulta a especialistas; (c) Características do reservatório; (d) Identificação de riscos; e (e) Disponibilidade de recursos. É importante ressaltar que a escolha dos parâmetros deve ser realizada de forma criteriosa e com base em informações técnicas e científicas

confiáveis, a fim de garantir a eficácia do sistema de monitoramento e a qualidade da água para consumo humano e a preservação da vida aquática;

2. **Seleção e aquisição dos sensores:** nesta etapa, serão identificados os sensores necessários para medir os parâmetros da água, como pH, turbidez, temperatura, condutividade elétrica e níveis de oxigênio dissolvido. Serão pesquisados os diferentes tipos de sensores disponíveis no mercado, suas características, precisão e custo. Após a seleção, os sensores serão adquiridos para a próxima etapa;
3. **Construção do circuito eletrônico:** nesta etapa, será realizada a montagem do circuito eletrônico com o microcontrolador Arduino e a conexão dos sensores para realizar a leitura dos parâmetros da água. Será utilizado um protoboard para realizar a montagem do circuito, seguindo as especificações dos datasheets dos sensores;
4. **Programação do Arduino:** nesta etapa, será desenvolvido o código para o Arduino realizar a aquisição e armazenamento dos dados dos sensores em tempo real. Será utilizada a linguagem de programação C++ e o software de programação do Arduino para desenvolver o código;
5. **Desenvolvimento da plataforma de monitoramento:** nesta etapa, será desenvolvido a plataforma web ou aplicativo móvel para acesso remoto e visualização dos dados em tempo real. Serão utilizadas tecnologias como HTML, CSS, JavaScript e bibliotecas para gráficos em tempo real. A plataforma será desenvolvida em paralelo com os objetivos específicos 3 e 4; e
6. **Testes e validação da plataforma:** nesta etapa, a plataforma de monitoramento será testada e validada em um reservatório. Serão avaliados a precisão e confiabilidade das medições dos sensores, a usabilidade da plataforma pelos usuários e a integridade dos dados armazenados. Serão realizados testes em diferentes condições para validar a plataforma.

A metodologia do projeto será executada de forma iterativa e incremental, ou seja, cada etapa será desenvolvida e validada antes de passar para a próxima etapa. Será utilizada uma abordagem iterativa e incremental para este projeto, incluindo reuniões regulares de revisão para avaliar o progresso. Será realizado um planejamento detalhado das atividades e um cronograma para o gerenciamento do projeto.

1.4 Relevância e Contribuições

A motivação para o projeto está na facilidade de uso e acessibilidade da plataforma, que permitirá o monitoramento contínuo e eficiente da qualidade da água. A plataforma será construída utilizando o microcontrolador Arduino, que é amplamente utilizado em projetos

eletrônicos e tem custo acessível [Geetha *et al.* 2015] [Dai *et al.* 2021] [Li *et al.* 2019]. Além disso, a plataforma será projetada de forma modular, permitindo que os sensores possam ser adicionados ou removidos conforme necessário, tornando-a uma solução flexível para diferentes situações.

Este estudo busca difundir informações sobre poluentes presentes na água armazenada ou consumida, visando uma melhor compreensão da sua origem e qualidade, tornando disponível a todos essas informações de forma rápida e barata através de plataforma como o Arduino e seus conjuntos de sensores disponíveis no mercado trazendo maior garantia e segurança para a população ao qual consome, podendo até trazer ações imediata dos consumidores caso seja detectado uma alta quantidade de contaminantes acima do permitido pelas agências regulamentadoras do local.

Outra motivação para o projeto é a preservação dos recursos hídricos e do meio ambiente, conscientizando a população sobre a importância da preservação da qualidade da água e incentivando ações sustentáveis. Com a plataforma, é possível identificar áreas em que a qualidade da água está sendo prejudicada e tomar medidas para reverter a situação, protegendo a vida aquática e garantindo a disponibilidade de água para as gerações futuras. A plataforma pode ser instalada em diferentes localizações e ser usada para monitorar a qualidade da água em tempo real, garantindo a segurança das pessoas e da vida aquática e contribuindo para um futuro mais sustentável.

As principais contribuições deste trabalho são:

1. Desenvolvimento de uma plataforma: Este estudo introduz uma plataforma para o monitoramento e gestão da qualidade da água, utilizando sensores inteligentes e tecnologias de Internet das Coisas (IoT). A plataforma permite a coleta de dados em tempo real de diversos parâmetros essenciais, proporcionando informações atualizadas sobre a qualidade da água.
2. Detecção precoce de problemas: A plataforma permite a detecção precoce de problemas na qualidade da água, como a presença de poluentes ou variações nos níveis de oxigênio dissolvido. Isso possibilita uma ação corretiva oportuna, evitando danos ambientais e riscos à saúde pública.
3. Tomada de decisão baseada em evidências: A análise e visualização dos dados coletados pela plataforma fornecem informações valiosas para a tomada de decisão baseada em evidências. Gestores e pesquisadores podem identificar problemas de qualidade da água, implementar medidas corretivas e adotar estratégias de gestão mais eficientes, garantindo a segurança e o bem-estar das comunidades.
4. Acessibilidade e praticidade: A plataforma desenvolvida representa uma solução acessível e prática para o monitoramento contínuo da qualidade da água. Com a utilização de sensores inteligentes e a disponibilização dos dados em um servidor online, gestores

e pesquisadores têm acesso facilitado às informações, contribuindo para uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos.

5. Estímulo à pesquisa e desenvolvimento: Espera-se que este trabalho estimule pesquisas adicionais e o desenvolvimento de soluções avançadas para a gestão sustentável dos recursos hídricos. A plataforma inteligente apresentada serve como base para o aprimoramento e a expansão das tecnologias de monitoramento da qualidade da água.

Em conclusão, este trabalho contribui de forma significativa para o campo do monitoramento e gestão da qualidade da água, fornecendo uma plataforma inteligente e acessível que permite a coleta, análise e visualização de dados em tempo real. Com suas principais contribuições, busca-se promover a sustentabilidade dos recursos hídricos e garantir o bem-estar das comunidades, estabelecendo um caminho para o avanço contínuo nesse campo crucial.

1.5 Estrutura do Trabalho

Os capítulos restantes que integra este documento estão organizados da seguinte forma:

- a) **Capítulo 2: Referencial Teórico.** Apresentam-se definições gerais dos temas abordados neste documento;
- b) **Capítulo 3: Trabalhos Relacionados.** Discutem-se os principais trabalhos relacionados ao presente estudo;
- c) **Capítulo 4: Configuração do Estudo.** Apresenta-se a configuração metodológica, bem como os passos realizados para a construção deste trabalho;
- d) **Capítulo 5: Resultados e Discussão.** Apresentam-se os resultados obtidos ao final do processo metodológico;
- e) **Capítulo 6: Ameaças à Validade.** Apresenta-se as principais limitações do estudo bem como uma lista de ações realizadas para mitigar os efeitos destas ameaças;
- f) **Capítulo 7: Considerações Finais.** Apresentam-se as principais conclusões e desdobramentos com a realização deste trabalho.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

Neste capítulo são introduzidos os principais conceitos necessários ao entendimento desse trabalho de conclusão de curso. Inicialmente, descreve-se os conceitos associados a microcontroladores e o Arduino (Seção 2.1). Em seguida, são discutidos os detalhes envolvidos na construção da plataforma e a comunicação *web* (Seção 2.2) e (seção 2.3). Após, exibem-se os conceitos associados à qualidade da água e seus principais indicadores (Seção 2.4). Finalmente, apresenta-se as considerações finais do capítulo de fundamentação (Seção 2.5).

2.1 Microcontroladores e Arduino

Um microcontrolador consiste em um único circuito integrado que reúne um núcleo de processador, memórias voláteis e não voláteis e diversos periféricos de entrada e de saída de dados funcionando como um computador. Ou seja, ele é basicamente um computador muito pequeno e altamente compacto, capaz de realizar determinadas tarefas de maneira eficaz [IEEE RAS UFCG 2020].

Para o presente trabalho, faremos uso da placa microcontroladora Arduino. Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto baseada em hardware e software fáceis de usar. As placas Arduino são capazes de ler entradas - luz em um sensor, um dedo em um botão e transformá-las em saídas, ativando um motor, ligando um LED, publicando algo online. Você pode dizer à sua placa o que fazer enviando um conjunto de instruções para o microcontrolador na placa [ARDUINO 2018].

A comunicação necessária para a troca de dados, que serão coletados em tempo real, será feita por outro microcontrolador chamado ESP32. Dispositivo que poderá ser acoplado nos pinos do Arduino e também pode funcionar como um microcontrolador, mas no presente trabalho será usado apenas para a comunicação wi-fi ou bluetooth. O dispositivo será como um escravo para um host MCU(Arduino), reduzindo a sobrecarga da pilha de comunicação no processador principal do Arduino, interagindo com outros sistemas para fornecer funcionalidade Wi-Fi e Bluetooth por meio de suas interfaces SPI/SDIO ou I2C/UART [espressif System s.d].

2.2 Plataforma Web

Uma página web é uma plataforma que pode ser acessada através de um navegador web e permite a execução de várias funções online, incluindo a exibição de informações, que podem variar conforme a implementação do sistema nesta página.

Com a existência de diversos kits de implementações de sistema web atuais no mercado, este trabalho será desenvolvido fazendo uso do framework Flutter. O Flutter é o kit de ferramentas de interface do usuário portátil do Google para criar aplicativos bonitos e compilados nativamente para dispositivos móveis, Web e desktop a partir de uma única base de código [Flutter s.d].

Para o armazenamento dos dados em tempo real será usado o sistema gerenciador de banco de dados(SGBD) PostgreSQL. O PostgreSQL é um poderoso sistema de banco de dados objeto-relacional de código aberto que usa e estende a linguagem SQL combinada com muitos recursos que armazenam e dimensionam com segurança as cargas de trabalho de dados [postgresql.org s.d].

O presente trabalho utilizará uma página web para visualizar, em tempo real, os dados coletados por meio de sensores que utilizarão o Arduino como plataforma para processamento dos dados e o microcontrolador ESP32 como ponte de comunicação para o envio dos dados. O processamento dos dados ocorrerá na plataforma web, que apresentará os resultados em forma de gráficos legíveis e simples das análises de fontes de água.

2.3 Protocolo MQTT

MQTT, ou *Message Queuing Telemetry Transport*, é um protocolo leve e padronizado usado para comunicação de computador para computador. É comumente usado na Internet das Coisas (*IoT*) para facilitar a transmissão de dados eficiente e confiável entre sensores inteligentes, dispositivos *IoT* e outros dispositivos conectados [aws.amazon s.d].

