

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE
MINAS GERAIS
CAMPUS V
EQUIPE ERA2-D2**

**RIOS DE DADOS: EXPLORANDO UMA
PLATAFORMA DE MONITORAMENTO HÍDRICO**

**Divinópolis/MG
2024**

Ana Clara Monteiro Caetano, Ana Clara Siqueira, Davi Faria de Sousa Guimarães,
Gustavo Campos da Silva Silveira, Isabella Olímpio Rocha, João Carlos Santos, Lucas
Gabriel Soares Borges, Nina Lage Motta, Pedro Henrique Carlos de Souza, Suellen de
Faria Silvério

RIOS DE DADOS: EXPLORANDO UMA PLATAFORMA DE MONITORAMENTO HÍDRICO

Trabalho submetido ao Torneio Brasil de
Robótica como requisito parcial à avaliação
no quesito Mérito Científico.

Técnico: João Luiz de Sousa Vieira

Mentor: Prof. Me. Diêgo Fernandes da Cruz

**Divinópolis/MG
2024**

Agradecimentos

Tendo em vista a longa jornada para a elaboração do trabalho não podemos dizer que chegamos aqui sem ajuda. Nosso sincero agradecimento a todas as pessoas que divulgaram o projeto, compraram a rifa do sorteio que realizamos, e torceram positivamente. Agradeço também aos pais por colaborarem e se manterem presentes sem medir esforços para realização deste trabalho. Por fim, agradecemos também aos apoiadores CEFET-MG, ACID Divinópolis e SEBRAE também aos patrocinadores, Sicoob Divicred, Supermercado Olímpio Rocha, Byte impressão 3D e Real Club pois sem eles não haveria a possibilidade de realizarmos esse projeto.

Resumo

O 6º Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, água potável e saneamento, destaca-se como uma das metas cruciais para a sustentabilidade global. Dentro dessa meta, o objetivo específico 6.6, determinado pela modalidade High, ressalta a necessidade de proteger e restaurar os ecossistemas relacionados à água. Além disso, destaca a importância de promover a conscientização e a competência para agir, não apenas entre a sociedade civil, mas também no setor privado e governamental.

Com o intuito de atingir esse objetivo, a equipe ERA2-D2 desenvolveu uma plataforma de monitoramento aquático que é capaz de registrar parâmetros como pH, turbidez, níveis de oxigênio dissolvido, temperatura e condutividade. Esses dados são disponibilizados por meio de um site que permite a visualização e análise da qualidade da água, facilitando a tomada de decisões informadas, a implementação de medidas corretivas e o engajamento comunitário.

A utilização da plataforma contribui para a sustentabilidade dos recursos hídricos e a segurança da população, permitindo a detecção precoce de problemas e ações corretivas oportunas. Esta ferramenta representa uma solução prática e viável para o monitoramento contínuo da qualidade da água. Ao fornecer um panorama preciso e atualizado das condições aquáticas, contribui significativamente para o cumprimento de metas ambientais, incluindo aquelas relacionadas à ODS 6, que visa a ação global da água e de todos os sistemas aquáticos.

Palavras-chave: monitoramento, plataforma, água, conscientização, qualidade.

Abstract

The 6th Objective of UN Sustainable Development (SDG), clean water and sanitation, stands out as one of the crucial goals for global sustainability. Within this goal, specific objective 6.6, determined by the High modality, highlights the need to protect and restore water-related ecosystems. Furthermore, it highlights the importance of promoting awareness and capacity for action not only among civil society, but also in the private and government sectors.

In order to achieve this goal, the ERA2-D2 team developed an aquatic monitoring platform that is capable of recording parameters such as pH, turbidity, dissolved oxygen levels, temperature and conductivity. This data is made available through a website that allows visualization and analysis of water quality, facilitating informed decision-making, implementation of corrective measures and community engagement.

Using the platform contributes to the sustainability of water resources and the safety of the population, allowing for the early detection of problems and timely corrective actions. This platform represents a practical and viable solution for the continuous monitoring of water quality, by providing an accurate and updated overview of aquatic conditions it significantly contributes to the achievement of environmental goals, including those related to SDG 6, which aims for global action on water and all aquatic systems.

Keywords: monitoring, platform, water, awareness, quality.

Sumário

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 7 |
| 1.1 PROBLEMA ABORDADO | 7 |
| 1.2 HIPÓTESES | 10 |
| 1.3 OBJETIVOS | 11 |
| 1.3.1 Objetivo geral | 11 |
| 1.3.2 Objetivos específicos | 11 |
| 1.4 JUSTIFICATIVA | 12 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO | 14 |
| 2.1 USO HÍDRICOS | 14 |
| 2.2 QUALIDADE DA ÁGUA | 16 |
| 2.3 SANEAMENTO INADEQUADO | 19 |
| 2.4 ALTERAÇÕES NO CICLO HIDROLÓGICO | 24 |
| 3. METODOLOGIA | 26 |
| 3.1 DESCRIÇÃO DOS PARÂMETROS DO IQA | 27 |
| 3.2 DESENVOLVIMENTO DA PLATAFORMA | 34 |
| 3.3 FERRAMENTAS | 35 |
| 3.4 SIMULAÇÃO | 36 |
| 3.5 CONSTRUÇÃO DO CIRCUITO ELETRÔNICO | 37 |
| 3.6 ARQUITETURA DA PLATAFORMA | 40 |
| 3.7 PROGRAMAÇÃO | 41 |
| 3.8 SITE | 48 |
| 4. RESULTADOS | 58 |
| 5. RECURSOS UTILIZADOS | 64 |
| 6. CRONOGRAMA | 65 |
| 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 67 |
| 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 68 |
| 9. APÊNDICE | 71 |

1. INTRODUÇÃO

1.1 Problema abordado

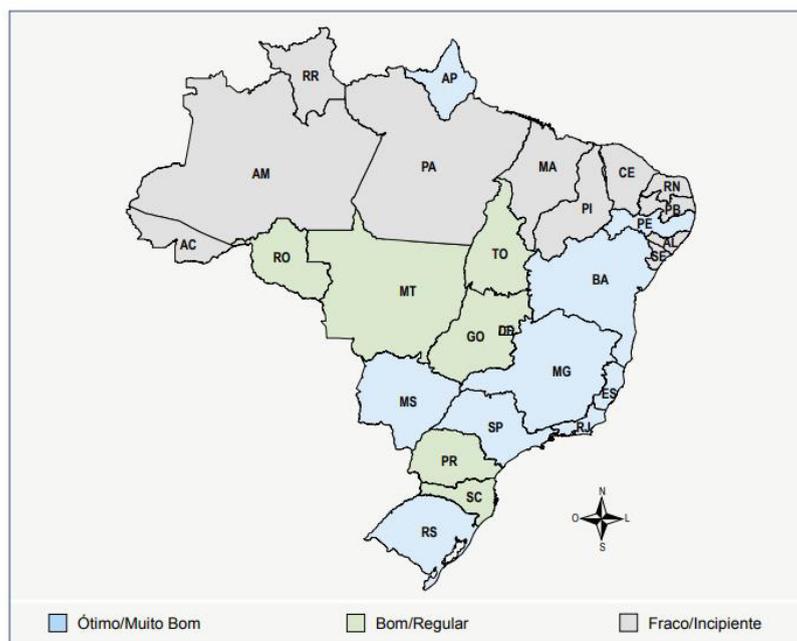
A água está intrinsecamente ligada à sobrevivência de todas as formas de vida que conhecemos e está intimamente relacionada ao desenvolvimento das sociedades e culturas, tendo uma importância ecológica, econômica e social. No Brasil, a água é utilizada principalmente para a irrigação de lavouras, abastecimento público, atividades industriais, geração de energia, extração mineral, aquicultura, navegação, turismo e lazer. Cada uso depende de condições específicas de quantidade e qualidade das águas, e também pode afetá-las. Esses parâmetros são influenciados pela presença de microrganismos causadores de doenças, além de detritos, poluentes como ferro, areia, sedimentos, e outros resíduos, que vêm prejudicando seriamente toda a ecologia terrestre e comprometendo sua vitalidade.

A poluição dos ambientes aquáticos tem se tornado um problema frequente, especialmente devido às suas consequências mais evidentes, como a escassez de fontes limpas para abastecimento e a mortandade de organismos (Queiroz et al. 2008). Dessa forma, a crescente degradação da qualidade da água tem levado à busca por estratégias para proteger e manter a qualidade dos ecossistemas aquáticos. Para avaliar o estado desses ecossistemas, um dos procedimentos mais comuns é o monitoramento, definido como a observação e estudo sistemático do meio ambiente. Em termos científicos, os dados coletados são utilizados para gerar conhecimento.

A importância da qualidade da água está bem conceituada na Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), que define, dentre seus objetivos, "assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos" (Art. 2º, Cap. II, Tit. I, Lei nº 9.433). Entretanto, apesar da relevância desse recurso, a gestão da qualidade da água não tem recebido o mesmo destaque que a gestão da quantidade, seja no aspecto legal, nos arranjos institucionais em funcionamento no setor ou na operacionalização dos sistemas de gestão (PORTO, 2002).

Apesar da importância da qualidade da água ressaltada pela PNRH, o monitoramento efetivo dessa qualidade ainda apresenta muitas falhas no Brasil. A informação sobre a qualidade da água no país ainda é escassa ou inexistente em várias bacias. Poucos estados possuem redes de monitoramento adequadas. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA), apenas nove unidades da Federação possuem sistemas de monitoramento da qualidade da água considerados ótimos ou muito bons; cinco possuem sistemas bons ou regulares; e treze apresentam sistemas fracos ou incipientes. Esse levantamento, realizado entre outubro de 2000 e julho de 2001, agrupou os estados de acordo com quatro aspectos: porcentagem das bacias hidrográficas monitoradas, tipos de parâmetros analisados, frequência de amostragem e forma de disponibilização da informação pelos estados (MMA, 2002).

Figura 1.1 - Mapa que indica a qualidade de monitoramento das bacias hidrográficas.



Fonte: MMA, 2002.

Em termos gerais, considerando as redes estaduais e a Rede Hidrometeorológica Nacional, é perceptível que apenas a região Sudeste possui uma condição adequada de monitoramento da qualidade da água. As demais regiões apresentam-se bastante inferiores nesse quesito, com destaque para as regiões Norte e Nordeste. Essas limitações no monitoramento dificultam o diagnóstico detalhado da qualidade dos corpos d'água no país.

Dessa forma, destaca-se o programa de monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas de Minas Gerais, denominado Programa Águas de Minas, o qual é executado desde 1997 e está sob a responsabilidade do IGAM, Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Os resultados desse monitoramento possibilitam, por exemplo, identificar a variação da qualidade das águas em períodos específicos, detectar e medir tendências, elaborar diagnósticos e propor ações visando à proteção e à recuperação dos recursos hídricos.

O monitoramento da qualidade das águas é uma ferramenta imprescindível para a PNRH, tanto para garantir o cumprimento de seus objetivos quanto para servir como base na execução de seus instrumentos. Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), as parcelas de água devem ser constantemente monitoradas para que se determine a quantidade de recursos hídricos e se verifiquem suas condições.

A ANA (2019) também afirma que, para avaliar as condições das águas em rios e cursos d'água, são determinados os níveis de parâmetros biológicos, físicos e químicos. Essas variáveis são utilizadas como indicadores de qualidade e auxiliam na classificação dos corpos hídricos. Diante disso, é correto afirmar que o acompanhamento contínuo desses parâmetros é indispensável para a proteção dos recursos hídricos.

Nesse contexto, a ODS 6 se alinha diretamente com nossa realidade atual, buscando enfrentar esses desafios. Ela destaca a necessidade de proteger os ecossistemas aquáticos, essenciais para a vida. Isso requer promover a conscientização da sociedade sobre o ambiente ao seu redor, gerando mudanças a longo prazo. Assim, o Torneio Brasil de Robótica, na categoria High, nos desafiou a pensar em soluções para proteger e restaurar sistemas relacionados à água. Portanto, nossa equipe optou por desenvolver uma plataforma que, por meio do monitoramento contínuo, permitirá melhorar a gestão de recursos hídricos, assegurar a saúde pública e a preservação ambiental, garantindo esse recurso para as gerações futuras.

Figura 1.2 - Tema referente a ODS 6.



Fonte: Organização das Nações Unidas, 2010.

1.2 Hipóteses

De acordo com a organização não governamental SOS Mata Atlântica, uma análise da qualidade de 111 rios brasileiros revelou que 23,3% das águas são classificadas como de qualidade ruim ou péssima. Segundo a legislação brasileira, águas nessas condições não podem ser tratadas para consumo humano nem utilizadas para irrigação de lavouras. Isso é preocupante, visto que a poluição dos rios não apenas compromete a biodiversidade aquática, mas também ameaça a segurança hídrica de milhões de indivíduos. A qualidade da água é um indicador crucial do estado dos ecossistemas e do bem-estar das populações humanas que dependem desses recursos. Quando um quarto dos rios analisados apresenta níveis de poluição tão altos, isso reflete uma falha significativa na gestão ambiental e na implementação de políticas públicas eficazes.

As fontes de contaminação dos cursos d'água são diversas devido às diferentes formas de uso dos recursos hídricos, como os usos urbanos e industriais, que geram efluentes e têm colaborado consideravelmente para a poluição dos rios. Apesar de estudos e monitoramentos em algumas áreas, é importante notar que a maioria dos cursos d'água não possui monitoramento algum. Portanto, a adoção de redes amplas de monitoramento é essencial para a implementação de medidas específicas que levem em consideração as peculiaridades de cada área monitorada, permitindo uma análise mais precisa. Assim, o monitoramento eficaz é a principal medida para identificar fontes de poluição e possibilitar ações corretivas.