Originalmente desenvolvido em 1999 para a indústria de petróleo e gás, o *MQTT* foi projetado para operar em ambientes de baixa largura de banda e baixo consumo de energia [aws.amazon s.d]. Sua simplicidade, consumo mínimo de dados e recursos de comunicação bidirecional o tornaram popular entre vários setores [Neri 2019].

Uma das principais vantagens do *MQTT* é seu suporte para mensagens entre dispositivos e a nuvem, permitindo a troca de dados perfeita. O protocolo é leve, garantindo transmissão de dados eficiente enquanto é escalável para acomodar um grande número de dispositivos [aws.amazon s.d]. O *MQTT* é conhecido por sua confiabilidade e segurança, tornando-o uma escolha preferencial para aplicativos *IoT*. [Neri 2019]

Além disso, o *MQTT* tem amplo suporte em diferentes linguagens de programação, como Python, C++ dentre outras que facilita a implementação e a integração em sistemas *IoT* [aws.amazon s.d]. No geral, o *MQTT* fornece uma solução robusta e eficiente para transmissão de dados de *IoT*, atendendo aos requisitos de redes com recursos limitados e

permitindo uma comunicação eficaz entre os dispositivos e a nuvem [aws.amazon s.d].

2.4 Água e indicadores de qualidade

Na água, existem diversos fatores a serem avaliados para torná-la própria para o consumo, como pH, turbidez, temperatura e condutividade elétrica. Portanto, é importante avaliar diversos fatores para garantir que a água esteja própria para consumo humano, em que não ocorra a avaliação, a água, se consumida, trará diversos riscos a saúde. Para análise de tais índices pode-se fazer uso dos sensores para monitorar a qualidade e a quantidade de água ao longo do tempo. Os valores apresentados na tabela abaixo variam de acordo com os órgãos regionais ambientais, na tabela a seguir foi consultado nos órgãos responsáveis na região nordeste, o Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (sisagua) do Ministério da Saúde, podendo também variar com o município e o tipo de fonte da água (superficial, subterrânea, mista, etc.) local tornando-se assim necessário a consulta de tais valores [ministerio da saude 2021].

Tabela 2.1: Valores mínimos e máximos permitidos para indicadores de qualidade da água para consumo humano na região Nordeste do Brasil.

Parâmetro	VMP/PM N° 888 4	Unid. de Medida
Potencial Hidrogeniônico	6,0 - 9,5	*
Turbidez	5	NTU
Condutividade Elétrica	*	$\mu\text{S}/\text{cm}^3$
Temperatura	*	$^{\circ}\text{C}$

2.4.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH afeta o metabolismo de várias espécies aquáticas. A Resolução CONAMA 357 estabelece que para a proteção da vida aquática o pH deve estar entre 6 e 9,5.

Alterações nos valores de pH também podem aumentar o efeito de substâncias químicas que são tóxicas para os organismos aquáticos, tais como os metais pesados [Agencia Nacional das Águas s.d].

2.4.2 Turbidez

A turbidez indica o grau de atenuação que um feixe de luz sofre ao atravessar a água. Essa atenuação ocorre pela absorção e espalhamento da luz causada pelos sólidos em suspensão

(areia, argila, algas, detritos etc). A principal fonte de turbidez é a erosão dos solos, quando na época das chuvas as águas pluviais trazem uma quantidade significativa de material sólido para os corpos d'água. Atividades de mineração, assim como o lançamento de esgotos e de efluentes industriais, também são fontes importantes que causam uma elevação da turbidez das águas.

O aumento da turbidez faz com que uma quantidade maior de produtos químicos (ex: coagulantes) sejam utilizados nas estações de tratamento de águas, aumentando os custos de tratamento. Além disso, a alta turbidez também afeta a preservação dos organismos aquáticos, o uso industrial e as atividades de recreação [Agencia Nacional das Águas s.d].

2.4.3 Temperatura da água

A temperatura influencia vários parâmetros físico-químicos da água, tais como a tensão superficial e a viscosidade. Os organismos aquáticos são afetados por temperaturas fora de seus limites de tolerância térmica, o que causa impactos sobre seu crescimento e reprodução.

Todos os corpos d'água apresentam variações de temperatura ao longo do dia e das estações do ano. No entanto, o lançamento de efluentes com altas temperaturas pode causar impacto significativo nessas massas de água. [Agencia Nacional das Águas s.d].

2.4.4 Condutividade elétrica da água

A condutividade é uma expressão numérica da capacidade de a água conduzir a corrente elétrica. Depende das concentrações iônicas e da temperatura e indica a quantidade de sais e outras substâncias dissolvidas existentes na coluna d'água e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes. Valores muito elevados de condutividade podem indicar a presença de poluentes, assim produzindo um gosto salobro e causando efeitos biológicos adversos. [Wu *et al.* 2018].

2.5 Considerações do capítulo

Resumidamente, podemos fazer uso dos conceitos de microeletrônica em combinação com conhecimentos de química e biologia para construção de uma plataforma de monitoramento de água. O Arduino é uma plataforma de hardware e software livre que tem sido amplamente utilizado em projetos de monitoramento ambiental. Ele é um microcontrolador de baixo custo e fácil de programar, com uma grande variedade de sensores disponíveis para monitoramento de diferentes parâmetros ambientais, como temperatura, pH, turbidez, condutividade elétrica e outros. Sensores específicos são utilizados para medir cada um desses parâmetros. A escolha dos sensores deve levar em conta a precisão e a faixa de medição necessárias para cada aplicação. O Arduino é capaz de ler os dados dos sensores e transmiti-los para um dispositivo de armazenamento ou para uma plataforma de monitoramento em tempo real.

Capítulo 3

Trabalhos Relacionados

Encontra-se na literatura vasto conhecimento sobre sistemas de monitoramento de água com sensores que utilizam a Internet das Coisas (*IoT*) em conjunto com o microcontrolador Arduino. Cada um desses sistemas é desenvolvido com o objetivo de atender as necessidades e aplicações específicas. Neste capítulo, serão apresentados alguns sistemas relevantes para o projeto que será desenvolvido.

Inicialmente, o trabalho de Rao et al. [Rao *et al.* 2013] propôs o desenvolvimento de um estudo para monitorar a qualidade da água em tempo real para evitar problemas como contaminação e poluição. Além disso, eles enfatizam a necessidade de um sistema de monitoramento de baixo custo para que ele possa ser adotado em áreas com recursos limitados. O sistema proposto utilizou sensores de baixo custo para analisar pH, condutividade, temperatura e turbidez, além de um microcontrolador Arduino. O sistema de comunicação utilizado para enviar os dados do microcontrolador Arduino para a plataforma em nuvem foi a tecnologia GPRS. O código desenvolvido e utilizado para programar o microcontrolador Arduino foi escrito em C ++.

Similarmente, o trabalho de Nogueira et al. [Nogueira *et al.* 2019] descreve um sistema de monitoramento em tempo real baseado em Arduino e Raspberry, utilizando sensores de pH, temperatura, turbidez e condutividade, bem como o microcontrolador Raspberry Pi. O sistema de comunicação utilizado foi a tecnologia *MQTT*. O código utilizado para programar a microcontrolador Raspberry Pi foi escrito em Python e a importância da plataforma em nuvem para armazenar e analisar os dados coletados pelos sensores, transferência de dados em SCADA visando segurança e acesso aos dados em qualquer microcontrolador ligada à rede.

Ahmad et al. [Asha'ari e Ibrahim 2022] desenvolveram um estudo para monitorar a qualidade da água em tempo real objetivando proteger a saúde humana e o meio ambiente. O sistema utiliza sensores Zigbee de baixo custo e uma placa controladora Arduino junto a sensores de pH e turbidez, bem como o microcontrolador Zigbee para comunicação onde foi desenvolvido o projeto usando a linguagem C.

Pal et al. [Pal *et al.* 2023] apresentam um sistema de monitoramento de clima em tempo

real utilizando o microcontrolador NODEMCU e sensores de temperatura, umidade, pressão e luminosidade. O sistema de comunicação utilizado foi a tecnologia Wi-Fi devido ao baixo custo. O código utilizado para programar o microcontrolador NODEMCU foi escrito em Lua

Lakshmikantha et al. [Lakshmikantha *et al.* 2021] desenvolveram um sistema de monitoramento de qualidade da água baseado em *IoT*. O objetivo do sistema é fornecer uma solução de baixo custo e eficiente para monitorar a qualidade da água em tempo real. O sistema é composto por um conjunto de sensores que medem parâmetros de qualidade da água, como pH, turbidez, temperatura e nível de oxigênio dissolvido. Conectados a um microcontrolador ESP8266, que é responsável por coletar os dados dos sensores e transmiti-los para uma plataforma em nuvem. A plataforma em nuvem é responsável por armazenar e analisar os dados coletados pelos sensores. Ela utiliza o protocolo de comunicação *MQTT* para receber os dados do microcontrolador. Uma interface web foi desenvolvida para permitir aos usuários monitorar os dados de qualidade da água em tempo real. A interface mostra gráficos e tabelas que permitem ao usuário visualizar os dados de forma clara e fácil de entender.

Em resumo, nota-se que nos últimos anos têm surgido diversos trabalhos na literatura sobre sistemas de monitoramento de água utilizando sensores *IoT* em conjunto com microcontroladores como Arduino e Raspberry Pi. Esses sistemas visam atender a diferentes necessidades e aplicações específicas, proporcionando monitoramento em tempo real da qualidade da água. No entanto, nosso trabalho se destaca por avançar o estado da arte em duas principais áreas.

Primeiramente, diferenciamos dos trabalhos existentes ao adotar uma abordagem de baixo custo e acessibilidade. Enquanto muitos sistemas utilizam sensores de baixo custo, como pH, turbidez, temperatura e condutividade, combinados com microcontroladores populares, como Arduino e Raspberry Pi, nosso trabalho vai além ao oferecer uma solução valiosa e acessível para a preservação dos recursos hídricos e o bem-estar das comunidades. Em segundo lugar, avançamos o estado da arte ao integrar uma plataforma em nuvem para armazenamento e análise dos dados coletados pelos sensores. Enquanto muitos trabalhos mencionam a importância da plataforma em nuvem, nós a implementamos de forma eficiente, utilizando o protocolo *MQTT* para receber os dados do microcontrolador. Além disso, desenvolvemos uma interface web intuitiva, que exibe gráficos e tabelas claras, permitindo aos usuários monitorar os dados de qualidade da água em tempo real. Essa abordagem inovadora oferece uma visão atualizada e precisa da qualidade da água, capacitando gestores, pesquisadores e autoridades a tomarem decisões informadas e oportunas para a preservação dos recursos hídricos.