Diante desse cenário, nossa equipe desenvolveu uma plataforma de

monitoramento equipada com sensores capazes de medir e coletar parâmetros qualitativos da água, fornecendo dados em tempo real sobre pH, temperatura, turbidez, condutividade e níveis de oxigênio dissolvidos. Os dados coletados são apresentados em um site, permitindo a identificação rápida de alterações na qualidade da água. A implementação da plataforma visa, sobretudo, ecossistemas aquáticos de água doce, como zonas úmidas, rios, aquíferos e lagos. Dessa forma, é possível acessar dados específicos sobre o ambiente monitorado, visto que cada um desses ecossistemas possui problemas e características próprias, demandando medidas específicas. Ao realizar esse monitoramento contínuo, a plataforma se torna um recurso eficiente e viável para informar políticas públicas, planejar e gerir recursos hídricos, apoiar a agricultura e a indústria, proteger a saúde pública, engajar a comunidade e atender a diversos outros setores.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Desenvolver uma plataforma para monitoramento da qualidade da água, visando proteger e restaurar ecossistemas aquáticos.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar e classificar os parâmetros prioritários para garantir a qualidade da água (pH, temperatura, condutividade elétrica, turbidez e níveis de oxigênio dissolvido);
- Avaliar a qualidade da água, com base nos dados coletados, seguindo os parâmetros do Índice de Qualidade das Águas (IQA);
- Permitir a análise de tendências ao longo do tempo, facilitando a avaliação de melhorias ou agravamentos na qualidade da água e nas concentrações de poluentes, ajudando a identificar fontes recorrentes de poluição;
- Monitorar continuamente para detectar rapidamente a presença de poluentes e tomar medidas corretivas de forma ágil;

- Auxiliar no planejamento e desenvolvimento de infraestruturas, como estações de tratamento de água e esgoto, além de apoiar pesquisas científicas e a gestão de crises hídricas;
- Conscientizar a população sobre a importância da preservação dos recursos hídricos e a adoção de práticas sustentáveis;
- Implementar a plataforma em diversos ambientes para garantir um estudo amplo e significativo da qualidade da água;
- Estabelecer o uso da plataforma em diferentes instituições e comunidades, visando monitorar a água de maneira colaborativa e interinstitucional.

A plataforma contribuirá significativamente para a proteção e restauração dos ecossistemas aquáticos. A capacidade de detectar e responder rapidamente a eventos de poluição, aliada à conscientização pública e à colaboração entre instituições, promoverá um ambiente mais saudável para as gerações presentes e futuras.

1.4 Justificativa

O monitoramento da qualidade da água permite avaliar as condições de um corpo hídrico e classificá-lo de acordo com as definições estabelecidas na legislação pertinente. Assim, as análises de monitoramento são de extrema importância, não apenas para garantir o cumprimento da legislação, mas, principalmente, para prevenir implicações prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana.

Segundo Maurren Vieira, especialista em recursos hídricos da ANA, a qualidade da água é insuficientemente monitorada, o que impede uma avaliação precisa da situação no país. Dessa forma, torna-se essencial implementar ações de monitoramento em ecossistemas aquáticos para garantir sua proteção e restauração.

A equipe ERA2-D2 desenvolveu uma plataforma de monitoramento da água que visa melhorar diversos aspectos, como a mitigação de riscos à saúde pública, a redução da degradação ambiental, a preservação dos recursos hídricos,

a minimização de problemas econômicos e a melhoria da qualidade de vida. A plataforma é uma solução altamente viável e acessível, podendo ser adotada por indivíduos, comunidades, empresas e instituições para o monitoramento eficiente de sistemas de água.

Além disso, a plataforma desempenha um papel essencial na conscientização da população sobre a qualidade da água. Considerando que a poluição dos ecossistemas aquáticos é um desafio global, essa conscientização é fundamental para fomentar a cooperação entre países e setores da sociedade. Informar as pessoas cria uma base de apoio para a implementação de ações coordenadas em níveis local, nacional e internacional. Isso capacita as pessoas a tomarem decisões informadas em suas vidas cotidianas, como o descarte adequado de lixo, melhorias no saneamento, apoio a políticas sustentáveis e outras ações. Além disso, a conscientização pública pode exercer pressão sobre governos e empresas, incentivando políticas e práticas mais sustentáveis.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Uso Hídricos

A água consiste em um recurso natural finito e essencial à vida, como componente bioquímico de todos os seres vivos, como meio de vida de várias espécies, como elemento representativo de valores sociais e culturais, além de importante fator de produção no desenvolvimento de diversas atividades econômicas. (Santin, 2013,p.201)

A água é crucial para diversas atividades humanas e setores, como o abastecimento doméstico, a indústria, a agricultura e a pecuária. Ela também é essencial para a aquicultura e a geração de energia em usinas hidrelétricas. Além disso, é utilizada na diluição e transporte de despejos, ajudando a minimizar o impacto ambiental. Portanto, a gestão eficaz e sustentável dos recursos hídricos é vital para atender às necessidades humanas e proteger esses recursos para o futuro.

Com o avanço da urbanização e da industrialização, a disparidade entre o aumento da demanda e a escassez de água tem se agravado, tornando o desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos uma questão global urgente. Estima-se que a demanda global por água aumentará em 30% até 2050, chegando a cerca de 6.000 km³ por ano, o que agrava ainda mais o equilíbrio entre oferta e demanda de água (Burek et al., 2016; Ali et al., 2017).

No Brasil, a situação da disponibilidade hídrica já é crítica. O número de pessoas afetadas pela seca aumentou drasticamente nos últimos anos, com o racionamento de água se tornando comum em várias regiões do país (ANA, 2018). A Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) destaca que uma parte significativa do desperdício de água está relacionada às perdas na distribuição, que chegam a cerca de 40% do total de água tratada no Brasil.

Nesse contexto de crescente demanda, a Tabela 2.1 apresenta o consumo médio anual de água nas regiões do Brasil, e as Figuras 2.1 e 2.2 mostram a distribuição por tipo de uso consuntivo e por região. É possível observar que o consumo de água tem aumentado a cada ano.

Em 2019, cada habitante consumiu, em média, 153,9 litros de água por dia,

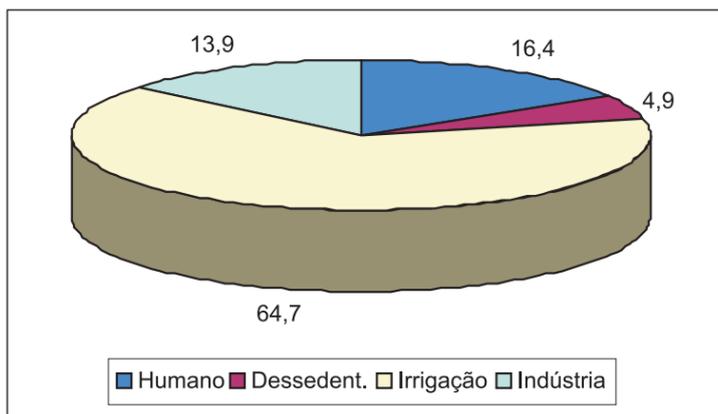
sendo que o ano de 2012 registrou a maior média, com 167,5 litros diários. A região Sudeste apresentou o maior consumo médio per capita, com destaque também para as regiões Norte e Nordeste. Mesmo com a crise hídrica de 2015, o consumo de 176 litros por habitante ultrapassou os maiores indicadores registrados em todas as regiões, como mostrado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Consumo médio per capita.

| | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Região Norte ¹ | 143.5 | 151.2 | 155.8 | 155.8 | 154.2 | 154.3 | 154.5 | 132.3 | 131.8 | 129.1 |
| Região Nordeste ¹ | 117.3 | 120.6 | 131.2 | 125.8 | 118.9 | 116.1 | 112.5 | 113.6 | 115.4 | 120.6 |
| Região Sudeste ¹ | 185.9 | 189.7 | 194.8 | 194.0 | 187.9 | 176.0 | 179.7 | 180.3 | 182.6 | 177.4 |
| Região Sul ¹ | 145.4 | 147.9 | 149.3 | 149.9 | 153.6 | 148.7 | 144.2 | 145.2 | 146.1 | 146.4 |
| Região Centro-Oeste ¹ | 154.9 | 157.5 | 156.5 | 160.7 | 158.8 | 148.8 | 148.5 | 146.1 | 144.9 | 147.8 |
| Brasil ¹ | 159.0 | 162.6 | 167.5 | 166.3 | 162.0 | 154.0 | 154.1 | 153.6 | 154.9 | 153.9 |
| População Amostrada ² | 156.9 | 157.9 | 160.3 | 165.7 | 167.9 | 168.9 | 170.9 | 172.1 | 173.2 | 174.7 |

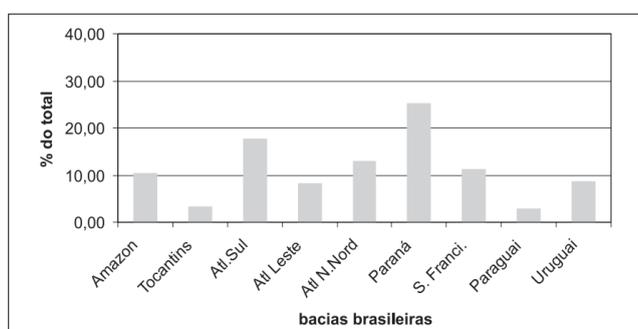
Fonte: SNIS, 2021.

Figura 2.1 - Distribuição de água por tipo de consumo.



Fonte: Organização das Nações Unidas, para Agricultura e Alimentação.

Figura 2.2 - Distribuição da demanda por água por grandeza.



Fonte: FGV, 1998.

Ademais, devido à importância da água para diversos aspectos, como sua

função como insumo produtivo, sua contribuição para a paisagem, seu papel em processos biogeoquímicos e sua essencialidade para a vida humana, os recursos hídricos são empregados para uma variedade de finalidades. Isso inclui a extração de água dos corpos hídricos, o que pode resultar na diminuição de sua quantidade e na degradação da qualidade da água devido aos usos subsequentes da água. Em contraste, os usos não consuntivos envolvem a utilização da água sem a necessidade de removê-la de seus corpos hídricos, ou seja, a água é utilizada in situ, sem causar alterações significativas em seu volume ou qualidade.

À medida que os centros urbanos e as atividades agrícolas se expandem, o consumo de água aumenta, o que também leva a uma maior geração de efluentes, como esgotos domésticos e industriais, graxas, águas contaminadas com defensivos químicos, rações e antibióticos para aquicultura, e partículas em suspensão, entre outros poluentes que afetam a qualidade da água. Portanto, há uma relação direta entre o uso da água e a necessidade de manter a qualidade da água para atender a essas demandas.

Diante desse cenário, é fundamental reforçar o monitoramento ambiental da água e investir em infraestrutura de saneamento básico. Uma abordagem holística e políticas eficazes são essenciais para enfrentar os desafios do uso da água e garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos para as gerações futuras.

2.2 Qualidade da água

A disponibilidade de recursos hídricos é fundamental tanto para o desenvolvimento socioeconômico quanto ambiental de qualquer nação. Em países em desenvolvimento, especialmente, tem havido crescentes desafios na oferta de serviços de água, agravados pelo crescimento populacional, melhoria nos padrões de vida, urbanização e condições climáticas variáveis. Dessa forma, a água é essencial para a vida; no entanto, tão crucial quanto sua disponibilidade é a sua qualidade, que define sua adequação para consumo e proteção ambiental.

De modo geral, a qualidade da água é definida por sua composição física, química, biológica e radioativa, e pelos efeitos que seus constituintes podem causar ao ambiente. Certos usos da água, considerados críticos, exigem rigoroso controle de qualidade. Além disso, os padrões de qualidade variam significativamente conforme o uso, seja para consumo humano, indústria ou irrigação. No Brasil, as

normas de qualidade da água para consumo humano são regidas pelo Ministério da Saúde, conforme a Portaria nº 518, de 25 de março de 2004 (Brasil, 2004).

Os usos não consuntivos, aqueles que não implicam em consumo ou transformação da água de forma que ela se torne imprópria para outros usos ou precise ser substituída, não exigem padrões rígidos de qualidade, embora seja necessário manter um mínimo aceitável de qualidade e características estéticas, especialmente no que diz respeito à função paisagística. Esses usos estão associados a atividades como recreação e lazer, transporte, navegação e descarte de resíduos. Por outro lado, os usos consuntivos requerem padrões mais elevados de qualidade da água, pois incluem abastecimento público e industrial, práticas agroindustriais, dessedentação de animais e, o mais nobre de todos os usos, o consumo humano.

A qualidade da água em cursos hídricos é fundamental para a saúde ambiental e humana. A poluição, causada por efluentes industriais, esgoto doméstico, produtos químicos e resíduos sólidos, afeta diretamente essa qualidade. Contaminantes introduzidos nos corpos d'água podem alterar a composição química, reduzir a quantidade de oxigênio disponível e aumentar a carga de nutrientes, levando a problemas como a eutrofização e a morte de organismos aquáticos.

A poluição dos ambientes aquáticos tem se tornado um problema frequente, especialmente pelas suas consequências mais evidentes, tais como a escassez de fontes limpas para abastecimento e a mortalidade dos organismos (Queiroz et al. 2008).

A contaminação desses recursos hídricos resulta de atividades industriais, urbanas, agrícolas e domésticas, que introduzem substâncias nocivas como produtos químicos, metais pesados, nutrientes em excesso e resíduos orgânicos. Esses poluentes têm impactos diretos na qualidade da água, afetando não apenas a saúde dos ecossistemas aquáticos, mas também a saúde humana e a economia. Atualmente, resíduos de pesticidas são frequentemente encontrados em amostras de água potável, como observa o oceanólogo Mathias Alberto Schramm, doutor em Ciência dos Alimentos e professor do Câmpus Itajaí.