Capítulo 4

Configuração do Estudo

Para atingir os objetivos propostos para essa pesquisa, realizou-se uma metodologia dividida em seis etapas conforme a seguir:

1. Seleção de parâmetros de água (Seção4.1);
2. Seleção e aquisição dos sensores (Seção4.2);
3. Construção do circuito eletrônico (Seção4.3);
4. Programação do Arduino (Seção4.4);
5. Desenvolvimento da plataforma de monitoramento (Seção4.5); e
6. Testes e validação da plataforma (Seção4.6).

A metodologia foi executada de forma iterativa e incremental, ou seja, cada etapa foi desenvolvida e validada antes de avançar. Utilizou-se a abordagem de reuniões de revisão semanais para avaliar o progresso do projeto. Adicionalmente, realizou-se um planejamento detalhado das atividades e um cronograma para o gerenciamento do projeto. Nas subseções a seguir iremos detalhar cada uma dessas etapas.

4.1 Seleção de parâmetros de água

Para a seleção dos parâmetros foi feito inicialmente uma pesquisa prévia para obter conhecimento de quais os parâmetros físicos e químicos existentes podem ser usados para indicar a qualidade da água. A partir do levantamento (conhecimento) desses indicadores ocorreu uma triagem na busca de quais indicadores poderiam ser mais efetivos na indicação de qualidade da água.

Os indicadores de Potencial Hidrognênico (pH), Turbidez, Condutividade Elétrica e Temperatura - são comumente usados para avaliar a qualidade da água. O pH é importante porque afeta a solubilidade e a toxicidade de substâncias químicas na água. A turbidez

pode indicar a presença de partículas suspensas, como sedimentos ou micro-organismos. A condutividade elétrica é uma medida da capacidade da água de conduzir eletricidade e pode indicar a presença de sais dissolvidos. A temperatura afeta muitos processos químicos e biológicos na água.

Esses parâmetros foram escolhidos porque estão relacionados com os principais usos da água e os impactos que podem sofrer por fontes naturais ou antrópicas. Além disso, esses parâmetros são de fácil medição e interpretação, podendo ser utilizados como indicadores de alterações na qualidade da água. Por exemplo, uma variação brusca no pH pode indicar um despejo industrial ou uma alteração na composição química da água. Uma elevação na turbidez pode indicar um aumento na erosão do solo ou na carga orgânica da água. Uma mudança na condutividade elétrica pode indicar uma contaminação por esgotos ou fertilizantes. Uma alteração na temperatura pode indicar uma descarga de águas de resfriamento ou uma mudança climática.

4.2 Seleção e aquisição dos sensores

Na etapa de seleção dos parâmetros de água, é necessário realizar uma busca criteriosa por sensores que possam efetivamente medir esses parâmetros. Inicialmente, foi feita uma busca em lojas online, onde foi identificada uma grande variedade de sensores, mas com pouca informação disponível. Além disso, a falta de garantia e a procedência duvidosa dos sensores levantaram preocupações em relação à qualidade dos produtos, podendo se tratar de réplicas de baixa qualidade. A falta de informações sobre o uso adequado desses sensores e a saída do seu sinal também foi um ponto negativo.

Diante dessas questões, optou-se por procurar alternativas no mercado local. Foi encontrado um fornecedor local, que oferecia alguns dos sensores necessários, como o sensor de distância, temperatura e turbidez.

No entanto, os sensores de condutividade elétrica e pH estavam em falta. Optou-se por adquirir os sensores disponíveis do fornecedor local, devido à facilidade de comunicação e à possibilidade de troca em caso de defeito. Os sensores restantes foram adquiridos por meio de um *marketplace* online nacional, com a entrega realizada pelos Correios.

Abaixo as especificações técnicas dos sensores.4.1, 4.2, 4.3, 4.4.

Tabela 4.1: Especificações do sensor de pH.

Especificação	Valor
Tensão	5V \pm 0.2V
Corrente	5 a 10mA
temperatura de trabalho	0 a 60°C
Tempo de resposta	5s
Tipo de saída	Analógica
Faixa de medição	0,00 a 14,00 pH
Erro alcalino	0.2 pH
Temperatura de Operação	-10 a 50°C (Temperatura Nominal 20°C)
Resistência interna	< 250 MOhms
Conector	Plugue BNC
Dimensões do módulo	66mm Largura x 33mm Profundidade x 20mm Altura
Dimensões da sonda	160mm Largura x 26mm Profundidade x 26mm Altura

Tabela 4.2: Especificações do Sensor de Condutividade.

Especificação	Valor
Tensão de entrada	3.3 a 5.5V
Sinal de saída	0 a 2.3V
Faixa de medição	0 a 1000 ppm
Medição Precisão	\pm 10% FS (25°C)
Tamanho	42 x 32mm / 1.7 x 1.3in
Interface do módulo	XH2.54-3P
Interface do eletrodo	XH2.54-2P
Interface de conexão	XH2.54-2
temperatura de trabalho	-40°C a 80°C

Tabela 4.3: Especificações do Sensor de Turbidez da Água.

Especificação	Valor
Tensão	5V
Corrente	30mA (Máx)
Tempo de resposta	<500ms
Resistência de isolamento	100 MOhms (Min)
Saída Analógica	0 a 4.5V
precisão	\pm 10%
Saída Digital	Alto (5V) / Baixo (0V)
Temperatura de trabalho	-30°C a 80°C

Tabela 4.4: *Especificações do Sensor de Temperatura.*

Especificação	Valor
Chip	DS18B20
Tensão de operação	3.5V a 5V
Faixa de medição	-55°C a +125°C
Precisão	±0.5°C
Temperatura de trabalho	-10°C a 85°C
Tempo de atualização	<750ms
VCC	Vermelho
GND	Preto
SINAL	Amarelo

4.3 Construção do circuito eletrônico

Na etapa de construção do circuito, são necessários alguns equipamentos essenciais. O primeiro deles é a *protoboard*, utilizada para possibilitar a construção de circuitos eletrônicos de teste sem a necessidade de solda. Além disso, são utilizados *jumpers* fêmea e macho para realizar a conexão dos sensores com os componentes.

Os componentes principais são o Arduino Nano e o ESP32, que são integrados ao circuito. Todo o material necessário foi adquirido junto ao mesmo fornecedor dos sensores, garantindo uma coerência e compatibilidade adequada.

Ao iniciar a construção do circuito, foi identificado um desafio relacionado à comunicação entre o Arduino Nano e o ESP32. Inicialmente, a comunicação seria realizada apenas através da porta serial do Arduino Nano, utilizando o protocolo UART ou USART. No entanto, ao analisar a complexidade dessa abordagem, foi identificada uma alternativa mais simples. Essa alternativa consistia em utilizar somente o ESP32 para coletar as informações dos sensores e realizar a transmissão dos dados. O ESP32 apresenta a vantagem de possuir conexões Wi-Fi e *Bluetooth*, o que permite dois meios possíveis de comunicação. Dessa forma, optou-se por utilizar exclusivamente o ESP32 no circuito.

Após a montagem do circuito, foram realizados testes com os sensores, os quais transcorreram normalmente, sem grandes dificuldades. Essa etapa do projeto foi concluída com sucesso, demonstrando a efetividade e funcionamento adequado do circuito desenvolvido

4.4 Programação do esp32

Para a programação dos sensores, optou-se por utilizar bibliotecas já existentes, especificamente desenvolvidas para cada um dos sensores. Essa escolha se baseou na confiabilidade e eficiência dessas bibliotecas, que já passaram por testes e validações. Durante o processo de programação, além da utilização dessas bibliotecas, foram realizadas atividades de calibração dos dados adquiridos. Essa etapa foi crucial para garantir a precisão e a exatidão das informações capturadas pelos sensores.

Além da calibração, foi necessário realizar a formatação adequada na saída dos dados obtidos pelos sensores. Essa formatação visa otimizar o envio e a análise posterior desses dados pelo *backend* fazendo uso do protocolo *MQTT*. Ao padronizar a saída, facilitamos o processamento das informações, permitindo uma interpretação mais eficiente por parte do sistema de análise.

Durante a configuração da rede Wi-Fi, constatou-se a ausência de conexão. Após a realização de testes, foi identificado que a parte do Wi-Fi do ESP32 não estava operando corretamente. Uma análise mais detalhada revelou uma limitação de fábrica na arquitetura desses modelos, onde as placas não podem utilizar o canal de conversão analógico-digital 2 simultaneamente com o Wi-Fi ativado, devido ao compartilhamento do canal com o *driver* do módulo de comunicação sem fio.

Como alternativa para contornar essa limitação, optou-se por desativar temporariamente o Wi-Fi durante as medições e, posteriormente, reativá-lo. Essa abordagem visa reduzir a interferência do sinal dos sensores com Wi-Fi. Verificou-se que ao utilizar apenas o ADC1 para os sensores, foi possível restabelecer a conexão Wi-Fi. No entanto, a desativação do sinal Wi-Fi durante as análises ainda está sendo considerada como uma possibilidade. Essas medidas foram tomadas visando garantir um ambiente propício para a obtenção de resultados precisos e confiáveis durante a análise dos dados coletado.

4.5 Desenvolvimento da plataforma de monitoramento

O desenvolvimento da plataforma de monitoramento teve início com a criação das telas por meio de plataformas de prototipação (e.g., Figma), que oferecem meios adequados para o desenvolvimento rápido de protótipos de interface com usuário. Essas telas foram projetadas para a apresentação dos dados coletados do sistema de monitoramento e consumidos pela plataforma pelos usuários.

Para o desenvolvimento da plataforma em si, optou-se pelo uso da tecnologia Flutter, devido à sua capacidade de ser multiplataforma, permitindo a criação tanto de aplicativos móveis quanto de aplicações web. A escolha do Flutter como tecnologia base para o desenvolvimento da plataforma proporciona benefícios significativos. Além de ser multiplataforma, o Flutter possui uma ampla gama de recursos e ferramentas que facilitam o processo de criação de interfaces interativas e responsivas em conjunto a uma grande comunidade de desenvolvedores. Desse modo, o uso desta tecnologia permitiu a construção de uma plataforma com um *design* simples e atrativo com experiência de usuário fluida, adaptável aos diferentes dispositivos em que seria utilizada.