A escassez de fontes limpas para abastecimento é uma das consequências mais visíveis da poluição hídrica. A água doce potável é um recurso finito e

essencial para a vida humana, sendo a poluição uma das principais ameaças à sua disponibilidade. A contaminação torna necessários investimentos significativos em tratamento de água, especialmente em países e regiões onde as infraestruturas são inadequadas para lidar com níveis crescentes de poluição. Além disso, a mortalidade dos organismos aquáticos evidencia os impactos ecológicos da poluição. Ecossistemas aquáticos complexos são habitados por uma vasta diversidade de seres vivos, todos interligados em uma teia de relações. A introdução de poluentes pode levar à diminuição das populações de peixes, anfíbios, aves aquáticas e outros organismos, desestabilizando os ecossistemas e comprometendo serviços ambientais essenciais, como a regulação do clima e a purificação da água.

Apesar da influência dos fatores naturais na qualidade da água, como o escoamento e a infiltração de partículas e impurezas do solo, a principal fonte de contaminação é a ação humana. A forma como o homem utiliza e ocupa o solo tem um impacto direto e significativo na qualidade dos recursos hídricos. A ação antrópica é a principal responsável pela deterioração da qualidade da água de fontes alternativas (nascentes, córregos e poços) de captação de água para o abastecimento público. As práticas agrícolas com a utilização indiscriminada de agrotóxicos (VEIGA et al., 2006), o lançamento de efluentes urbanos (PEREIRA, 2004), a supressão da mata ciliar (PINTO; ROMA; BALIEIRO, 2012) e a falta de conservação do solo (MERTEN; MINELLA, 2002) influenciam diretamente na qualidade dessas fontes de água.

Além das fontes de poluição que podem ser facilmente identificadas, onde é possível estabelecer medidas de controle, há também as fontes difusas de poluição, cuja origem não é explicitamente identificável. Essas ocorrem em extensas áreas e, associadas à chuva, chegam aos corpos de água de forma intermitente. A poluição difusa tem sido considerada uma das principais fontes de deterioração da qualidade de águas naturais superficiais e subterrâneas. Atualmente, países com elevados índices de tratamento de esgotos enfrentam desafios relacionados à poluição difusa de águas. Nos Estados Unidos, por exemplo, a ocorrência de fontes difusas é, há tempos, o principal motivo pelo qual muitos rios, lagos e estuários não estão limpos o suficiente para pesca e recreação (USEPA, 1996). Assim, se observa a gravidade do problema ao ver que certas

origens de contaminação da água sequer são reconhecidas, tornando a solução do problema inviável.

Nesse sentido, além da gestão eficaz dos recursos hídricos, o monitoramento contínuo da qualidade da água tem permitido um foco renovado em cursos d'água severamente poluídos, representando um avanço crucial no controle de perdas nas redes de distribuição. A utilização crescente de técnicas estatísticas tem se destacado nesse cenário devido à sua aplicação simplificada e capacidade de interpretação dos dados em tempo real (JUNG e LANSEY, 2015; BORGES et al., 2017; AHN e JUNG, 2019).

2.3 Saneamento inadequado

Assegurar a gestão sustentável da água e saneamento para todos, conforme objetivado pelo ODS 6, é um desafio caracterizado por grande complexidade; envolve a necessidade de articular vários setores governamentais e não governamentais atuando em múltiplos níveis, de conciliar diversos interesses e motivações, colocando a questão da efetividade da governança no topo da agenda política. OECD (2011, p. 17)

O saneamento inadequado tem consequências graves e multifacetadas. Ele não só expõe as comunidades a riscos de saúde, como também contribui significativamente para a poluição das águas superficiais e dos aquíferos. De acordo com o Atlas do Esgoto (2017) da Agência Nacional de Águas (ANA), mais de 110 mil quilômetros de rios no Brasil estão contaminados devido ao contato direto com esgoto não tratado.

O lançamento indiscriminado de esgotos sem tratamento nos corpos d'água pode causar vários problemas, tais como a depleção do oxigênio dissolvido no meio, a formação de bancos de lama, o aumento do nível de nutrientes (especialmente nitrogênio e fósforo, que promovem o perigo de eutrofização), alterações na biota aquática, e o aporte de microorganismos patogênicos, incluindo bactérias, vírus e protozoários, responsáveis pela transmissão de diversas doenças (MARTINIANO, 2011, p.26).

Tundisi e Matsumura-Tundisi (2008) enfatizam o aumento da eutrofização dos ecossistemas aquáticos continentais como consequência de atividades como

a descarga de esgotos domésticos não tratados e descargas industriais e agrícolas. A constituição e a concentração dos esgotos sanitários dependem, entre outros fatores, dos costumes socioeconômicos da população, do clima e também da quantidade e tipo de indústria existente na região. Em locais com baixo consumo per capita de água, normalmente se tem esgotos mais concentrados (Von Sperling, 2005).

Cerca de 99,9% da composição dos esgotos é água, e apenas 0,1% é matéria sólida, composta por duas frações: a inorgânica e a orgânica. A fração inorgânica é composta principalmente de areia, sais e metais, enquanto a fração orgânica é composta por carboidratos, lipídios e proteínas (Callado, 2001).

Tabela 2.2 - Composição Típica de esgotos

Capítulo 3 - Características dos esgotos

TABELA 3.1 - Composição Típica de esgoto sanitário

| PARÂMETRO | Unidade | CONCENTRAÇÃO | | |
|--|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | | FORTE | MÉDIO | FRACO |
| Sólidos Totais | mg/l | 1200 | 720 | 350 |
| Sól. Dissolvidos Totais | mg/l | 850 | 500 | 250 |
| Sól. Dissolvidos Fixos | mg/l | 525 | 300 | 145 |
| Sól. Dissolvidos Voláteis | mg/l | 323 | 200 | 105 |
| Sól. Suspensos | mg/l | 350 | 220 | 100 |
| Sól. Suspensos Fixos | mg/l | 75 | 55 | 20 |
| Sól. Suspensos Voláteis | mg/l | 275 | 165 | 80 |
| Sól. Sedimentáveis | ml/l | 20 | 10 | 5 |
| Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO _{5dias/20°C} | mg/l | 400 | 220 | 110 |
| Carbono Orgânico Total | mg/l | 290 | 160 | 80 |
| Demanda Química de Oxigênio - DQO | mg/l | 1000 | 500 | 250 |
| Nitrogênio Total | mg/l | 85 | 40 | 20 |
| Nitrogênio Orgânico | mg/l | 35 | 15 | 8 |
| Nitrogênio Amoniacal | mg/l | 50 | 25 | 12 |
| Nitritos | mg/l | 0 | 0 | 0 |
| Nitratos | mg/l | 0 | 0 | 0 |
| Fósforo Total | mg/l | 15 | 8 | 4 |
| Fósforo Orgânico | mg/l | 5 | 3 | 1 |
| Fósforo Inorgânico | mg/l | 10 | 5 | 3 |
| Cloretos | mg/l | 100 | 50 | 30 |
| Sulfatos | mg/l | 50 | 30 | 20 |
| Alcalinidade em CaCO ₃ | mg/l | 200 | 100 | 50 |
| Graxa | mg/l | 150 | 100 | 50 |
| Coliformes Totais | NMP/100ml | 10 ⁷ a 10 ⁹ | 10 ⁷ a 10 ⁸ | 10 ⁶ a 10 ⁷ |
| Compostos Orgânicos Voláteis | µg/l | > 400 | 100 a 400 | < 100 |

FONTE : METCALF & EDDY (1991), p.109.

De acordo com a Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura (Unesco), hoje no mundo mais de 80% das águas residuais retornam ao meio ambiente sem tratamento (WWAP, 2019).

Observa-se um descompasso entre o crescimento urbano acelerado, com

a expansão das favelas e dos bairros de periferia, e a morosidade na implantação de infraestrutura de tratamento de água e saneamento, além da quase omissão de estratégias para reduzir o uso da água. O processo de urbanização no Brasil foi desigual, com grandes disparidades entre classes sociais e regiões. Conseqüentemente, os estados brasileiros apresentam desigualdades significativas em relação ao saneamento básico. Isso tem gerado problemas nas cidades, como informalidade na habitação e na infraestrutura de saneamento. Cerca de 1/4 da população brasileira (24,3%), ou aproximadamente 49 milhões de pessoas, continua sem acesso a uma estrutura adequada de saneamento básico (IBGE, 2022).

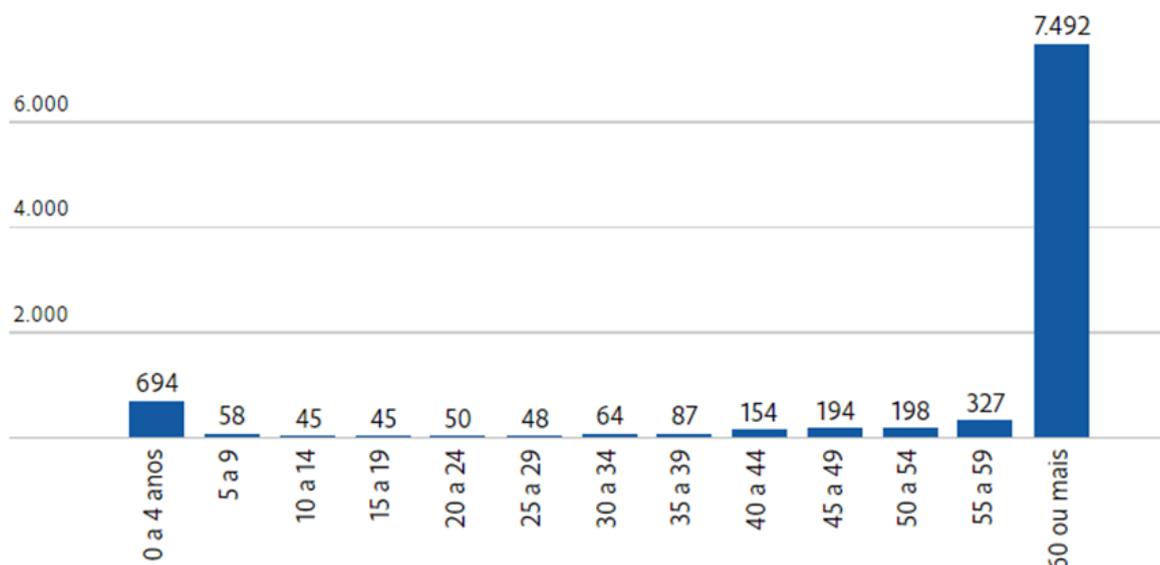
Em 2007, foi sancionada a Lei Nacional de Saneamento Básico (Lei nº 11.445), que estabelece que os serviços públicos de saneamento básico devem ser prestados com base em princípios fundamentais, com destaque para a universalização do acesso. A lei aborda as especificidades de cada serviço de saneamento, conforme definido na legislação: abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. No entanto, a lei trata dessas questões sob a perspectiva da integralidade, aplicando-se ao saneamento básico e à integração desses serviços com outras políticas públicas diretamente relacionadas (BRASIL, 2009).

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2007), aproximadamente 233 mil pessoas morriam anualmente no Brasil devido à exposição a fatores de risco ambiental, como poluição do ar, água não tratada e falta de infraestrutura urbana, sendo que 19% dessas mortes poderiam ser evitadas com a implementação de políticas públicas eficazes. A pesquisa indicou que a poluição do ar causava a morte de 12,9 mil pessoas por ano. Ademais, com 22% da população vivendo abaixo da linha da pobreza, a ausência de água tratada e esgotamento sanitário resultava na morte de 15 mil brasileiros anualmente. Assim, a qualidade da água é um fator crucial para um saneamento adequado. No entanto, o monitoramento das águas consumidas por muitos brasileiros continua tão inadequado quanto o tratamento desses recursos hídricos. Isso é evidente na Figura 2.3, que mostra um total de 9.463 óbitos atribuídos a fontes de água inseguras, saneamento inseguro e falta de higiene nos últimos anos (IBGE, 2022).

Figura 2.3 - Mortes atribuídas a saneamento inseguro e falta de higiene.

Mortes atribuídas a saneamento inseguro e falta de higiene

Número de óbitos por faixa etária no Brasil, em 2022



Fonte: IBGE, 2022.

A ausência de saneamento básico não só expõe as comunidades a sérios riscos de saúde, mas também provoca a poluição das águas superficiais e dos aquíferos, comprometendo a qualidade da água disponível em meio à crescente demanda. Para mitigar esses impactos, é essencial envolver a sociedade em todos os níveis de decisão sobre recursos hídricos e saneamento, garantindo a participação de comunidades tradicionais e vulneráveis, bem como de diversos setores sociais comprometidos com a preservação ambiental.

Para enfrentar os desafios do saneamento inadequado e melhorar a qualidade dos recursos hídricos, é fundamental implementar políticas eficazes e promover uma governança robusta. Melhorar o monitoramento das águas e expandir a supervisão com tecnologias de baixo custo pode ajudar a abordar as lacunas existentes e garantir um futuro sustentável e saudável.

Nesse contexto, nossa plataforma se destaca como uma solução promissora para regiões carentes de tais recursos. Com seu baixo custo e simplicidade de análise, é possível expandir a supervisão de recursos hídricos para inúmeros cursos d'água.

2.4 Alterações no ciclo hidrológico

De acordo com Tundisi (2003), outro fator que agrava a situação dos recursos hídricos no mundo é a interferência antrópica no ciclo hidrológico, o que pode diminuir a vazão de água em alguns países em até 70%. As principais atividades humanas que interferem no ciclo hidrológico incluem a construção de reservatórios, que altera o fluxo natural dos rios; o uso excessivo de águas subterrâneas, que reduz os níveis aquíferos; e a importação e transposição de água entre bacias hidrográficas, que desequilibram os ecossistemas locais. O consumo de água nas atividades humanas varia significativamente entre diversas regiões e países.

Os assentamentos humanos têm desempenhado um papel significativo na alteração do ambiente desde o início da ocupação geográfica. Atualmente, as cidades são uma das formas mais agressivas de modificação do ambiente natural, causando uma série de impactos, como a impermeabilização do solo, o aumento do escoamento superficial e a alteração dos padrões de drenagem. Esses impactos resultam em inundações, assoreamento e erosão, com destaque para mudanças no ciclo hidrológico e nas características naturais de drenagem (Tucci, 2002; Guerra e Mendonça, 2010).

Um dos temas mais debatidos atualmente em diversos níveis é a gestão dos recursos hídricos, especialmente em áreas urbanas, onde são propensas ao desencadeamento de processos de degradação ambiental. Nesse sentido, Oliveira e Herrmann (2006, p. 190) enfatizam que "as cidades hoje são o maior exemplo de degradação ambiental, colocando em risco a segurança e qualidade de vida de sua população, sendo palco de conflitos ecológicos." Portanto, o estudo das bacias hidrográficas como unidades fundamentais de análise ambiental, juntamente com os componentes do sistema hidrológico e seus processos, pode fornecer conclusões sobre a qualidade ambiental do espaço em questão e os efeitos da intervenção humana (Botelho e Silva, 2010).

Nesse cenário, a hidrologia urbana apresenta características distintas em comparação com áreas rurais e florestais, devido à intensidade da ocupação humana e aos níveis de alteração ambiental. Botelho e Silva (2010) destacam que o processo de urbanização, frequentemente sem planejamento adequado, trouxe

complexidades significativas para a gestão das águas urbanas. Segundo Tucci (2003a, p. 12), o ciclo hidrológico natural envolve uma complexa interação de processos físicos, químicos e biológicos. Quando o ser humano interfere nesse sistema ao ocupar o espaço, provoca alterações profundas que podem modificar drasticamente o ciclo, resultando em impactos significativos, muitas vezes irreversíveis, tanto para o homem quanto para o meio ambiente.

Desse modo, torna-se essencial conscientizar a sociedade sobre o ciclo hidrológico. Nossa plataforma, por meio de gráficos e estatísticas em tempo real, mostra a qualidade decadente da água em rios ou cursos d'água específicos. Isso possibilita uma atenção especial ao ecossistema observado e permite que a sociedade tome ações fundamentadas na consciência ambiental gerada pelas informações divulgadas pela plataforma, em parceria com o governo, para melhorar o estado das águas em uma determinada região e assim combater futuras alterações no ciclo hidrológico.

3. METODOLOGIA

A partir de um estudo realizado em 1970 pela "National Sanitation Foundation" dos Estados Unidos, a CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) adaptou e desenvolveu o Índice de Qualidade das Águas (IQA), que incorpora nove variáveis consideradas relevantes para a avaliação da qualidade das águas, tendo como principal finalidade sua utilização para abastecimento público. Assim, utilizaremos esses parâmetros e princípios do IQA para embasar nossa tecnologia.

A qualidade das águas brutas, indicada pelo IQA, pode ser determinada por meio de um cálculo específico, resultando em uma escala que varia de 0 a 100, conforme representado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Classificação do IQA

| Classificação do IQA - CETESB | |
|-------------------------------|----------------------------|
| Categoria | Ponderação |
| ÓTIMA | $79 < \text{IQA} \leq 100$ |
| BOA | $51 < \text{IQA} \leq 79$ |
| REGULAR | $36 < \text{IQA} \leq 51$ |
| RUIM | $19 < \text{IQA} \leq 36$ |
| PÉSSIMA | $\text{IQA} \leq 19$ |

Fonte: CETESB

O Índice de Qualidade das Águas (IQA) é o principal indicador qualitativo utilizado no Brasil. Ele foi desenvolvido para avaliar a qualidade da água destinada ao abastecimento público, após tratamento convencional. A interpretação dos resultados deve considerar esse uso da água. Por exemplo, um valor baixo de IQA indica má qualidade para abastecimento, mas essa água pode ainda ser adequada para usos menos exigentes, como navegação ou geração de energia.

O IQA é composto por nove parâmetros (ver descrição dos parâmetros do IQA), com seus respectivos pesos (w), que foram fixados em função da sua importância para a conformação global da qualidade da água (Tabela abaixo).

Tabela 3.2 - Parâmetros de Qualidade da Água do IQA e respectivo peso.

| PARÂMETRO DE QUALIDADE DA ÁGUA | PESO (w) |
|--|----------|
| Oxigênio dissolvido | 0,17 |
| Coliformes termotolerantes | 0,15 |
| Potencial hidrogeniônico - pH | 0,12 |
| Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO5,20 | 0,10 |
| Temperatura da água | 0,10 |
| Nitrogênio total | 0,10 |
| Fósforo total | 0,10 |
| Turbidez | 0,08 |
| Resíduo total | 0,08 |

Fonte: CETESB

3.1 Descrição dos Parâmetros do IQA

O IQA é calculado com base nos seguintes parâmetros: temperatura da água, pH, oxigênio dissolvido, resíduo total, demanda bioquímica de oxigênio, coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total e turbidez. Nesse contexto, a equipe ERA2-D2, ao definir os parâmetros a serem monitorados pela plataforma

desenvolvida, considerou os fatores mais relevantes para uma avaliação concreta da poluição em cursos d'água, bem como a facilidade de realizar medições simples e não complexas. Com base na acessibilidade e relevância, foram selecionadas cinco variáveis essenciais: pH, oxigênio dissolvido, condutividade, temperatura e turbidez.

a) Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido é vital para a preservação da vida aquática, já que vários organismos, como peixes, necessitam de oxigênio para respirar. Águas poluídas por esgotos apresentam baixa concentração de oxigênio dissolvido, pois ele é consumido no processo de decomposição da matéria orgânica. Por outro lado, águas limpas apresentam concentrações mais elevadas, geralmente superiores a 5 mg/L, exceto em condições naturais que possam reduzir esses valores. Águas eutrofizadas (ricas em nutrientes) podem apresentar concentrações superiores a 10 mg/L em uma situação conhecida como supersaturação, comum em lagos e represas com crescimento excessivo de algas. Durante o dia, a fotossíntese aumenta os níveis de oxigênio, mas à noite, a respiração dos organismos pode diminuir consideravelmente esses níveis, causando mortandade de peixes.

Para avaliar esse fator, foi selecionado o sensor de oxigênio dissolvido DO9100, um medidor digital portátil com escala de 0,0-30 mg/L. No entanto, devido ao seu alto custo, ele ainda não foi adquirido, estando apenas na proposta da plataforma para possível aquisição em fases futuras.

Figura 3.1 - sensor de OD Do9100.

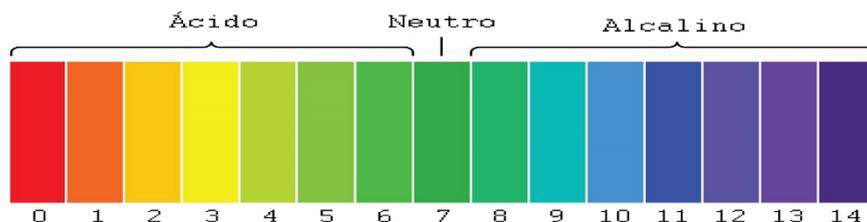


Fonte: Elaborada pelos autores.

b) Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH é uma unidade de medida que quantifica a alcalinidade ou acidez de uma solução, indicando a concentração de íons de hidrogênio nela contidos. A escala de pH varia de 0 a 14. Um pH de valor igual a 7 é considerado um líquido neutro, uma vez que a água tende a um valor próximo a isso, já valores entre 1 e 6 são considerados líquidos ácidos e valores de pH entre 8 e 14 são considerados líquidos alcalinos, assim como podemos observar na Figura abaixo:

Figura 3.2 - Índice de pH conforme valor de referência.



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. 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.

O Sensor pH - Módulo De Leitura pH-4502c + Eletrodo Sonda Bnc foi adquirido para a detecção de valor para arduino, medidor e monitoramento de pH líquido 0-14, além do seu módulo de controle de monitoramento.

Figura 3.3 - Sensor pH - Módulo De Leitura pH-4502c + Eletrodo Sonda Bnc.



Fonte: Elaborada pelos autores.

c) Temperatura da água

A temperatura influencia vários parâmetros físico-químicos da água, como a tensão superficial e a viscosidade. Organismos aquáticos são afetados por temperaturas fora de seus limites de tolerância, o que pode impactar 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 impactos significativos. Para avaliar a temperatura, foi adquirido o sensor DS18B20.

Figura 3.4 - Sensor DS18B20.



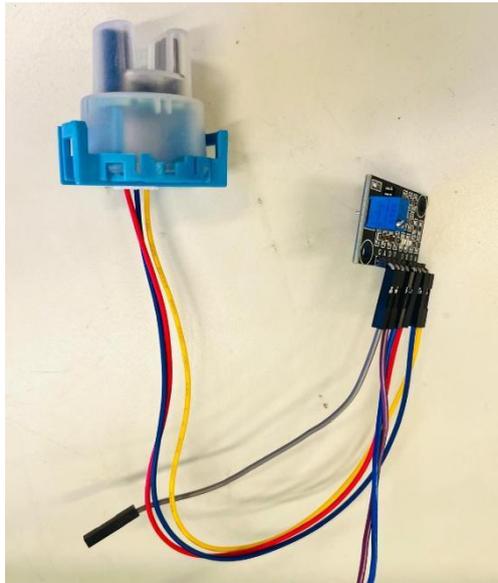
Fonte: Elaborada pelos autores.

d) Turbidez

A turbidez mede o grau de atenuação que um feixe de luz sofre ao atravessar a água, refletindo a quantidade de partículas em suspensão, como silte, areia, argila, algas e detritos. Esse fenômeno afeta negativamente a preservação de organismos aquáticos, o uso industrial e as atividades recreativas, além de aumentar os custos de tratamento de água devido à necessidade de mais produtos químicos, como coagulantes.

No Brasil, a Portaria GM/MS Nº 888 de 2021 estabelece limites específicos de turbidez para água potável: 0,5 UT para filtração rápida, 1,0 UT para filtração lenta e 5,0 UT para água na rede de distribuição. Um sensor de turbidez compatível com Arduino foi adquirido para monitorar essas condições em projetos específicos.

Figura 3.5 - Sensor de turbidez.



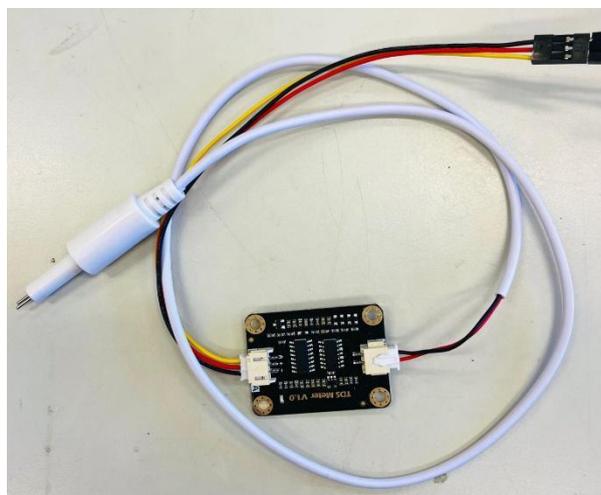
Fonte: Elaborada pelos autores.

e) Condutividade

A condutividade da água é uma medida do fluxo de elétrons o qual é facilitado pela presença de íons. Como existe uma relação proporcional entre o teor de sais dissolvidos e a condutividade elétrica, esse parâmetro possibilita a estimativa da quantidade de sais na água. Sendo uma variável de extrema importância, pois influencia diretamente na pureza da água e pode comprometer a sua utilização.

O sensor de condutividade de água para Arduino avalia a capacidade que uma solução tem de conduzir uma corrente elétrica.

Figura 3.6 - Sensor de condutividade.



Fonte: Elaborada pelos autores.

A partir da plataforma podemos medir certos parâmetros significativos ao avaliarmos os desdobramentos da poluição de cursos d'água. Alguns deles:

f) Coliformes termotolerantes

As bactérias coliformes termotolerantes ocorrem no trato intestinal de animais de sangue quente e são indicadoras de poluição por esgotos domésticos. Elas não são patogênicas (não causam doenças) mas sua presença em grandes números indicam a possibilidade da existência de microorganismos patogênicos que são responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica (ex: disenteria bacilar, febre tifoide, cólera).

g) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_{5,20})

A Demanda Bioquímica de Oxigênio representa a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica presente na água através da decomposição microbiana aeróbia. A DBO_{5,20} é a quantidade de oxigênio consumido durante 5 dias em uma temperatura de 20°C.

Valores altos de DBO_{5,20}, num corpo d'água são provocados geralmente causados pelo lançamento de cargas orgânicas, principalmente esgotos domésticos. A ocorrência de altos valores deste parâmetro causa uma diminuição dos valores de oxigênio dissolvido na água, o que pode provocar mortandades de peixes e eliminação de outros organismos aquáticos.

h) Nitrogênio Total

O nitrogênio em corpos d'água pode existir como nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato, sendo os nitratos tóxicos para humanos, especialmente crianças, podendo causar a doença metahemoglobinemia. O excesso de compostos de nitrogênio, junto com fósforo, leva à eutrofização, um crescimento excessivo de algas que impacta o abastecimento de água, a recreação e a vida aquática. As principais fontes de nitrogênio incluem esgotos, efluentes industriais, fertilizantes agrícolas, drenagem urbana, fixação biológica por algas e bactérias, e deposição atmosférica via chuva.

i) Fósforo Total

Do mesmo modo que o nitrogênio, o fósforo é um importante nutriente para

os processos biológicos e seu excesso pode causar a eutrofização das águas. Entre as fontes de fósforo destacam-se os esgotos domésticos, pela presença dos detergentes superfosfatados e da própria matéria fecal. A drenagem pluvial de áreas agrícolas e urbanas também é uma fonte significativa de fósforo para os corpos d'água. Entre os efluentes industriais destacam-se os das indústrias de fertilizantes, alimentícias, laticínios, frigoríficos e abatedouros, que resultam em um impacto significativo nos corpos d'água.

j) Resíduo Total

O resíduo total é a matéria que permanece após a evaporação, secagem ou calcinação da amostra de água durante um determinado tempo e temperatura.