4.6 Testes e validação da plataforma

Os testes e validação da plataforma foram realizados em conjunto com análises de amostras parciais coletadas no mesmo local onde o equipamento de coleta de dados seria instalado. Para garantir a eficiência desses testes, foram utilizados equipamentos especializados e aditivos químicos para coletar as informações necessárias. Em seguida, os dados coletados pelos sensores foram comparados com os dados obtidos por meio do processo manual.

A utilização dos dados coletados e processados manualmente desempenhou um papel importante no aprimoramento da plataforma. Além de serem utilizados para fins de comparação, esses dados foram empregados no refinamento e na calibração dos sensores, resultando em uma coleta de informações mais precisa e confiável. Essa abordagem de testes e validação permitiu a identificação de eventuais discrepâncias entre os dados obtidos pelos sensores e os dados manuais, possibilitando a realização de ajustes e melhorias na plataforma. Com isso, a coleta de dados se tornou mais efetiva e os resultados obtidos passaram a ser mais confiáveis e de maior credibilidade.

4.7 Considerações do Capítulo

Nas considerações deste estudo, abordamos diferentes aspectos relacionados à seleção de parâmetros de água, seleção e aquisição de sensores, construção do circuito eletrônico, programação do ESP32, desenvolvimento da plataforma de monitoramento e os testes realizados.

A seleção dos parâmetros de água foi baseada em uma pesquisa prévia, levando em consideração os indicadores mais relevantes para avaliar a qualidade da água. Optamos pelos sensores após um processo criterioso, explorando lojas online e fornecedores locais confiáveis.

A construção do circuito eletrônico envolveu o uso de uma *protoboard*, *jumpers* e os componentes principais, como o Arduino Nano e o ESP32. A programação dos sensores foi realizada com o uso de bibliotecas específicas para cada sensor, garantindo confiabilidade e eficiência.

Também realizamos atividades de calibração dos dados e formatamos adequadamente a saída dos dados para facilitar o processamento e a interpretação futura pelo backend. Durante a configuração da rede Wi-Fi, encontramos algumas limitações no ESP32, mas decidimos contorná-las.

O desenvolvimento da plataforma de monitoramento foi realizado utilizando a tecnologia Flutter, que nos permitiu criar uma plataforma com design atrativo e experiência do usuário fluida.

Os testes e a validação da plataforma foram realizados em conjunto com análises de amostras parciais coletadas no mesmo local onde o equipamento de coleta de dados seria instalado, permitindo a comparação dos dados coletados pelos sensores com os dados obtidos manualmente e resultando em ajustes e melhorias na plataforma para garantir resultados precisos e confiáveis.

Capítulo 5

Resultados e Discussão

Este capítulo apresenta os principais resultados associados à realização desta pesquisa. Inicialmente, discute-se detalhes a respeito da construção da plataforma (Seção 5.1). Em seguida, apresenta-se os resultados associados ao monitoramento dos parâmetros de qualidade de água (Seção 5.2). Por fim, discutem-se algumas implicações possíveis a partir da realização desta pesquisa (Seção 5.3).

5.1 Construção da Plataforma

A construção da plataforma assim visa poder testar seus funcionamentos e resultados a fim de comprovar eficiência e confiabilidade da pesquisa proposta. Após a definição de todos os equipamentos, fez-se uso da *protoboard* para conexão dos sensores (i.e., pH, condutividade, turbidez e temperatura) além dos demais dispositivos que irão possibilitar o melhor funcionamentos da plataforma. As conexões entre a plataforma e os sensores se dará através dos *jumpers* que conectarão aos [1] pinos de energia(VCC) que fará o sensor funcionar, [2] terra(GND) para garantir que o sensor não vaze nenhuma corrente elétrica e [3] sinal(SINAL) é o pino nos sensores responsável pela coleta dos dados detectados pelos sensores e envio para o pino de correspondência na plataforma Arduino. Assim por facilitar o processo de interligação dos diversos sensores e dispositivos, além de organizar melhor o cabeamento necessário para alimentação e comunicação de dados.

A seguir, apresenta-se como cada um dos componentes do protótipo foi interligado a *protoboard* e a plataforma Arduino.

As Figuras 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, apresentam o esquema de ligação dos sensores de pH, temperatura, turbidez e condutividade nas portas analógicas A0, A1, A2, e na digital D2 e a conexão uart nas portas rx e tx de ambas plataformas e uma descrição detalhada do procedimento.

Primeiramente, identificaram-se os pinos de energia (VCC), terra (GND) e sinal (SIGNAL) no sensor de pH. Em seguida, foram utilizados jumpers para estabelecer a conexão entre os pinos do sensor e os respectivos pinos na *protoboard*. O pino VCC do sensor foi

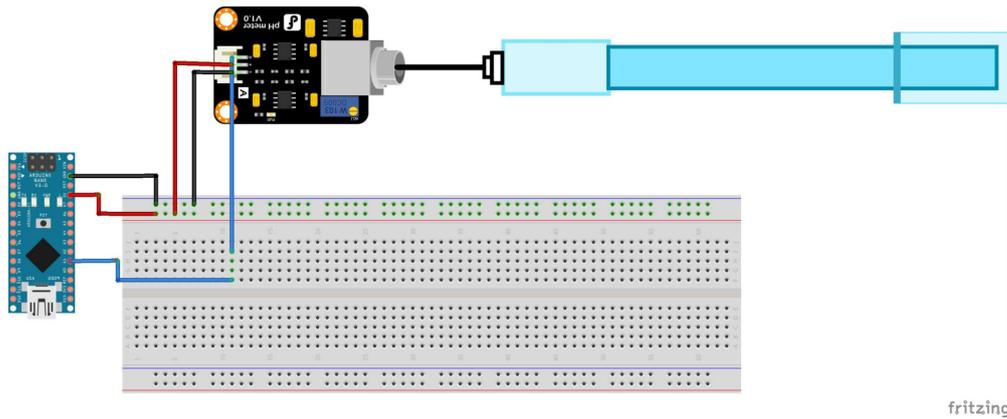


Figura 5.1: *Ligação do sensor de pH ao Arduino através da protoboard.*

conectado ao pino de energia na protoboard, o pino GND ao pino de terra e o pino SIGNAL ao pino de entrada analógica A0 no Arduino.

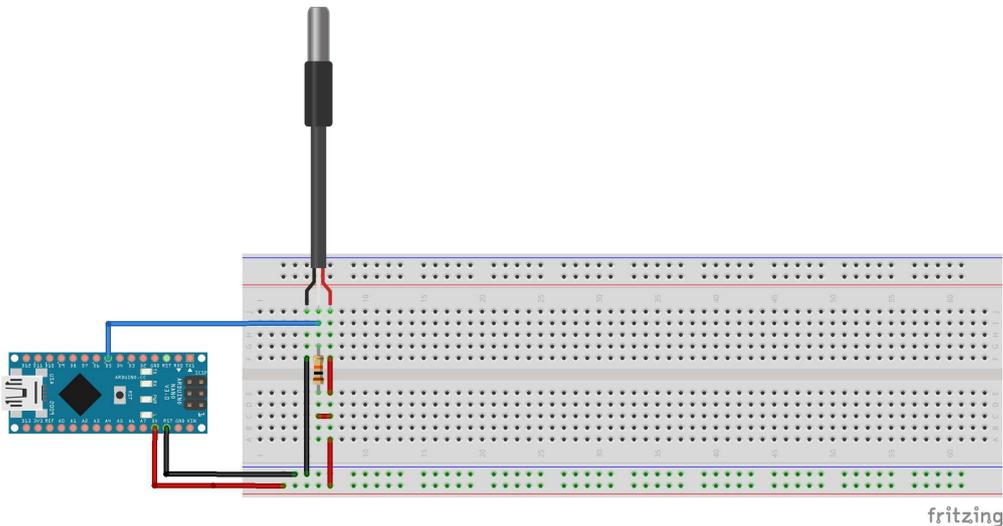


Figura 5.2: *Ligação do sensor de temperatura ao Arduino através da protoboard.*

A conexão do sensor de temperatura com o Arduino é realizada da seguinte maneira: o pino de alimentação (VCC) do sensor é conectado ao pino 5V do Arduino, o pino de terra (GND) do sensor é conectado ao pino GND do Arduino, e o pino de dados (DATA) do sensor é conectado a um pino digital do Arduino, o pino D2. Além disso, é necessário adicionar um resistor para garantir um estado lógico estável quando um sinal está em repouso ou não está sendo acionado. Coloca-se o resistor de $10k\Omega$ entre o pino de dados (DATA) e o pino de alimentação (VCC) do sensor.

Para conectar o sensor de turbidez ao Arduino e à *protoboard*, são necessárias algumas etapas. Primeiro, conecte o pino VCC do sensor ao pino de alimentação de 5V do Arduino ou da protoboard. Em seguida, conecte o pino GND do sensor ao pino de terra comum do sistema. Por fim, conecte o pino SIGNAL do sensor a um pino analógico do Arduino, como o A1. Após fazer as conexões físicas, é necessário utilizar um código no Arduino para ler os dados do sensor de turbidez. Utilize uma função de leitura analógica para converter o sinal

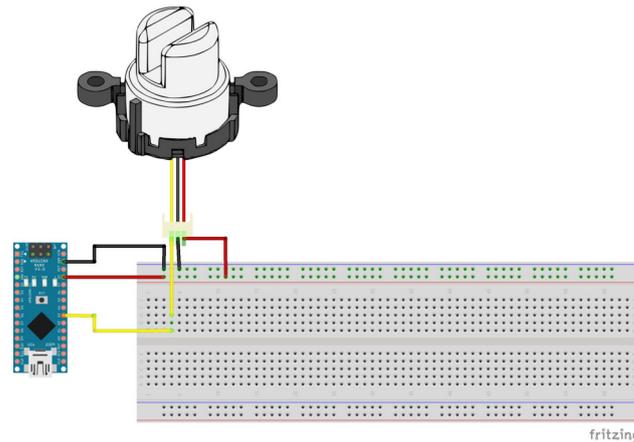


Figura 5.3: *Ligação do sensor de turbidez ao Arduino através da protoboard.*

analógico capturado pelo pino SIGNAL em um valor digital.