Quando os resíduos sólidos se depositam nos leitos dos corpos d'água podem causar seu assoreamento, que gera problemas para a navegação e pode aumentar o risco de enchentes. Além disso, podem causar danos à vida aquática pois ao se depositarem no leito eles destroem os organismos que vivem nos sedimentos e servem de alimento para outros organismos, além de danificar os locais de desova de peixes.

3.2 Desenvolvimento da plataforma

Nesta fase, foi desenvolvido o código para a programação dos sensores a partir do uso do software de programação do Arduino IDE e da linguagem C + +.

a) Microcontrolador

No presente trabalho, utilizamos dois diferentes microcontroladores. Para a aquisição e o armazenamento dos dados, o Arduino MEGA 2560 foi escolhido pela sua fácil utilização e acessibilidade. Para a comunicação e transmissão dos dados coletados em tempo real utilizamos o ESP 32, um microcontrolador que pode ser acoplado ao Arduino ou funcionar como uma placa controladora independente. Neste projeto, o ESP32 será empregado exclusivamente para a comunicação via Wi-Fi ou Bluetooth, garantindo o envio das informações analisadas para a plataforma web.

b) Transmissão de dados

Para transmitir dados do Arduino a um endereço IP, foi utilizado o microcontrolador ESP 32 (Figura 3.7). Ele contém um processador dual-core de 32

bits, com frequência de até 240 MHz, e conta com módulos de comunicação Wi-Fi e Bluetooth integrados, o que permite a conexão com redes sem fio e dispositivos próximos sem a necessidade de componentes adicionais.

Figura 3.7 - Microcontrolador ESP32.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Além disso, o ESP32 possui várias entradas e saídas (GPIOs), ADCs (Conversores Analógico-Digital), DACs (Conversores Digital-Analógico), PWMs (Modulação por Largura de Pulso), e interfaces de comunicação como SPI, I2C, UART e I2S. A equipe escolheu utilizar este componente devido aos recursos citados acima, tornando o ESP 32 uma solução ideal para aplicações que exigem conectividade, processamento rápido e múltiplas interfaces de comunicação, assim como protótipo desenvolvido.

3.3 Ferramentas

a) Arduino IDE

A Arduino IDE (Integrated Development Environment) é a ferramenta oficial de desenvolvimento para programar placas Arduino e microcontroladores compatíveis, como o ESP32. Ela é fácil de usar e adequada tanto para iniciantes quanto para experientes. A IDE permite escrever e compilar código em C/C++, oferece bibliotecas prontas e exemplos, e possibilita carregar o código para a placa via USB, além de monitorar dados em tempo real. Devido a essas funcionalidades,

a equipe decidiu usar a Arduino IDE para desenvolver o código dos sensores e controladores.

b) Proteus

O Proteus é um software de simulação e design eletrônico que permite a criação, simulação e verificação de circuitos eletrônicos em um ambiente virtual. Ele é amplamente utilizado para testar circuitos e programas antes de implementá-los fisicamente. Nesse sentido, no seguinte trabalho, a ferramenta Proteus foi encarregada de realizar a simulação do protótipo, já que as bibliotecas do software possuem todos os componentes presentes na plataforma.

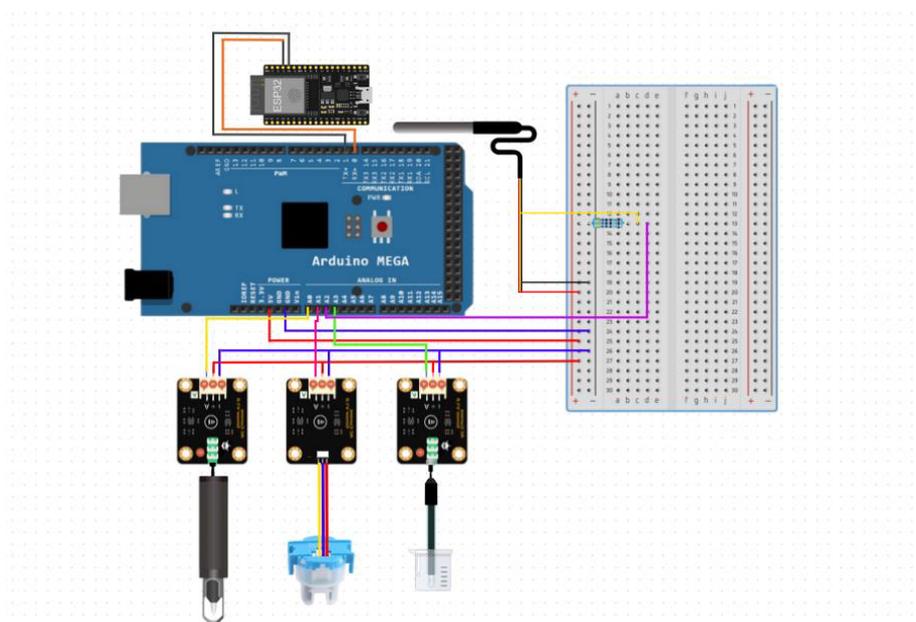
c) Fusion

A ferramenta Fusion é um software desenvolvido pela Autodesk, que se destaca por suas capacidades avançadas em modelagem, design e simulação. É amplamente utilizado em áreas como engenharia, design de produto e manufatura. Diante disso, no trabalho proposto, a equipe fez uso de tal ferramenta para desenvolver o design da estrutura qual o circuito da plataforma ficou acoplado, já que, para obter tal estrutura pela impressora 3D, foi preciso desenvolver antes um modelo que orientasse a máquina.

3.4 Simulação

A simulação do medidor proposto, ilustrado na (Figura 3.8), feita utilizando a ferramenta Proteus, destaca que a etapa de processamento das informações é realizada utilizando a plataforma de prototipagem Arduino. Diante disso, a coleta de dados é feita pelos sensores, que medem, respectivamente, o pH, a turbidez, a condutividade e a temperatura. Em seguida, os dados capturados são enviados, através dos pinos de comunicação serial, para o ESP 32, que transmite as informações para a plataforma web, onde são exibidas.

Figura 3.8 - Simulação da plataforma feita no software Proteus.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Antes de construir o circuito do projeto, foi essencial visualizar o que seria materializado. Por isso, a equipe desenvolveu uma simulação preliminar. Essa etapa permitiu adquirir um conhecimento aprofundado sobre os sensores e materiais utilizados, tornando o desenvolvimento da montagem do projeto real mais eficiente e preciso.

3.5 Construção do circuito eletrônico

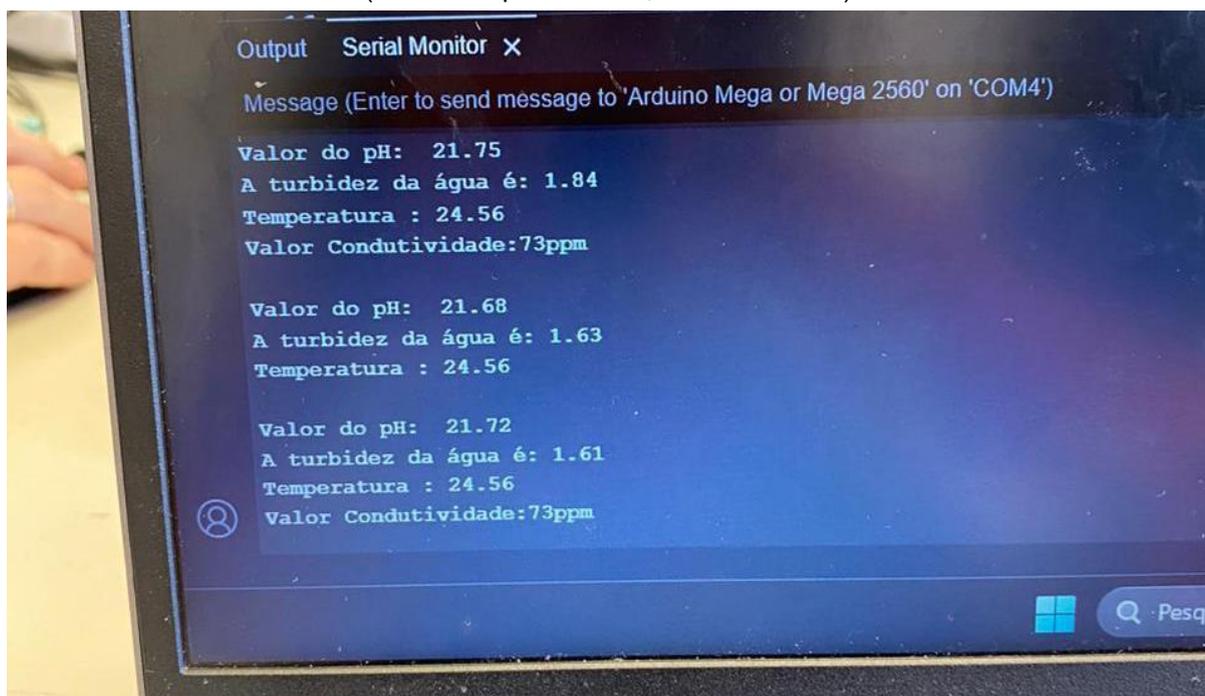
A plataforma foi construída com o objetivo de testar seu desempenho e resultados, a fim de validar a eficiência e confiabilidade do estudo proposto. Durante a etapa de construção do circuito, além dos itens já citados anteriormente, foi utilizado uma *protoboard*, placa de testes que permite montar circuitos eletrônicos de teste sem a necessidade de solda, e cabos jumpers fêmea e macho para conectar os sensores aos demais componentes do circuito.

Ao iniciar a montagem do circuito, surgiu um desafio relacionado ao uso do microcontrolador ESP 32 e dos sensores. Inicialmente, a ideia era realizar a comunicação das portas GPIO e ADC do ESP 32 para ler os dados dos sensores e, utilizando o protocolo UART, transmitir as informações ao site. No entanto, após

avaliar a complexidade dessa abordagem, foi identificada uma alternativa mais simples: utilizar o ESP 32 apenas para coletar as informações recebidas pelo Arduino e realizar a transmissão dos dados para a plataforma web. Nesse contexto, outro obstáculo surgiu durante a construção do protótipo, quando o sensor referente ao parâmetro de turbidez queimou. Diante da situação, a equipe foi confrontada com uma decisão difícil. A opção de substituir o sensor queimado era a mais adequada para garantir a funcionalidade ideal do protótipo. No entanto, devido a restrições orçamentárias e ao curto prazo até o torneio, a equipe teve que optar por uma solução alternativa, que consistiu em relatar no documento presente os resultados obtidos por tal sensor enquanto ele funcionava e aguardar que o projeto fosse encaminhado a etapa Nacional do campeonato para comprar novamente o componente estragado.

Sendo assim, durante o processo de teste dos sensores, o sensor de turbidez chegou a funcionar, medindo valores dentro do esperado, e apresentou informações válidas (Figura 3.9). Entretanto, durante o desenvolvimento da construção do circuito, tal componente acabou se degradando e passou a medir dados não condizentes com a expectativa da equipe (Figura 3.10). Após passar por tal desafio, a construção do circuito com os outros componentes ocorreu de maneira satisfatória, sem mais problemas.

Figura 3.9 - Monitor serial que apresentou informações válidas dos parâmetros de turbidez. (Sensor de pH em teste, valores fictícios).



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 3.10 - Monitor serial que apresentou informações inválidas dos parâmetros de turbidez.

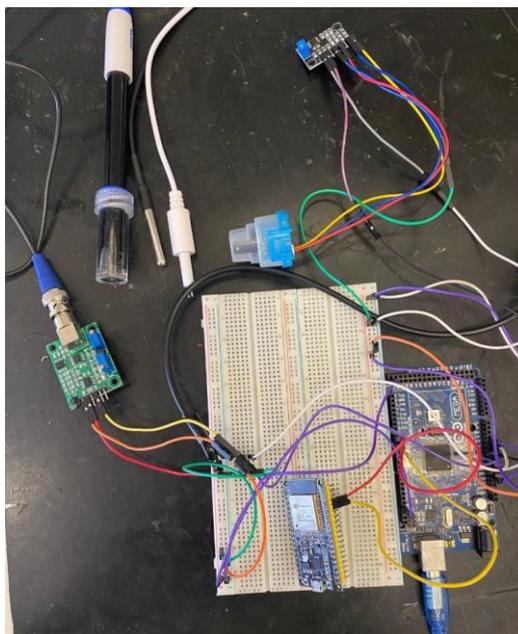
```
O PH é: 7.02
A turbidez da água é: -4.35
A temperatura é: 29.37
A condutividade é: 84ppm
```

Fonte: Elaborada pelos autores.

Para continuar a explicação da construção do projeto, é necessário contextualizar sobre os fios jumpers, que são utilizados nas ligações entre os sensores e as placas microcontroladoras, e normalmente são conectados a três tipos de pinos: os pinos de alimentação (VCC e GND), que fornecem energia aos sensores a partir de uma diferença de potencial, e o pino de sinal (SINAL), que é responsável por transmitir os dados coletados para o pino correspondente no Arduino. Essa configuração facilita a interligação dos diferentes componentes e dispositivos, além de ajudar na organização dos cabos necessários para a alimentação e troca de dados.

Após a montagem, os testes com os sensores foram realizados com sucesso, sem grandes dificuldades. Essa etapa do projeto foi concluída com êxito, demonstrando a eficiência e o funcionamento adequado do circuito desenvolvido.

Figura 3.11 - Circuito eletrônico completo.

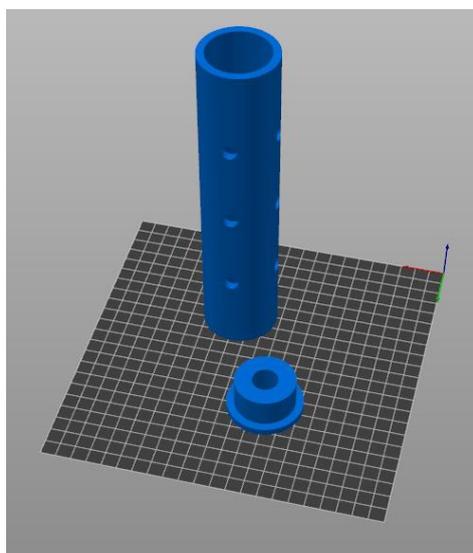


Fonte: Elaborada pelos autores.

3.6 Arquitetura da plataforma

Depois de estudar os componentes e montar o circuito, foi definido a estrutura da plataforma. Sendo assim, foi sistematizado que essa carcaça seria dividida em duas partes. Para o circuito eletrônico, com os microcontroladores e módulos, foi utilizado uma caixa feita em MDF, com o objetivo de proteger os componentes que não podem ter contato com a água. Enquanto os sensores foram acoplados em um modelo de impressão 3D projetado a partir da ferramenta fusion (Figura 3.12) , garantindo que fiquem imersos na água. A equipe optou por realizá-lo na impressora 3D, já que era uma máquina disponível no laboratório utilizado e ao construir a estrutura com tal ferramenta obtivemos resultados satisfatórios, como a resistència à água na área dos sensores, bom alcance de monitoramento e flexibilidade, além de ter uma boa qualidade

Figura 3.12 – Modelo 3D da plataforma desenvolvido pela equipe.

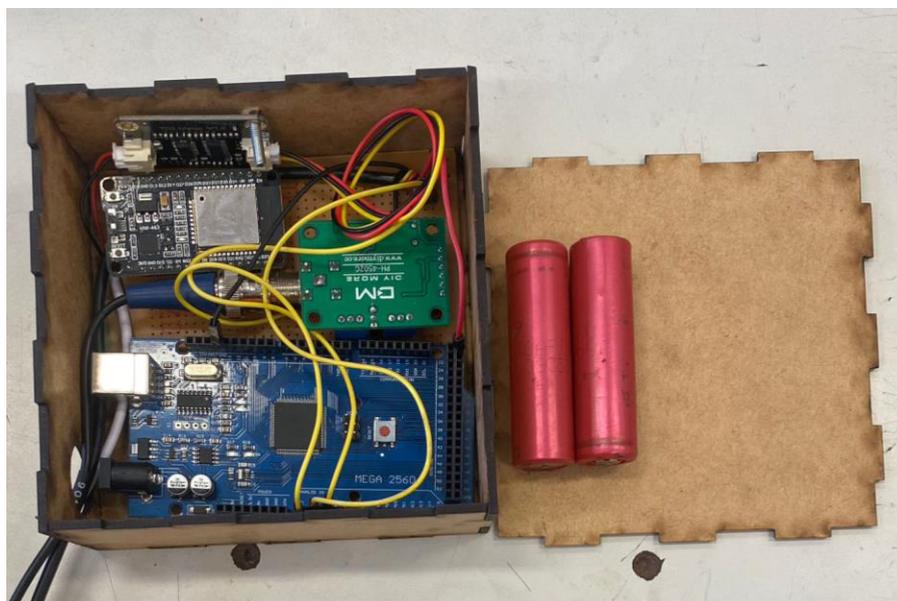


Fonte: Elaborada pelos autores

A partir dessa contextualização é preciso explicar como circuito eletrônico foi acoplado na caixa materializada em MDF. A equipe após realizar diversos testes e pesquisas, optou por fixar as placas e módulos do esquema elétrico em uma placa PCB (Printed Circuit Board). Essa decisão foi tomada devido a praticidade que placa de circuito impresso oferece, como a soldagem dos componentes e melhor organização eletrônica (Figura 3.13). Além disso, optamos por parafusar apenas o módulo do sensor de condutividade, que foi acoplado com dois parafusos de três

milímetros, enquanto os outros componentes foram soldados na placa de cobre com objetivo de compactar o protótipo.

Figura 3.13 – Esquema eletrônico da plataforma acoplado na caixa de MDF.



Fonte: Elaborada pelos autores.

3.7 Programação

Nesta etapa, descreve-se o processo de programação dos dados coletados e sua validação por meio dos sensores físico-químicos específicos, além do código referente a transmissão dessas informações pelo microcontrolador ESP 32, utilizando o protocolo UART.

a) Programação dos sensores

Ao iniciar o desenvolvimento das funcionalidades para todos os componentes, utilizando a interface do Arduino IDE, foi desenvolvida, primeiramente, a programação dos sensores utilizados na plataforma. As atividades a seguir incluem a leitura dos parâmetros avaliados e a configuração da conexão entre o ESP32 e o Arduino. Vale destacar que todos os códigos descritos neste documento podem ser encontrados no apêndice.

No início de qualquer programação em Arduino, é comum iniciar o código com a inclusão das bibliotecas (Figura 3.14) e a declaração das variáveis necessárias (Figura 3.15). Essas bibliotecas fornecem as ferramentas essenciais para interagir com os diversos componentes, como sensores e atuadores, enquanto

as variáveis armazenam os dados que serão utilizados ao longo do programa.

Figura 3.14 - Bibliotecas auxiliares utilizadas no código.

```
//Bibliotecas Auxiliares:
#include <Wire.h> //Biblioteca auxiliar pH.
#include <OneWire.h> //Biblioteca auxiliar temperatura.
#include <DallasTemperature.h> //Biblioteca auxiliar temperatura.
```

Fonte: Elaborada pelos autores.

As bibliotecas apresentadas acima são conjuntos de códigos pré-desenvolvidos, cujo objetivo é simplificar o processo de criação de aplicações. Elas podem ser nativas da linguagem de programação do Arduino ou fornecidas pelos fabricantes dos dispositivos, facilitando a implementação de diversas funções sem a necessidade de programar tudo do zero. Todas as bibliotecas utilizadas pela equipe foram encontradas nos datasheets dos sensores, documentos técnicos fornecidos pelos fabricantes de componentes eletrônicos, que contêm todas as informações necessárias para entender o funcionamento de cada componente.

Figura 3.15 - Declaração das variáveis necessárias.

```
//Variáveis:

//Variáveis pH:
int measure;
float T;
float Po;

//Variável turbidez:
double NTU = 0.0;

//Declaração de objetos, (temperatura):
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS); //objeto one_wire
DallasTemperature sensors(&oneWire);
DeviceAddress sensor1;

//Variáveis condutividade:
int analogBuffer[SCOUNT]; //Armazena o valor analógico lido do ADC na matriz.
int analogBufferTemp[SCOUNT];
int analogBufferIndex = 0;
int copyIndex = 0;

float averageVoltage = 0;
float tdsValue = 0;
float temperature = 16; //Temperatura atual (para compensação).

//Algoritmo de filtragem média, (condutividade):
int getMedianNum(int bArray[], int ifilterLen) {
    int bTab[ifilterLen];
    for (byte i = 0; i < ifilterLen; i++) {
        bTab[i] = bArray[i];
    }
    int i, j, bTemp;
    for (j = 0; j < ifilterLen - 1; j++) {
        for (i = 0; i < ifilterLen - j - 1; i++) {
            if (bTab[i] > bTab[i + 1]) {
                bTemp = bTab[i];
                bTab[i] = bTab[i + 1];
                bTab[i + 1] = bTemp;
            }
        }
    }
    if ((ifilterLen & 1) > 0) {
        bTemp = bTab[(ifilterLen - 1) / 2];
    } else {
        bTemp = (bTab[ifilterLen / 2] + bTab[ifilterLen / 2 - 1]) / 2;
    }
    return bTemp;
}
```

Fonte: Elaborada pelos autores.

Em seguida, foi feita a declaração das portas para os sensores no código (Figura 3.16), utilizando a diretiva #define para atribuir nomes legíveis a elas.

Optou-se por utilizar portas analógicas (A0, A1, A2 e A3) porque todos os sensores usados, exceto o de temperatura, emitem uma tensão variável como saída, a qual precisa ser convertida em um valor digital pelo conversor ADC (Analog-to-Digital Converter) do Arduino. O microcontrolador lê esses valores analógicos e os converte em uma faixa numérica de 0 a 1023 (para uma alimentação de 5V), permitindo o processamento dos dados pelo programa.

Figura 3.16 - Declaração das portas para os sensores.

```
//Declaração das portas:
#define SensorpH A0 //pH.
#define PORT A1 //Turbidez.
#define ONE_WIRE_BUS A2 //sinal do sensor DS18B20.
#define TdsSensorPin A3 //Condutividade.
```

Fonte: Elaborada pelos autores.

Além disso, é importante entender que, no Arduino, o código é estruturado em dois ciclos básicos: **SETUP** e **LOOP**. A função **SETUP** (Figura 3.17) é executada uma única vez, quando o sistema é iniciado. Ela é responsável pela configuração dos pinos a serem utilizados, pela definição da velocidade de comunicação serial, pela configuração dos pinos digitais e analógicos e pela inicialização do Wi-Fi no ESP32.

Figura 3.17 - Configurações iniciais do programa, "SETUP".

```
void setup() {
  Serial.begin(9600); //Inicializa todos os caracteres.
  Serial1.begin(9600); //Inicializa a conexão com o esp32.
  pinMode(A0, INPUT);
  pinMode(PORT, INPUT); //Turbidez.
  pinMode(ONE_WIRE_BUS, INPUT); //Temperatura.
  sensors.begin(); //Temperatura.
  sensors.getAddress(sensor1, 0); //Temperatura.
  pinMode(TdsSensorPin, INPUT); //Condutividade.
```

Fonte: Elaborada pelos autores.

A função **LOOP** (Figura 3.18) é responsável pelas atividades contínuas durante o funcionamento do protótipo. Ela define os momentos e as condições em que os dispositivos devem operar, permitindo a coleta de dados e a ativação dos sensores conforme necessário. No código desenvolvido pela equipe, a função **LOOP** serve como uma chamada para as funções de leitura. A cada iteração, as funções de leitura de pH, turbidez, temperatura e condutividade são chamadas, permitindo a leitura dos dados analisados e sua exibição no monitor serial, utilizando o comando `Serial.println()`.

Figura 3.18 - Configurações de execução do código, "LOOP".

```
void loop () {  
  pH();  
  Turbidez();  
  Temperatura();  
  Condutividade();  
  Serial.println();  
}
```

Fonte: Elaborada pelos autores.

A seguir, é necessário detalhar cada função retornada no LOOP, conforme exemplificado na figura acima.

Como mencionado anteriormente, o código referente a cada sensor foi baseado no datasheet do fabricante, com algumas alterações feitas pela equipe para otimizar a programação.

A primeira função retornada no LOOP é a pH(), que lê o valor do potencial hidrogeniônico (Figura 3.19). A leitura é feita pela função analogRead(A0), que lê o valor da porta analógica A0 e retorna um valor entre 0 e 1023. Em seguida, esse valor é convertido em uma tensão, multiplicando-o por 0,004888. Essa tensão é então convertida em um valor de pH por meio da fórmula simplificada $Po = T * 2,8$, onde o fator 2,8 é uma constante derivada da calibração do sensor. O valor lido é exibido no monitor serial.

Figura 3.19 - Programação do sensor de pH.

```
//Funções:  
void pH() {  
  measure = analogRead(A0);  
  
  T = (measure*0.004888);  
  
  Po = T*2.8;  
  Serial.print("O PH é: ");  
  Serial.print(Po);  
  Serial.println("");  
}
```

Fonte: Elaborada pelos autores.

A segunda função retornada no LOOP é a Turbidez(). O código referente ao sensor de turbidez é semelhante ao da leitura de pH. Inicialmente, a leitura é feita pela função analogRead(PORT), e o valor obtido é convertido em tensão.

Figura 3.20 - Programação do sensor de Turbidez.

```
void Turbidez() {  
  
  int ValorSensor = analogRead(PORT);  
  float tensao = ValorSensor * (5 / 1024);  
  
  NTU = calc_NTU(tensao);  
  
  Serial.print("A turbidez da água é: ");  
  Serial.println(NTU);  
}
```

Fonte: Elaborada pelos autores.

O terceiro componente trabalhado é o sensor de temperatura, que, ao contrário dos demais, se comunica com o microcontrolador através de um único pino de dados digital, utilizando o protocolo OneWire. Esse protocolo permite a troca de informações digitais entre o sensor e o Arduino, e a leitura da temperatura é enviada diretamente em formato digital, sem a necessidade de conversão pelo ADC do Arduino. O sensor DS18B20 processa e envia o valor da temperatura diretamente para a placa controladora, que exibe a informação no monitor serial.

Figura 3.21 - Programação do sensor de Temperatura.

```
void Temperatura() {  
  // Le a informacao do sensor  
  sensors.requestTemperatures();  
  float TempC = sensors.getTempC(sensor1);  
  
  // Mostra dados no serial monitor  
  Serial.print("A temperatura é: ");  
  Serial.println(TempC);  
}
```

Fonte: Elaborada pelos autores.

Por fim, o último componente inserido nessa programação foi o sensor de condutividade. Ele lê os valores do parâmetro, utilizando um algoritmo de filtragem para obter um valor estável. Em seguida, realiza uma compensação de temperatura e converte a leitura em TDS (Total de Sólidos Dissolvidos), em ppm (partes por milhão).

Figura 3.22 - Programação do sensor de Condutividade.

```
void Condutividade() {
  static unsigned long analogSampleTimepoint = millis();
  if (millis() - analogSampleTimepoint > 400) { //Lê o valor analógico do ADC a cada 40 milissegundos.
    analogSampleTimepoint = millis();
    analogBuffer[analogBufferIndex] = analogRead(TdsSensorPin); //Lê o valor analógico e armazena no buffer.
    analogBufferIndex++;
    if (analogBufferIndex == SCOUNT) {
      analogBufferIndex = 0;
    }
  }

  static unsigned long printTimepoint = millis();
  if (millis() - printTimepoint > 800) {
    printTimepoint = millis();
    for (copyIndex = 0; copyIndex < SCOUNT; copyIndex++) {
      analogBufferTemp[copyIndex] = analogBuffer[copyIndex];
    }

    //Lê o valor analógico mais estável pelo algoritmo de filtragem média e converte para o valor de tensão.
    averageVoltage = getMedianNum(analogBufferTemp, SCOUNT) * (float)VREF / 1024.0;

    //Fórmula de compensação da temperatura: ResultadoFinal(25°C) = ResultadoFinal(atual)/(1,0+0,02*(FTP-25,0));
    float compensationCoefficient = 1.0 + 0.02 * (temperature - 25.0);
    //Temperature compensation
    float compensationVoltage = averageVoltage / compensationCoefficient;

    //Converte o valor da tensão em valor TDS.
    tdsValue = (133.42 * compensationVoltage * compensationVoltage - 255.86 * compensationVoltage * compensationVoltage + 857.39 * compensationVoltage) * 0.5;

    Serial.print("A condutividade é: ");
    Serial.print(tdsValue, 0);
    Serial.println("ppm");
  }
}
```

Fonte: Elaborada pelos autores.