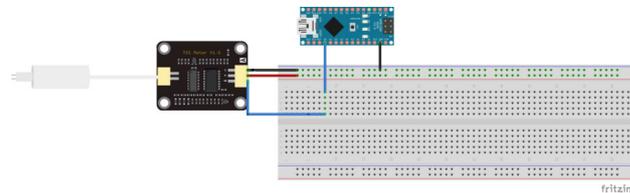


Figura 5.4: *Ligação do sensor de condutividade ao Arduino através da protoboard.*

Primeiro, conecte o pino VCC do sensor ao pino de alimentação de 5V do Arduino ou da *protoboard*. Em seguida, conecte o pino GND do sensor ao pino de terra comum do sistema. Para a leitura da condutividade, o sensor possui um pino de saída que deve ser conectado a um pino analógico do Arduino, como o A2. Após as conexões físicas, utilize um código no Arduino para ler os dados do sensor de condutividade. Utilize uma função de leitura analógica para converter o sinal analógico do pino de saída em um valor digital.

Para conectar a porta UART do Arduino com o ESP32, você pode utilizar duas portas disponíveis em ambas as plataformas, uma para transmissão (TX) e outra para recepção (RX). Conecte o pino TX do Arduino ao pino RX do ESP32 e o pino RX do Arduino ao pino TX do ESP32. Essa conexão permitirá a comunicação bidirecional entre as duas plataformas, possibilitando o envio e recebimento de dados.

Em conclusão, a plataforma está pronta para a coleta de dados, com todos os sensores devidamente interligados e funcionando adequadamente.

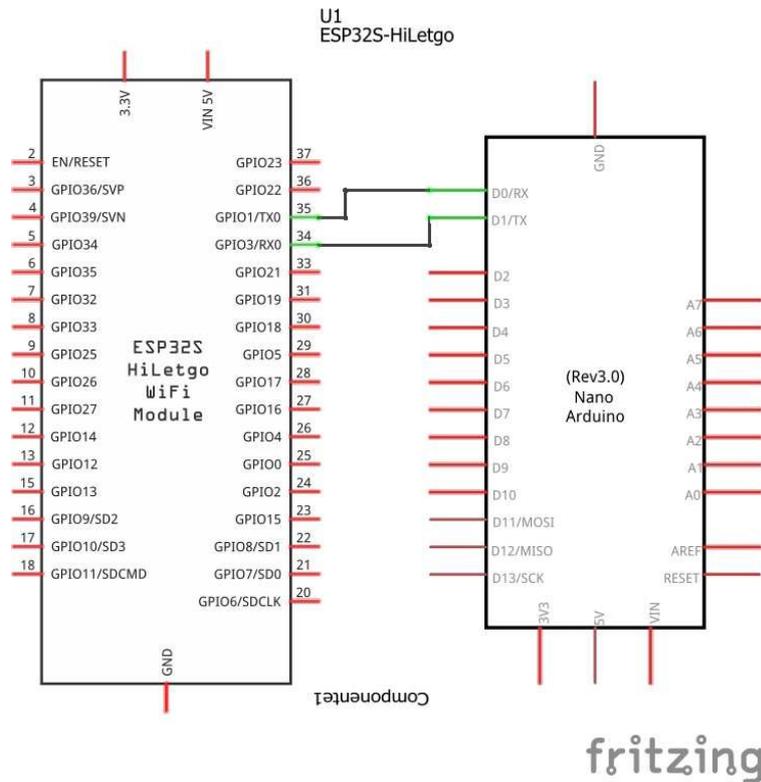


Figura 5.5: Ligação da comunicação do Arduino com esp32 para envio dos dados.

5.1.1 Desenvolvimento do software

Ao iniciar o desenvolvimento das funcionalidade a todos os componentes, foi iniciada a etapa de desenvolvimento de software utilizando a interface do Arduino IDE. A sigla IDE significa *Integrated Development Environment* ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado, que é um programa utilizado para auxiliar na criação de código-fonte a partir da linguagem de programação nativa que também nos servirá para o esp32 também a mesma IDE. Uma vez compilado e carregado na unidade microcontroladora, o código estabelece as atividades desejadas. No caso da plataforma, foram desenvolvidas atividades de leitura, e transmissão dos dados por meio da UART do Arduino e wifi do esp32.

O Arduino possui dois ciclos básicos: *SETUP* E *LOOP*. A função *SETUP* é obrigatória e responsável pela configuração dos pinos a serem usados no Arduino e ESP32. Essa função é executada apenas ao iniciar o sistema. No *SETUP*, são realizadas várias tarefas, a definição da velocidade de comunicação serial, a configuração dos pinos digitais e analógicos, a definição das portas para cada sensor, iniciar o wifi do ESP32 e fazer sua conexão entre outras tarefas. Por outro lado, a função *LOOP* é responsável por todas as atividades que serão repetidas durante o funcionamento do protótipo. Nessa função, são definidos os momentos e as condições em que os dispositivos devem operar. Dessa forma, é possível programar quando os dados devem ser coletados, quando cada sensor deve ser acionado para a leitura das informações.

Adicionalmente, a plataforma Arduino possibilita a integração de bibliotecas correspondentes aos componentes utilizados. As bibliotecas consistem em conjuntos de códigos pré-

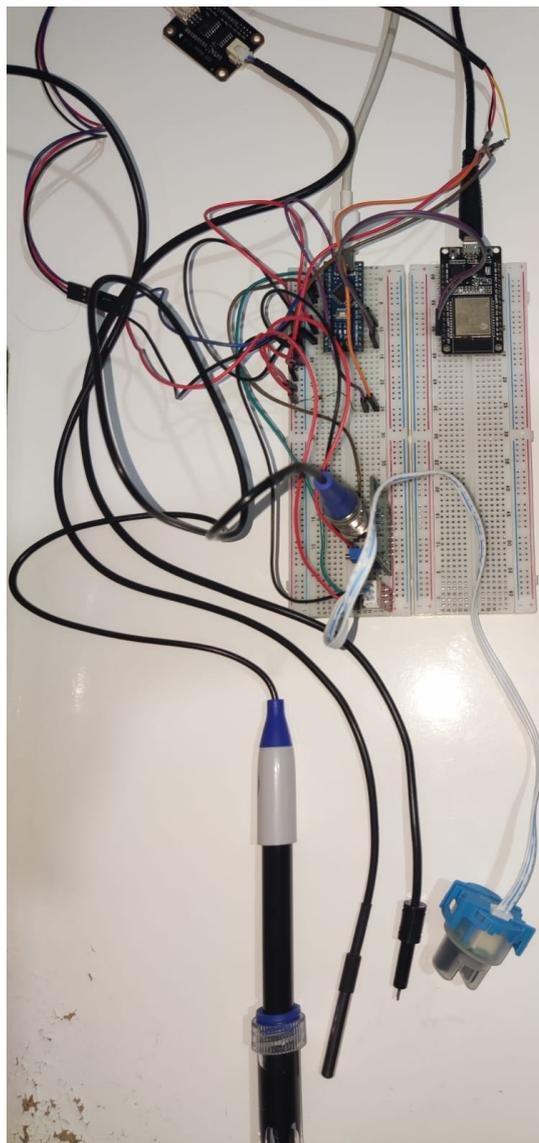


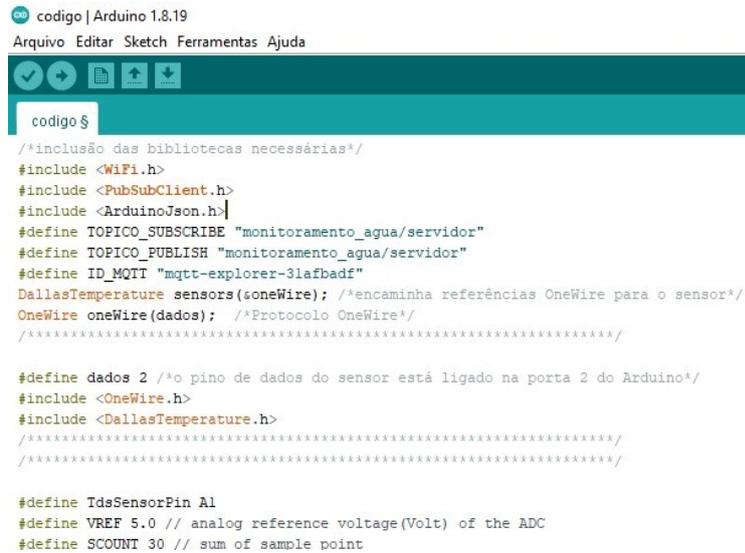
Figura 5.6: *Ligação completa.*

desenvolvidos que visam simplificar o processo de criação de aplicações. Tais bibliotecas podem ser de natureza intrínseca à linguagem ou disponibilizadas pelo fabricante do dispositivo em questão. A sua utilização requer apenas a inserção das mesmas no código-fonte.

A Figura 5.7 apresenta as bibliotecas usadas na plataforma.

O código-fonte criado para a plataforma foi baseado nos códigos fornecidos pelo fabricante através dos *datasheets* dos sensores.

Nas Figuras 5.8 e 5.9, é possível visualizar uma parte das rotinas do *SETUP* e *LOOP*.



```

codigo | Arduino 1.8.19
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

codigo $
/*inclusão das bibliotecas necessárias*/
#include <WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
#include <ArduinoJson.h>
#define TOPICO_SUBSCRIBE "monitoramento_agua/servidor"
#define TOPICO_PUBLISH "monitoramento_agua/servidor"
#define ID_MQTT "mqtt-explorer-3lafbadf"
DallasTemperature sensors(OneWire); /*encaminha referências OneWire para o sensor*/
OneWire oneWire(dados); /*Protocolo OneWire*/
/*****

#define dados 2 /*o pino de dados do sensor está ligado na porta 2 do Arduino*/
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
/*****

#define TdsSensorPin A1
#define VREF 5.0 // analog reference voltage(Volt) of the ADC
#define SCOUNTI 30 // sum of sample point