É importante ressaltar que o sensor utilizado (TDS Meter V1.0) apresenta variações significativas de leitura, causadas por ruídos ou interferências externas. Para contornar isso, o código utiliza um "buffer", onde várias leituras do sensor são armazenadas. A cada 40 milissegundos, um novo valor analógico é lido pelo sensor e armazenado no buffer. A cada 800 milissegundos, o valor médio das leituras é calculado, eliminando ruídos, e a compensação de temperatura é aplicada.

b) Programação da conexão entre o ESP32 e Arduino

Agora que foram descritas as programações dos sensores e a conexão entre as duas placas controladoras, é necessário explicar como as informações adquiridas pelo Arduino são enviadas ao ESP32 e transmitidas para a plataforma web desenvolvida pela equipe.

Figura 3.23 - Programação do microcontrolador ESP32.

```
#include <WiFi.h> // Inclui a biblioteca WiFi para habilitar a conectividade sem fio no ESP32
#include <HTTPClient.h> // Inclui a biblioteca HTTPClient para realizar requisições HTTP

const char* ssid = "LabMaker"; // Define o nome da rede WiFi (SSID) que o ESP32 vai se conectar
const char* password = "53471409000152"; // Define a senha da rede WiFi
String serverName = "http://200.128.143.110/"; // Define o endereço do servidor onde será enviada a requisição HTTP
String link = serverName + "src/getinfo.php?"; // Concatena o nome do servidor com o endpoint específico para onde os dados serão enviados

// Função responsável por enviar dados ao servidor via HTTP GET
String enviaEsp(String link2){
    HTTPClient http; // Instancia um objeto da classe HTTPClient para lidar com a requisição HTTP
    String montalink = link + link2; // Concatena o link base com os dados que serão enviados ao servidor
    http.begin(montalink.c_str()); // Inicializa a requisição HTTP usando o link completo (transforma o String em uma string C)
    int httpResponseCode = http.GET(); // Executa a requisição GET e armazena o código de resposta
    if (httpResponseCode > 0) { // Verifica se o código de resposta é maior que 0 (indicando sucesso)
        String i_test = http.getString(); // Lê a resposta do servidor em formato String
        return i_test; // Retorna a resposta do servidor
    }
    http.end(); // Encerra a conexão HTTP
}

void setup(){
    Serial.begin(115200); // Inicia a comunicação serial com velocidade de 115200 bps (para monitoramento via porta serial)
    WiFi.begin(ssid, password); // Inicia a tentativa de conexão à rede WiFi com as credenciais fornecidas (SSID e senha)
    int i = 0; // Declara uma variável para contar as tentativas de conexão ao WiFi
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) { // Mantém o loop até que o ESP32 se conecte à rede WiFi
        delay(500); // Aguarda 500 milissegundos entre cada tentativa de verificação de conexão
        if (i > 20) { // Se após 20 tentativas não houver sucesso na conexão
            ESP.restart(); // Reinicia o ESP32 para tentar conectar novamente
        }
        i++; // Incrementa o contador de tentativas de conexão
    }
}

void loop(){
    String armario; // Declara uma variável do tipo String para armazenar os dados recebidos via Serial
    while (Serial.available() > 0) { // Verifica se há dados disponíveis para leitura na porta Serial
        char caractere; // Declara uma variável para armazenar cada caractere recebido
        caractere = Serial.read(); // Lê um caractere da porta Serial
        armario = armario + caractere; // Adiciona o caractere lido à string 'armario'
    }
    enviaEsp(armario); // Chama a função enviaEsp para enviar os dados lidos pela Serial ao servidor via HTTP GET
}
```

Fonte: Elaborada pelos autores.

A figura acima apresenta o código utilizado para estabelecer comunicação entre o microcontrolador ESP32 e um servidor web, permitindo o envio de dados coletados pela porta serial para um “endpoint” específico, por meio de requisições HTTP. A principal função deste programa é transmitir as informações lidas de um dispositivo conectado à porta serial, como sensores, para um servidor externo, que pode processar ou armazenar esses dados, como no site projetado pela equipe.

A conexão com a internet é feita pelo módulo Wi-Fi do ESP32, que se conecta a uma rede local com credenciais pré-definidas. Uma vez conectado, o ESP32 realiza requisições HTTP GET ao servidor, utilizando a URL fornecida, e concatena os dados lidos via comunicação serial.

O desenvolvimento desse programa foi simples e ocorreu de forma rápida e eficiente. Como mostrado na Figura 3.23, o código começa com a configuração da rede Wi-Fi. Em seguida, um loop contínuo aguarda a entrada de dados pela porta serial. À medida que os dados são recebidos, eles são armazenados na string “armário” e enviados ao servidor web pela função “enviaEsp”. Essa função monta a URL completa com os dados coletados e executa a requisição GET, retornando a resposta recebida do servidor.

Se a requisição for bem-sucedida, o código verifica o status da resposta e, caso positivo, retorna as informações recebidas, que podem ser usadas para

processamento posterior. A cada ciclo do loop, o ESP32 continua a ler os dados da porta serial e enviá-los ao servidor, criando uma comunicação constante entre o dispositivo e a infraestrutura remota. Assim, o código permite o monitoramento em tempo real dos dados capturados pelo ESP32 e sua transmissão para um sistema centralizado, o que é fundamental em aplicações que envolvem a coleta de dados para monitoramento, análise ou tomada de decisões em ambientes distribuídos, como a plataforma desenvolvida pela equipe ERA2-D2.

3.8 Site

a) Página Principal

Este código em HTML é responsável por criar a página principal do site, onde estão disponíveis os links para os gráficos dos parâmetros de qualidade da água monitorados e para outras páginas que fornecem mais informações sobre o grupo ERA2-D2.

Figura 3.24 - Código da pagina inicial do site.

```
1 <!DOCTYPE html>
2 <html lang="pt-br" > <!-- Define o idioma da página como Português do Brasil -->
3   <head>
4     <meta charset="UTF-8" > <!-- Define o charset como UTF-8, garantindo suporte a caracteres especiais -->
5     <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0" > <!-- Garante que a página seja responsiva, ajustando-se a
6     diferentes dispositivos -->
7     <title>ERA2-D2</title> <!-- Título da página exibido na aba do navegador -->
8     <link rel="shortcut icon" href="img/era2d2.jpeg" type="image/x-icon" > <!-- Define o ícone da aba do navegador -->
9     <link rel="stylesheet" href="css/style.css" > <!-- Importa uma folha de estilo CSS externa -->
10  </head>
11  <body>
12    <?php
13      // Define o fuso horário como "America/Sao_Paulo" para que a hora exibida esteja correta para essa região
14      date_default_timezone_set("America/Sao_Paulo");
15
16      // Exibe a data atual no formato dia/mês/ano
17      echo date("d/M/Y");
18
19      // Exibe a hora atual no formato 24 horas
20      echo date(" G:i");
21    <?>
22
23    <h1>ERA2-D2</h1> <!-- Título principal da página -->
24
25    <!-- Div que exibe o logo do projeto ERA2-D2 com um link para uma página sobre o projeto -->
26    <div>
27      <a class="img" href="sobrenos/ERA2_D2.html"></a>
28    </div>
29
30    <!-- Seção com subequipes, cada uma com seu respectivo nome, logo e link -->
31    <div class="subequipes">
32      <div class="n1">
33        <h3>Mérito Científico</h3> <!-- Nome da subequipe -->
34        <a class="img" href="sobrenos/merito-cientifico.html"></a>
35        <!-- Link e logo para a página da equipe Mérito Cientifico -->
36      </div>
37      <div class="n1">
38        <h3>Organização e Método</h3> <!-- Nome da subequipe -->
```

Fonte: Elaborada pelos autores.

```

1 <!DOCTYPE html>
2 <html lang="pt-br"> <!-- Define o idioma da página como Português do Brasil -->
3 <head>
4 <meta charset="UTF-8"> <!-- Define o charset como UTF-8, garantindo suporte a caracteres especiais -->
5 <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0"> <!-- Garante que a página seja responsiva, ajustando-se a
diferentes dispositivos -->
6 <title>ERA2-D2</title> <!-- Título da página exibido na aba do navegador -->
7 <link rel="shortcut icon" href="img/era2d2.jpeg" type="image/x-icon"> <!-- Define o ícone da aba do navegador -->
8 <link rel="stylesheet" href="css/style.css"> <!-- Importa uma folha de estilo CSS externa -->
9 </head>
10 <body>
11 <?php
12 // Define o fuso horário como "America/Sao_Paulo" para que a hora exibida esteja correta para essa região
13 date_default_timezone_set("America/Sao_Paulo");
14
15 // Exibe a data atual no formato dia/mês/ano
16 echo date("d/M/Y");
17
18 // Exibe a hora atual no formato 24 horas
19 echo date("G:i");
20 ?>
21 <h1>ERA2-D2</h1> <!-- Título principal da página -->
22
23 <!-- Div que exibe o logo do projeto ERA2-D2 com um link para uma página sobre o projeto -->
24 <div>
25 <a class="img" href="sobrenos/ERA2_D2.html"></a>
26 </div>
27
28 <!-- Seção com subequipes, cada uma com seu respectivo nome, logo e link -->
29 <div class="subequipes">
30 <div class="n1">
31 <h3>Mérito Científico</h3> <!-- Nome da subequipe -->
32 <a class="img" href="sobrenos/merito-cientifico.html"></a>
<!-- Link e logo para a página da equipe Mérito Cientifico -->
33 </div>
34 <div class="n1">
35 <h3>Organização e Método</h3> <!-- Nome da subequipe -->
36 <a class="img" href="sobrenos/organizacao.html"></a> <!-- Link e
logo para a página da equipe Organização e Método -->
37 </div>
38 <div class="n1">
39 <h3>Tecnologia e Engenharia</h3> <!-- Nome da subequipe -->
40 <a class="img" href="sobrenos/tecnologia.html"></
a> <!-- Link e logo para a página da equipe Tecnologia e Engenharia -->
41 </div>
42 </div>
43
44 <h2>Dados obtidos por meio da Plataforma de Monitoramento</h2> <!-- Título da seção que mostra os dados coletados pela plataforma -->
45
46 <!-- Seção com botões para acessar gráficos de monitoramento -->
47 <div>
48 <button><a class="btn" href="graficos/1condutividade.php">Gráfico de Condutividade</a></button> <!-- Botão que leva a um gráfico
de condutividade -->
49 <button><a class="btn" href="graficos/2ph.php">Gráfico de PH</a></button> <!-- Botão que leva a um gráfico de pH -->
50 <button><a class="btn" href="graficos/3temperatura.php">Gráfico de Temperatura</a></button> <!-- Botão que leva a um gráfico de
temperatura -->
51 <button><a class="btn" href="graficos/4turbidez.php">Gráfico de Turbidez</a></button> <!-- Botão que leva a um gráfico de
turbidez -->
52 </div>
53 </body>
54 </html>

```

Fonte: Elaborada pelos autores.

b) Gráfico de Condutividade

Este código em HTML, com trechos em JavaScript, é responsável pela criação da página que exibe o gráfico dos valores de condutividade ao longo do tempo, além de fornecer informações básicas sobre a condutividade elétrica na água.