```

Figura 5.7: *Bibliotecas.*



```

codigo | Arduino 1.8.19
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

codigo $

//-----//

int getMedianNum(int bArray[], int iFilterLen);
float ArredondarPara( float ValorEntrada, int CasaDecimal );

void setup() {
  pinMode(A0, INPUT); //turbidez
  //pinMode(A1, INPUT);
  pinMode(A2, INPUT); //ph
  pinMode(TdsSensorPin, INPUT); //condutividade

  sensors.begin(); /*inicia biblioteca*/
  Serial.begin(57600);
}

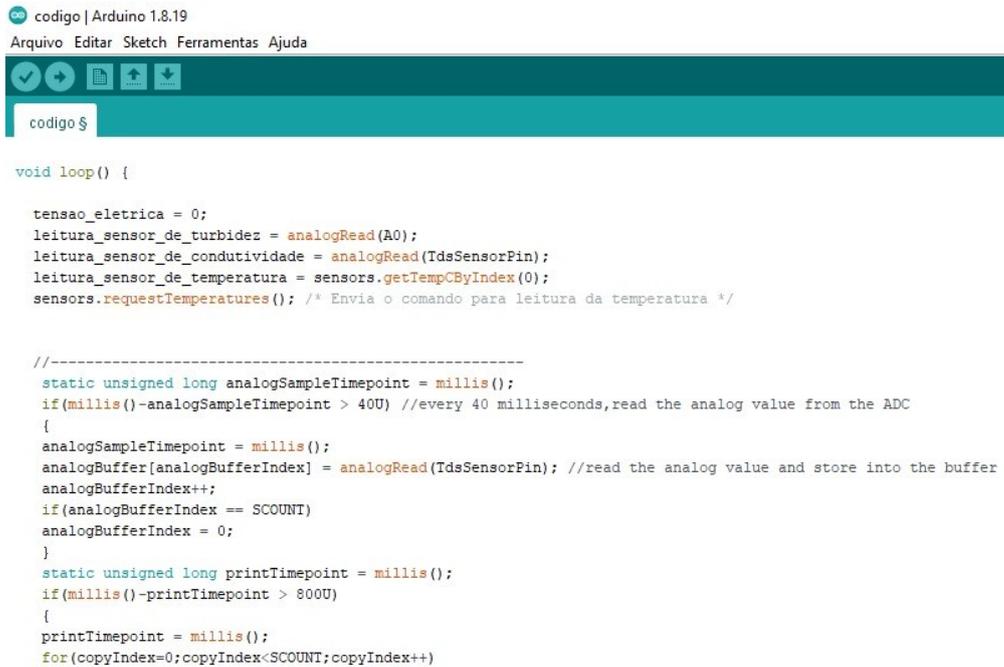
```

Figura 5.8: *Método setup.*

5.2 Monitoramento dos indicadores

Nesta seção, descreve-se o processo de monitoramento dos dados coletados e sua validação por meio de equipamentos específicos físico-químicos para comparação e uso de calibração conforme orientações dos fabricantes para os sensores pelo Arduino e transmitidos pelo ESP32 por meio do protocolo *MQTT*. Esses dados são enviados para um servidor gratuito que atua como receptor das mensagens enviadas. Com o objetivo de processar as mensagens de forma mais eficiente na página do *dashboard web*, as informações são enviadas no formato *JSON* para o back-end.

A Figura 5.10 mostra os dados sendo enviados ao servidor gratuito no modelo *JSON*.



```

codigo | Arduino 1.8.19
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

codigo $

void loop() {

  tensao_eletrica = 0;
  leitura_sensor_de_turbidez = analogRead(A0);
  leitura_sensor_de_condutividade = analogRead(TdsSensorPin);
  leitura_sensor_de_temperatura = sensors.getTempCByIndex(0);
  sensors.requestTemperatures(); /* Envia o comando para leitura da temperatura */

  //-----
  static unsigned long analogSampleTimepoint = millis();
  if(millis()-analogSampleTimepoint > 40U) //every 40 milliseconds, read the analog value from the ADC
  {
    analogSampleTimepoint = millis();
    analogBuffer[analogBufferIndex] = analogRead(TdsSensorPin); //read the analog value and store into the buffer
    analogBufferIndex++;
    if(analogBufferIndex == SCOUNT)
      analogBufferIndex = 0;
  }
  static unsigned long printTimepoint = millis();
  if(millis()-printTimepoint > 800U)
  {
    printTimepoint = millis();
    for(copyIndex=0;copyIndex<SCOUNT;copyIndex++)

```

Figura 5.9: Método loop.



```

COM3

Dados enviados: {"ph": " 8.49", "turbidez": " 0.06", "condutividade": "207.00", "Temperatura": "25.10"}
Dados enviados: {"ph": " 8.21", "turbidez": " 0.08", "condutividade": "208.00", "Temperatura": "24.90"}
Dados enviados: {"ph": " 8.50", "turbidez": " 0.08", "condutividade": "206.00", "Temperatura": "25.40"}
Dados enviados: {"ph": " 8.64", "turbidez": " 0.06", "condutividade": "207.00", "Temperatura": "25.80"}
Dados enviados: {"ph": " 8.51", "turbidez": " 0.07", "condutividade": "207.00", "Temperatura": "25.90"}
Dados enviados: {"ph": " 8.53", "turbidez": " 0.06", "condutividade": "205.00", "Temperatura": "25.60"}
Dados enviados: {"ph": " 8.02", "turbidez": " 0.07", "condutividade": "207.00", "Temperatura": "24.10"}
Dados enviados: {"ph": " 8.91", "turbidez": " 0.07", "condutividade": "206.00", "Temperatura": "24.50"}
Dados enviados: {"ph": " 8.67", "turbidez": " 0.08", "condutividade": "208.00", "Temperatura": "24.40"}
Dados enviados: {"ph": " 8.41", "turbidez": " 0.07", "condutividade": "204.00", "Temperatura": "24.30"}
Dados enviados: {"ph": " 8.50", "turbidez": " 0.06", "condutividade": "207.00", "Temperatura": "24.00"}
Dados enviados: {"ph": " 8.09", "turbidez": " 0.08", "condutividade": "205.00", "Temperatura": "24.50"}
Dados enviados: {"ph": " 8.78", "turbidez": " 0.06", "condutividade": "204.00", "Temperatura": "24.40"}
Dados enviados: {"ph": " 8.13", "turbidez": " 0.06", "condutividade": "207.00", "Temperatura": "25.20"}
Dados enviados: {"ph": " 8.65", "turbidez": " 0.06", "condutividade": "204.00", "Temperatura": "24.40"}
Dados enviados: {"ph": " 8.83", "turbidez": " 0.07", "condutividade": "207.00", "Temperatura": "25.60"}
Dados enviados: {"ph": " 8.61", "turbidez": " 0.07", "condutividade": "204.00", "Temperatura": "24.20"}

```

Figura 5.10: Envio de dados em JSON ao servidor.

O *JSON* é uma forma popular de estruturar e organizar os dados, permitindo uma fácil manipulação e processamento. O back-end do *dashboard web* recebe esses dados em formato *JSON* e realiza o processamento necessário para plotar os gráficos correspondentes. Esses gráficos são criados para fornecer uma visualização clara e compreensível dos dados coletados, facilitando a análise e interpretação dos usuários.

Essa abordagem de monitoramento e transmissão dos dados em formato *JSON*, juntamente com o uso do protocolo *MQTT* e do servidor gratuito, oferece uma solução eficiente e acessível para o armazenamento e visualização dos dados coletados. A Figura 5.10 mostra o *dashboard* com os gráficos dos dados coletados. Isso permite que os usuários do *dashboard web* acompanhem de forma simples e intuitiva as mudanças nos parâmetros de qualidade da água ao longo do tempo.

A Figura 5.11 mostra como os dados são apresentados em forma de gráficos na web

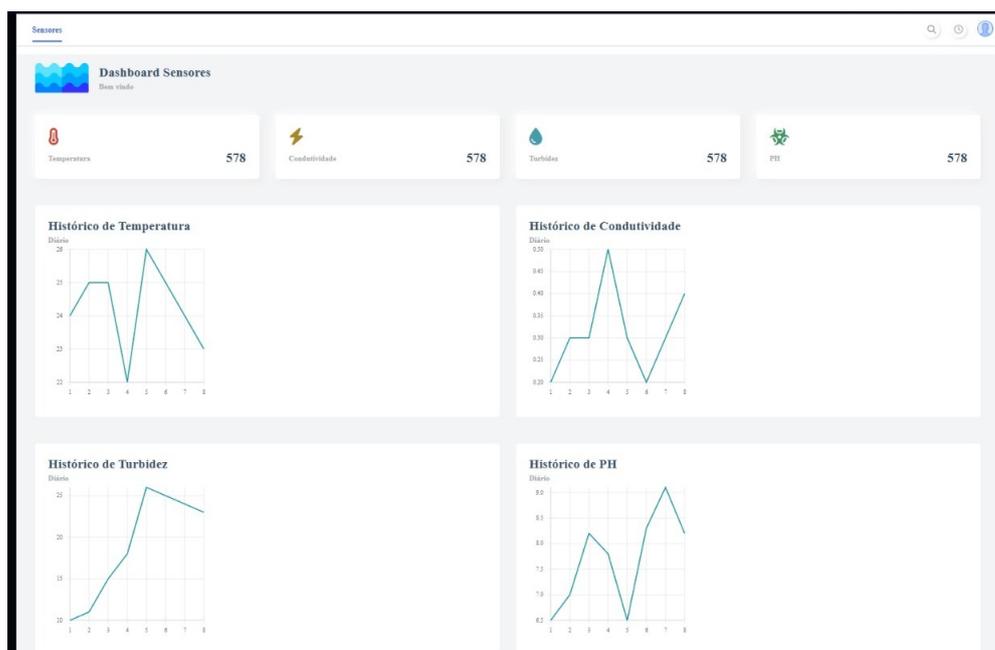


Figura 5.11: *Dashboard.*

5.2.1 Validação dos dados

As análises dos parâmetros fisio-químicos provenientes de águas guardadas nas caixas d'água do IFPB. A Figura 5.12 mostra o local onde a água foi coletada.



Figura 5.12: *Local da coleta de água.*

Os sensores foram inseridos dentro de alguns *becker* de vidro fornecido pelo laboratório de química do *campus* onde nesses equipamentos foi inserido a água coletada. Foram usados mais de um *becker* para evitar que algum sensor causasse alguma interferência de alguma forma na coleta de algum outro sensor. Assim, dando início às análises através do sensores.

Os equipamentos específicos usados para análises físico-químicas das amostras coletadas que foram manuseados por um profissional da área de forma a garantir a melhor precisão dos instrumentos pode ser visto abaixo.

A Figura 5.13 mostra um pHmetro de bancada.



Figura 5.13: *PHmetro. Fonte:metaquimica(2023)*

A Figura 5.14 mostra um condutivímetro de bancada.



Figura 5.14: *Condutivímetro. Fonte: netlab(2023)*



Figura 5.15: *Turbidímetro. Fonte: bilbos(2023)*

Os resultados obtidos pelos sensores mostram-se bastante eficazes uma vez que, ao fazer-se a comparação com as análises dessas mesmas amostras com máquinas de maior precisão onde

foram desenvolvidas com única funcionalidade, foram obtidos não tão destoantes quando colocado os fatores de variação.

A Figura 5.16 mostra os dados sendo coletados pelos sensores.

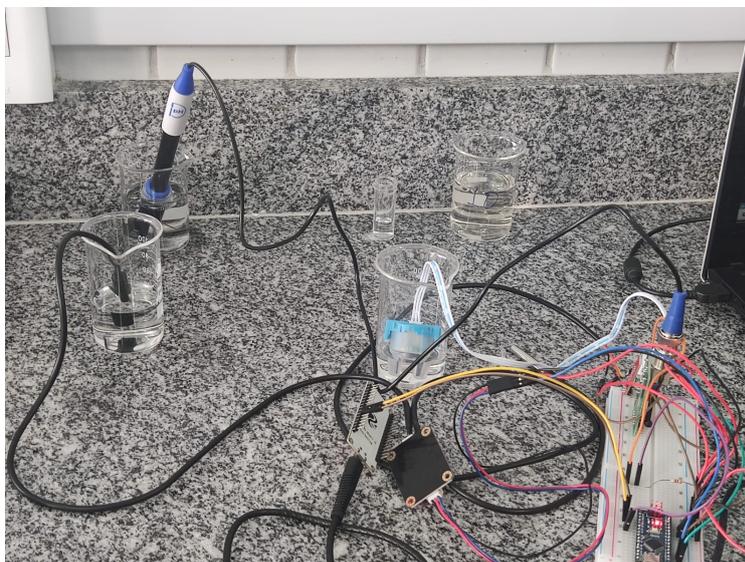


Figura 5.16: Coleta de dados.

Tabela 5.1: Resultado médio da coleta de amostras através dos sensores

Sensores	Média
pH	8.50
Condutividade	207,56 $\mu\text{S}/\text{cm}^3$
Turbidez	0,08 NTU
Temperatura	24,90 °C

Durante o processo de coleta de dados, foram registradas várias medições por minuto para cada parâmetro analisado. No entanto, devido à alta frequência de coleta, houve uma necessidade de resumir e organizar esses dados de forma mais compreensível. Para alcançar esse objetivo, utilizou-se a técnica da média aritmética. Foi calculada a média de cada conjunto de 100 dados enviados para cada parâmetro. Essa abordagem permitiu obter um valor médio representativo, minimizando a interferência causada por picos de valor ou instabilidades relacionadas ao Arduino ou a possíveis problemas de contato.

Essa média aritmética proporcionou maior confiabilidade aos dados coletados, pois reduziu a probabilidade de flutuações momentâneas e leituras imprecisas. Ao eliminar os casos de picos ou valores atípicos, garantiu-se que os dados representassem de forma mais precisa a realidade dos parâmetros de qualidade da água monitorados. Os valores médios obtidos foram então utilizados para a geração da tabela apresentada na referência 5.1. Essa tabela contém as médias dos dados coletados para cada parâmetro, proporcionando uma visão mais geral e concisa das variações ocorridas ao longo do tempo.

Durante a análise comparativa dos dados coletados pelos sensores utilizados e os dados obtidos por equipamentos específicos de referência, constatou-se um resultado satisfatório.

Tabela 5.2: *Comparação entre os sensores usados e os equipamentos específicos*

parâmetro	sensor	equipamento
ph	8,50	8,43
condutividade	207,56 $\mu\text{S}/\text{cm}^3$	209,85
turbidez	0,08 NTU	0,06 NTU
temperatura	24,90 °C	24,50 °C

Verificou-se que as informações de calibração fornecidas pelos fabricantes dos sensores são precisas e confiáveis, atendendo plenamente ao propósito do estudo. Essa constatação eliminou a necessidade de qualquer tentativa adicional de correção de valores extremos ou discrepantes que poderiam ocorrer durante a coleta contínua dos dados pelos sensores.

Através dessa comparação, foi possível comprovar a consistência e a exatidão dos dados obtidos pelos sensores em relação aos dados dos equipamentos de referência. Isso significa que os sensores estão fornecendo informações acuradas e confiáveis dentro do esperado e dos possíveis porcentagens de erro, alinhadas com as especificações e características estabelecidas pelos fabricantes. Não foram observadas discrepâncias significativas ou desvios nos valores registrados pelos sensores em comparação com os equipamentos de referência.

5.3 Implicações

O estudo apresentou resultados promissores no desenvolvimento de uma plataforma de monitoramento de qualidade da água. A construção da plataforma, utilizando sensores de pH, condutividade, turbidez e temperatura conectados ao Arduino, demonstrou eficiência e confiabilidade na coleta de dados. O desenvolvimento do software através da interface do Arduino IDE permitiu a configuração dos pinos, definição de tarefas e integração das bibliotecas necessárias. A utilização do protocolo *MQTT* e de um servidor gratuito para armazenamento e visualização dos dados mostrou-se uma solução eficiente e acessível.

A validação dos dados foi realizada comparando-os com equipamentos de referência, e os resultados dos sensores foram consistentes e próximos aos dos equipamentos mais precisos. A média aritmética dos dados coletados aumentou a confiabilidade, eliminando flutuações momentâneas e leituras imprecisas. A análise dos parâmetros físico-químicos da água coletada nas caixas d'água do IFPB apresentou resultados dentro dos limites permitidos pela legislação em relação aos valores de pH, condutividade, turbidez e temperatura.

Os resultados têm implicações práticas significativas para o monitoramento da qualidade da água. A plataforma desenvolvida pode ser uma ferramenta útil em diferentes contextos, como estações de tratamento, rios, lagos e reservatórios. A utilização de sensores de baixo custo integrados ao Arduino torna a plataforma acessível mesmo em regiões com recursos limitados, o que é especialmente importante em áreas onde a qualidade da água é uma preocupação, como comunidades rurais e regiões em desenvolvimento.

Além disso, a plataforma permite a detecção precoce de problemas de qualidade da água,

como alterações no pH, aumento da turbidez ou variações na condutividade, possibilitando medidas corretivas rápidas e eficientes para a preservação e segurança dos recursos hídricos. A disponibilidade de dados em tempo real e a capacidade de armazenamento e visualização em um servidor online oferecem benefícios adicionais. Gestores e pesquisadores podem acessar os dados remotamente e realizar análises abrangentes, identificando tendências, padrões sazonais e anomalias na qualidade da água.

Em suma, a plataforma desenvolvida neste estudo é uma importante ferramenta para o monitoramento contínuo e acessível da qualidade da água. Seu uso pode contribuir para a Tomada de decisão baseada em evidências, a implementação de medidas de proteção ambiental e a melhoria da qualidade de vida das comunidades que dependem de recursos hídricos seguros.

Capítulo 6

Ameaças à Validade

Esta seção discute as ameaças à validade associada às diversas etapas do estudo, bem como as ações realizadas para mitigá-las.

Ameaças à validade de construção. (1) Erros de montagem do circuito eletrônico: A construção do circuito eletrônico com o microcontrolador Arduino e a conexão dos sensores pode estar sujeita a erros de montagem, o que pode levar a leituras imprecisas ou falhas na coleta de dados. É importante garantir que as conexões estejam corretas e que todos os componentes estejam funcionando adequadamente. (2) Problemas de programação do Arduino: A programação do Arduino para a aquisição e armazenamento dos dados dos sensores em tempo real pode apresentar erros ou bugs, o que pode impactar a coleta e análise dos dados. É necessário realizar testes e depuração cuidadosa do código para garantir seu funcionamento correto. (3) Falhas na plataforma de monitoramento: O desenvolvimento da plataforma web ou aplicativo móvel para acesso remoto e visualização dos dados em tempo real pode enfrentar problemas técnicos ou de compatibilidade, resultando em mau funcionamento ou indisponibilidade da plataforma. É necessário realizar testes e garantir a estabilidade e usabilidade da plataforma. (4) Incompatibilidade dos sensores selecionados: Os sensores escolhidos para medir os parâmetros de qualidade da água podem não ser adequados para o ambiente específico do reservatório ou apresentar incompatibilidades com o circuito eletrônico. É necessário garantir que os sensores selecionados sejam compatíveis e capazes de fornecer leituras precisas e confiáveis. (5) Interferência externa nos dados coletados: A presença de interferências externas, como campos eletromagnéticos, ruídos elétricos ou fontes de luz intensa, pode afetar as leituras dos sensores e resultar em dados imprecisos ou distorcidos. É importante minimizar e controlar essas interferências para garantir a validade dos dados coletados.

Ameaças à validade interna. (1) Viés de seleção dos parâmetros de água: A escolha dos parâmetros de qualidade da água a serem monitorados pode ser influenciada por viés de seleção, levando a uma análise incompleta ou inadequada da qualidade da água. É importante considerar critérios técnicos e científicos confiáveis na seleção dos parâmetros. (2) Viés na seleção dos sensores: A seleção dos sensores para medir os parâmetros de qualidade da água

pode ser influenciada por viés na escolha ou disponibilidade dos dispositivos. Isso pode afetar a precisão e confiabilidade das medições. É necessário realizar uma pesquisa abrangente e selecionar sensores confiáveis e adequados para cada parâmetro. (3) Viés na amostragem dos dados: A coleta dos dados para validação da plataforma pode estar sujeita a viés na amostragem, como a seleção de um reservatório específico ou a coleta de dados em um período não representativo. É importante realizar uma amostragem aleatória e representativa dos dados para obter resultados mais confiáveis.

Ameaças à conclusão. (1) Falta de análise estatística adequada: A conclusão do estudo pode estar comprometida se não forem aplicadas técnicas estatísticas adequadas para analisar os dados coletados. É importante utilizar métodos estatísticos apropriados para avaliar a relação entre os parâmetros de qualidade da água e as leituras dos sensores. (2) Resultados inconclusivos ou contraditórios: É possível que os resultados obtidos no estudo sejam inconclusivos ou contraditórios, dificultando a formulação de uma conclusão clara e definitiva. Isso pode ocorrer devido a diversos fatores, como variabilidade dos dados, interferências externas ou limitações dos sensores. É importante reconhecer e relatar essas limitações ao apresentar a conclusão do estudo. (3) Viés na interpretação dos resultados: A interpretação dos resultados pode ser inadvertidamente influenciada pelas perspectivas ou experiências pessoais dos pesquisadores, o que pode levar a conclusões enviesadas ou não representativas dos dados. É fundamental adotar uma abordagem imparcial e objetiva ao analisar os resultados para evitar distorções na conclusão do estudo.

Ameaças à generalização. (1) Limitações da amostra: Se o estudo foi conduzido em um único reservatório de água ou em uma amostra limitada de reservatórios, os resultados podem não ser generalizáveis para outros ambientes ou populações de reservatórios. É importante considerar as limitações da amostra ao fazer afirmações sobre a generalização dos resultados. (2) Diferenças nas condições ambientais: As condições ambientais, como temperatura, pH, níveis de poluentes, podem variar significativamente entre diferentes reservatórios de água. Portanto, os resultados obtidos em um determinado local podem não ser aplicáveis a outros locais com condições ambientais diferentes. É necessário considerar essas diferenças ao generalizar os resultados. (3) Limitações dos sensores: Os sensores utilizados no estudo podem ter limitações técnicas ou faixas de medição específicas, o que pode restringir a generalização dos resultados para outros tipos de sensores ou tecnologias. É importante reconhecer essas limitações ao extrapolar os resultados para outras configurações ou sistemas de monitoramento. (4) Mudanças ao longo do tempo: As características dos reservatórios de água, qualidade da água e condições ambientais podem mudar ao longo do tempo. Portanto, os resultados obtidos em um determinado período podem não refletir necessariamente a situação em períodos futuros. É importante considerar essas mudanças temporais ao generalizar os resultados.

Capítulo 7

Considerações Finais

A plataforma desenvolvida neste estudo desempenha um papel crucial no monitoramento e na gestão da qualidade da água, oferecendo uma solução valiosa e acessível para a preservação dos recursos hídricos e o bem-estar das comunidades. Ao longo do texto, destacamos vários pontos-chave que reforçam a importância e os benefícios desta plataforma.

Neste estudo destacamos a importância do monitoramento contínuo da qualidade da água, visto que esse recurso é essencial para a vida e o funcionamento saudável dos ecossistemas. A capacidade de monitorar de forma constante a qualidade da água permite identificar problemas, tomar medidas corretivas e implementar estratégias de proteção, garantindo assim a sua preservação a longo prazo.

Além disso, a plataforma fornece acesso a dados em tempo real, o que oferece uma visão atualizada e precisa da qualidade da água. Essa disponibilidade de informações permite que gestores e pesquisadores tomem decisões informadas e oportunas, baseadas em dados atualizados sobre a saúde dos reservatórios de água. Isso contribui para uma melhor gestão dos recursos hídricos e ajuda na implementação de medidas preventivas e corretivas.

A análise avançada e a identificação de tendências na qualidade da água são outros aspectos destacados. A plataforma oferece recursos para a análise detalhada dos dados, permitindo a identificação de padrões sazonais, tendências e anomalias na qualidade da água. Essa compreensão das condições e a detecção precoce de problemas facilitam a implementação de medidas preventivas e corretivas, contribuindo para a melhoria da gestão dos recursos hídricos.

Os benefícios para o meio ambiente e a qualidade de vida das comunidades são evidentes com a implementação dessa plataforma. Ao garantir a qualidade da água, estamos preservando os ecossistemas aquáticos, a biodiversidade e promovendo a saúde pública. Esses benefícios têm um impacto direto na qualidade de vida das pessoas que dependem dos recursos hídricos, proporcionando um ambiente mais saudável e sustentável para as comunidades.

No entanto, há oportunidades de expansão e aprimoramento da plataforma. É possível incluir a medição de outros indicadores importantes da qualidade da água, como oxigênio dissolvido, níveis de nutrientes e presença de contaminantes específicos. Essa expansão permi-

tiria uma visão mais abrangente e detalhada da saúde dos reservatórios de água, fornecendo informações adicionais para gestores e pesquisadores tomarem decisões mais precisas.

Além disso, a integração de técnicas de inteligência artificial e aprendizado de máquina pode impulsionar ainda mais o desenvolvimento da plataforma. Com a análise e interpretação dos grandes volumes de dados coletados, é possível identificar padrões complexos, tendências ocultas e até mesmo prever a qualidade da água com base em dados históricos e condições ambientais. Isso permite uma detecção antecipada de eventos anormais ou poluentes emergentes, auxiliando na implementação proativa de medidas preventivas e na otimização da gestão dos recursos hídricos.

Com base nos resultados, a plataforma de monitoramento da qualidade da água desenvolvida neste estudo oferece uma solução abrangente e eficaz para a gestão dos recursos hídricos. E espera-se que com o uso permita uma melhor compreensão da qualidade da água, a tomada de decisões embasadas e a implementação de medidas preventivas e corretivas. Com futuras expansões e a integração de tecnologias avançadas, essa plataforma tem o potencial de desempenhar um papel ainda mais significativo na preservação dos recursos hídricos e na melhoria da qualidade de vida das comunidades.

Referências Bibliográficas

[Abdul-Wahab, Abdul-Majeed e Abdul-Lateef 2018] ABDUL-WAHAB, S.; ABDUL-MAJEED, S.; ABDUL-LATEEF, M. Water quality monitoring in distribution systems. *Water Quality Monitoring and Management*, IntechOpen, p. 97–113, 2018. 2

[Agencia Nacional das Águas s.d] Agencia Nacional das Águas. *INDICADORES DE QUALIDADE - ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS (IQA)*. s.d. <http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx#_ftn3> [Acesso em 12 de abril 2023]. 9, 10

[Al-Fuqaha *et al.* 2019] AL-FUQAHA, A. *et al.* Internet of things for water management: A review of technologies and challenges. *Sensors*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 19, n. 6, p. 1429, 2019. 1

[ARDUINO 2018] ARDUINO. *O que é Arduino?* 2018. <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>> [Acesso em 11 de abril 2023]. 7

[Asha'ari e Ibrahim 2022] ASHA'ARI, M.; IBRAHIM, A. Wireless water quality monitoring system. In: . [S.l.: s.n.], 2022. p. 1–8. 11

[aws.amazon s.d] aws.amazon. *what-is mqtt*. s.d. <<https://aws.amazon.com/pt/what-is/mqtt/>> [Acesso em 6 de julho 2023]. 8, 9

[Choi, Lee e Kim 2019] CHOI, K.-I.; LEE, J.; KIM, Y. M. Internet of things for water management: state-of-the-art and future directions. *Environmental Science & Technology*, ACS Publications, v. 53, n. 7, p. 3403–3414, 2019. 1

[Dai *et al.* 2021] DAI, Y. *et al.* Design and implementation of a water quality monitoring system based on internet of things. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, Springer, p. 1–12, 2021. 1, 5

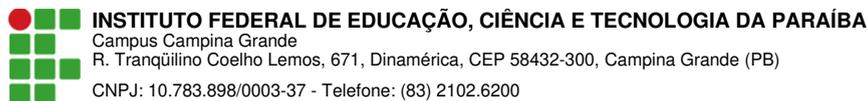
[Davies *et al.* 2008] DAVIES, E. *et al.* Water-quality impacts on aquatic ecosystem health: perceptions of municipal water managers. *Environmental Management*, Springer, v. 41, n. 2, p. 213–226, 2008. 1

[espressif System s.d] espressif System. *ESP32 Series of Modules*. s.d. <<https://www.espressif.com/en/products/modules/esp32>> [Acesso em 9 de abril 2023]. 7

[Flutter s.d] Flutter. *What is Flutter?* s.d. <<https://docs.flutter.dev/resources/faq>> [Acesso em 15 de abril 2023]. 8

[Geetha *et al.* 2015] GEETHA, M. *et al.* Design and implementation of water quality monitoring system using arduino and gsm technology. *International Journal of Engineering and Technology*, Inpressco, v. 7, n. 1, p. 35–40, 2015. 1, 5

- [IEEE RAS UFCG 2020] IEEE RAS UFCG. *O Que É Um Microcontrolador?* 2020. <<https://edu.ieee.org/br-ufcgras/o-que-e-um-microcontrolador/>> [Acesso em 10 de abril 2023]. 7
- [Lakshmikantha *et al.* 2021] LAKSHMIKANTHA, V. *et al.* Iot based smart water quality monitoring system. *Global Transitions Proceedings*, v. 2, 08 2021. 12
- [Li *et al.* 2019] LI, Y. *et al.* Real-time water quality monitoring based on internet of things. *Water*, v. 11, n. 9, p. 1863, 2019. 1, 2, 5
- [Mays 2012] MAYS, L. W. *Water distribution systems handbook*. [S.l.]: CRC press, 2012. 1
- [ministerio da saude 2021] ministerio da saude. *PORTARIA GM/MS Nº 888*. 2021. <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html> [Acesso em 16 de abril 2023]. 9
- [Neri 2019] NERI, M. L. e. G. B. R. *MQTT*. 2019. <<https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel878/redes1-2019-1/vf/mqtt/>> [Acesso em 8 de julho 2023]. 8
- [Nogueira *et al.* 2019] NOGUEIRA, L. *et al.* Desenvolvimento de um sistema de monitoramento em tempo real baseado em arduino e raspberry. *Ciência e Natura*, v. 40, p. 218, 03 2019. 11
- [Pal *et al.* 2023] PAL, R. *et al.* Iot based real time weather monitoring system using no-demcu. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, v. 11, p. 2965–2970, 04 2023. 11
- [postgresql.org s.d] postgresql.org. *What is PostgreSQL?* s.d. <<https://www.postgresql.org/about/>> [Acesso em 15 de abril 2023]. 8
- [Rao *et al.* 2013] RAO, A. *et al.* Design of low-cost autonomous water quality monitoring system. In: . [S.l.: s.n.], 2013. p. 14–19. 11
- [UNESCO 2018] UNESCO. World water development report 2018: Nature-based solutions for water. United Nations, 2018. 2
- [Wu *et al.* 2018] WU, J. *et al.* Monitoring and early warning system for water quality based on internet of things. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, MDPI, v. 15, n. 3, p. 438, 2018. 10
- [Zhu *et al.* 2020] ZHU, T. *et al.* Water quality assessment and source apportionment of a large river system using an integrated modeling approach. *Journal of Hydrology*, Elsevier, v. 584, p. 124674, 2020. 1



Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

Entrega de trabalho de conclusão de curso

Assunto: Entrega de trabalho de conclusão de curso
Assinado por: Matheus Silva
Tipo do Documento: Anexo
Situação: Finalizado
Nível de Acesso: Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência: Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- **Matheus Pereira Braz da Silva, ALUNO (201921210017) DE TECNOLOGIA EM TELEMÁTICA - CAMPINA GRANDE**, em 31/07/2023 19:02:26.

Este documento foi armazenado no SUAP em 31/07/2023. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 891768
Código de Autenticação: 2a4d76796e