Fonte: Elaborada pelos autores.

```
31 <!-- Div onde o gráfico de pH será exibido -->
32 <div id="chart_div" style="width: 900px; height: 500px"></div>
33
34 <!-- Importa a biblioteca do Google Charts para criação de gráficos -->
35 <script type="text/javascript" src="https://www.gstatic.com/charts/loader.js"></script>
36
37 <!-- Script para gerar o gráfico -->
38 <script type="text/javascript">
39     // Carrega o pacote 'corechart' do Google Charts
40     google.charts.load('current', {packages: ['corechart', 'line']});
41
42     // Função que será executada após o Google Charts ser carregado
43     google.charts.setOnLoadCallback(drawBasic);
44
45     function drawBasic() {
46         // Cria uma nova tabela de dados para o gráfico
47         var data = new google.visualization.DataTable();
48         data.addColumn('number', 'X'); // Coluna para o eixo X (tempo)
49         data.addColumn('number', 'Valores'); // Coluna para os valores de pH
50
51         // Adiciona os dados coletados do banco de dados
52         data.addRow([
53             <?php
54             // Consulta SQL para obter os últimos 60 registros da tabela 'ph'
55             $sql = "SELECT id, valor FROM ph ORDER BY id DESC LIMIT 60";
56             $result = $conn->query($sql);
57
58             // Se houver resultados, os dados são adicionados ao gráfico
59             if ($result->num_rows > 0) {
60                 while($row = $result->fetch_assoc()) {
61                     // Imprime os dados em formato de array para o gráfico
62                     echo "[" . $row["id"]. ", " . $row["valor"]. ", ";
63                 }
64             }
65         ]);
66     }
67 }
68
69 // Configurações do gráfico, incluindo títulos dos eixos
70 var options = {
71     hAxis: {
72         title: 'Tempo' // Título do eixo X
73     },
74     vAxis: {
75         title: 'pH' // Título do eixo Y
76     }
77 };
78
79 // Cria e desenha o gráfico na div 'chart_div'
80 var chart = new google.visualization.LineChart(document.getElementById('chart_div'));
81 chart.draw(data, options); // Desenha o gráfico com os dados e as opções configuradas
82 </script>
83 </body>
84 </html>
```

Fonte: Elaborada pelos autores.

```
65 </script>
66 </body>
67 </html>
68
69 // Configurações do gráfico, incluindo títulos dos eixos
70 var options = {
71     hAxis: {
72         title: 'Tempo' // Título do eixo X
73     },
74     vAxis: {
75         title: 'pH' // Título do eixo Y
76     }
77 };
78
79 // Cria e desenha o gráfico na div 'chart_div'
80 var chart = new google.visualization.LineChart(document.getElementById('chart_div'));
81 chart.draw(data, options); // Desenha o gráfico com os dados e as opções configuradas
82 </script>
83 </body>
84 </html>
```

d) Gráfico de Temperatura

Este código em HTML, com trechos em JavaScript, é responsável pela criação da página que exibe o gráfico dos valores de temperatura ao longo do tempo, além de fornecer informações básicas sobre a temperatura aquática.


```

30
31     <!-- Div onde o gráfico de turbidez será exibido -->
32     <div id="chart_div" style="width: 900px; height: 500px"></div>
33
34     <!-- Importa a biblioteca do Google Charts para a criação de gráficos -->
35     <script type="text/javascript" src="https://www.gstatic.com/charts/loader.js"></script>
36
37     <!-- Script para gerar o gráfico -->
38     <script type="text/javascript">
39         // Carrega o pacote 'corechart' do Google Charts
40         google.charts.load('current', {packages: ['corechart', 'line']});
41
42         // Define a função que será chamada após o carregamento do Google Charts
43         google.charts.setOnLoadCallback(drawBasic);
44
45         function drawBasic() {
46             // Cria uma nova tabela de dados para o gráfico
47             var data = new google.visualization.DataTable();
48             data.addColumn('number', 'x'); // Coluna para o eixo X (tempo)
49             data.addColumn('number', 'Valores'); // Coluna para os valores de turbidez
50
51             // Adiciona os dados coletados do banco de dados
52             data.addRows([
53                 <?php
54                 // Consulta SQL para obter os últimos 60 registros da tabela 'turbidez'
55                 $sql = "SELECT id, valor FROM turbidez ORDER BY id DESC LIMIT 60";
56                 $result = $conn->query($sql);
57
58                 // Se houver resultados, os dados são adicionados ao gráfico
59                 if ($result->num_rows > 0) {
60                     while($row = $result->fetch_assoc()) {
61                         // Imprime os dados em formato de array para o gráfico
62                         echo "[" . $row["id"]. ", " . $row["valor"]. "],";
63                     }
64                 }
65                 <?php
66             ]);
67
68             // Configurações do gráfico, incluindo títulos dos eixos
69             var options = {
70                 hAxis: {
71                     title: 'Tempo' // Título do eixo X
72                 },
73                 vAxis: {
74                     title: 'Turbidez' // Título do eixo Y
75                 }
76             };
77
78             // Cria e desenha o gráfico na div com o ID 'chart_div'
79             var chart = new google.visualization.LineChart(document.getElementById('chart_div'));
80             chart.draw(data, options); // Desenha o gráfico com os dados e as opções configuradas
81         }
82     </script>
83 </body>
84 </html>]

```

Fonte: Elaborada pelos autores.

```

63     }
64     <?php
65     ]);
66     <?php
67
68     // Configurações do gráfico, incluindo títulos dos eixos
69     var options = {
70         hAxis: {
71             title: 'Tempo' // Título do eixo X
72         },
73         vAxis: {
74             title: 'Turbidez' // Título do eixo Y
75         }
76     };
77
78     // Cria e desenha o gráfico na div com o ID 'chart_div'
79     var chart = new google.visualization.LineChart(document.getElementById('chart_div'));
80     chart.draw(data, options); // Desenha o gráfico com os dados e as opções configuradas
81 }
82 </script>
83 </body>
84 </html>]

```

Fonte: Elaborada pelos autores.

f) Criação das Tabelas no Banco de Dados

Este código desenvolvido em linguagem PHP é responsável pela criação do banco de dados que guarda os valores lidos dos parâmetros aquáticos medidos pela plataforma e as tabelas para cada parâmetro.

Figura 3.29 – Código desenvolvido para o banco de dados do site.

```
39 // Chamando a função 'envia' para cada comando SQL
40 envia($conn, $phc);
41 envia($conn, $turbidezc);
42 envia($conn, $temperaturac);
43 envia($conn, $condutividadec);
44
45 // Fechando a conexão com o banco de dados
46 $conn->close();
47 ?>
38 // SQL para criar a tabela 'temperatura' se ela não existir
39 $sql3 = "CREATE TABLE IF NOT EXISTS temperatura(
40     id INT(6) UNSIGNED AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY NOT NULL,
41     valor FLOAT(10,3),
42     reg_date TIMESTAMP DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP ON UPDATE CURRENT_TIMESTAMP
43 )";
44
45 // SQL para criar a tabela 'condutividade' se ela não existir
46 $sql4 = "CREATE TABLE IF NOT EXISTS condutividade(
47     id INT(6) UNSIGNED AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY NOT NULL,
48     valor FLOAT(10,3),
49     reg_date TIMESTAMP DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP ON UPDATE CURRENT_TIMESTAMP
50 )";
51
52 // Executando a criação das tabelas
53 if ($conn->query($sql1) === TRUE) {
54     // A tabela 'ph' foi criada com sucesso
55 }
56 if ($conn->query($sql2) === TRUE) {
57     // A tabela 'turbidez' foi criada com sucesso
58 }
59 if ($conn->query($sql3) === TRUE) {
60     // A tabela 'temperatura' foi criada com sucesso
61 }
62 if ($conn->query($sql4) === TRUE) {
63     // A tabela 'condutividade' foi criada com sucesso
64 }
65
66 // Fechando a conexão com o banco de dados
67 $conn->close();
68 ?>
```

Fonte: Elaborada pelos autores.

g) Conexão com o ESP

Este código desenvolvido em linguagem PHP é responsável pela conexão entre o banco de dados e o ESP, que envia os valores lidos dos parâmetros aquáticos medidos pela plataforma.

Figura 3.30 - Código que promove a conexão entre o banco de dados e o ESP32.

```

1 <?php
2 // Incluindo o arquivo 'create_base.php' que provavelmente contém a configuração ou criação do banco de dados
3 include 'create_base.php';
4
5 // Obtendo valores dos parâmetros passados via URL
6 $ph = $_GET['ph']; // Valor de pH
7 $turbidez = $_GET['turbidez']; // Valor de turbidez
8 $temperatura = $_GET['temperatura']; // Valor de temperatura
9 $condutividade = $_GET['condutividade']; // Valor de condutividade
10
11 // Definindo as variáveis de conexão com o banco de dados
12 $servername = "localhost"; // Nome do servidor de banco de dados
13 $username = "u683874167_era_user"; // Nome de usuário para o banco de dados
14 $password = "7e+3pghAVdPB"; // Senha para o banco de dados
15 $dbname = "u683874167_era2d2"; // Nome do banco de dados
16
17 // Criando uma conexão com o banco de dados
18 $conn = new mysqli($servername, $username, $password, $dbname);
19
20 // SQL para inserir valores na tabela 'ph'
21 $phc = "INSERT INTO ph (valor) VALUES ($ph)";
22 // SQL para inserir valores na tabela 'temperatura'
23 $temperaturac = "INSERT INTO temperatura (valor) VALUES ($temperatura)";
24 // SQL para inserir valores na tabela 'condutividade'
25 $condutividadec = "INSERT INTO condutividade (valor) VALUES ($condutividade)";
26 // SQL para inserir valores na tabela 'turbidez'
27 $turbidezc = "INSERT INTO turbidez (valor) VALUES ($turbidez)";
28
29 // Função para executar um comando SQL e exibir o status da operação
30 function envia($conn, $comando){
31     if ($conn->query($comando) === TRUE) {
32         echo "V"; // Exibe "V" se o comando for executado com sucesso
33     }
34     else {
35         echo "F"; // Exibe "F" se houver um erro na execução do comando
36     }
37 }

```

Fonte: Elaborada pelos autores.

4. RESULTADOS

A gestão dos recursos hídricos enfrenta sérios desafios, tanto no Brasil quanto globalmente, devido ao crescimento da demanda por água, impulsionado pela urbanização, industrialização e atividades agrícolas. Para garantir a sustentabilidade da água, é fundamental implementar políticas públicas eficazes. Dessa forma, a nossa plataforma é essencial para preservar os ecossistemas aquáticos e garantir o suprimento de água para as gerações futuras.

a) Resultados metodologia

Foi implementado o código para a leitura e transmissão dos dados dos sensores utilizando a linguagem C++ que facilitou o desenvolvimento e monitoramento em tempo real. A plataforma foi equipada com dois microcontroladores para a aquisição e armazenamento dos dados e para transmitir as informações para a plataforma web via Wi-Fi e Bluetooth.

A forma como a equipe projetou a estrutura física da plataforma garantiu a proteção do dispositivo mas também uma boa performance durante os testes. A montagem do circuito eletrônico utilizou uma placa de cobre para organização e soldagem dos componentes, possibilitando uma construção eficiente e compacta além de uma caixa de MDF e uma estrutura feita em impressão 3D.

Figura 4.1 – Modelo finalizado da plataforma de monitoramento aquático.



Fonte: Elaborados pelos autores

Nesse cenário, a equipe realizou os primeiros testes principalmente com água potável (Figura 4.2) e em recipientes onde a água foi intencionalmente alterada pelos próprios membros, adicionando terra, grama e alguns detritos com intenção de observar a alteração das medições. Essa escolha foi motivada pela maior viabilidade em comparação à necessidade de deslocamentos frequentes para cursos d'água fora da instituição. Diante disso, com a repetição dos testes, foi possível concluir que os sensores operavam de forma adequada, atendendo às expectativas. Entretanto, alguns desafios surgiram durante o processo, como a degradação do sensor de turbidez, que, embora inicialmente tenha funcionado conforme o esperado, apresentou falhas nas medições que não puderam ser resolvidas por nenhuma das alternativas pesquisadas pelo time. Como medida provisória, os dados válidos coletados antes do problema foram registrados, e a substituição do componente foi programada para uma fase posterior do projeto.

Ademais, dificuldades também foram encontradas com o microcontrolador ESP32, especialmente na parte de desenvolvimento do código. Por essa razão, optou-se por utilizá-lo em conjunto com o Arduino, que era mais familiar à equipe, fazendo com que ESP32 ficasse responsável apenas pela transmissão dos dados. Nesse contexto, os gráficos gerados pela plataforma web a partir dos testes remotos comprovaram a eficiência da comunicação entre os dispositivos, apresentando dados sucintos e precisos, que serviram como base para outras medições.

Figura 4.2 – Testes da plataforma realizados em água potável.



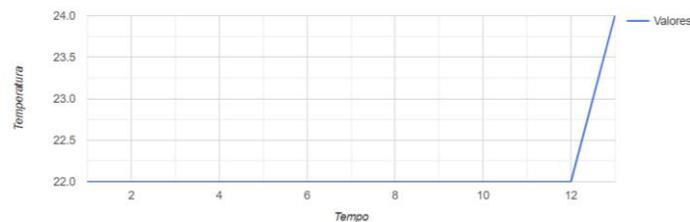
Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 4.3 – Parâmetros de pH recebidos na plataforma WEB.

Temperatura da Água

A temperatura da água é um dos fatores que mais interfere na preservação e conservação de ecossistemas aquáticos. Ela mantém o equilíbrio das espécies que dependem de faixas de temperatura específicas, contém a proliferação de algas e influencia migrações e reprodução de espécies. Também influencia os níveis de oxigênio dissolvido, que são cruciais para a vida na água.

Além disso, a medição da temperatura aquática ajuda na interpretação do impacto do aquecimento global e da poluição térmica nos corpos d'água e na gestão de recursos hídricos. Os esforços para monitorar e controlar os níveis da temperatura da água são vitais para a saúde dos ecossistemas presentes na água e a sustentabilidade ambiental.



Fonte: Elaborado pelos autores

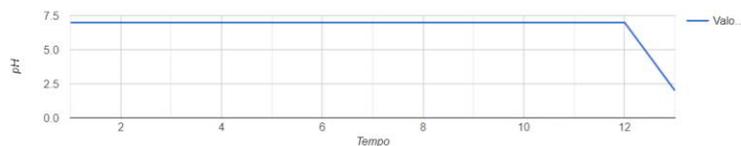
Figura 4.5 – Parâmetros de temperatura recebidos na plataforma WEB.

Potencial Hidrogênico da Água

O potencial hidrogênico(pH) de uma solução aquosa é medido por meio da concentração de ions de hidrogênio nessa solução, é representado por uma faixa que vai de 0 a 14, sendo consideradas soluções ácidas números menores que 7, neutras iguais a 7 e básicas, maiores que 7.

Para a vida na água se manter, o pH deve estar entre 6 e 9, níveis diferentes desses levam a morte dos organismos marinhos. Os mesmos níveis se aplicam a água própria para o consumo. Nos últimos anos os oceanos e aquíferos estão apresentando um pH ácido, que ocorre principalmente a partir da absorção de CO₂ vindo da atmosfera e produzido pelo ser humano. Esse fenômeno impacta tanto na vida marinha, prejudicando o desenvolvimento e a reprodução dos seres, quanto na humana, com a redução de peixes e outras fontes de alimentos, atrapalhando a alimentação e emprego de milhões de pessoas.

O monitoramento do pH das águas mostra a sua importância com base nas informações acima, visando proteção e restauração da vida aquática.



Fonte: Elaborado pelos autores

Diante disso, a programação dos sensores que apresentavam boa funcionalidade foi concluída com sucesso, utilizando bibliotecas específicas para

leitura dos parâmetros físico-químicos e a comunicação com o ESP32. A partir da comunicação entre os microcontroladores, esses dados coletados pelos sensores fossem transmitidos para a plataforma web em tempo real, utilizando o protocolo UART, processo qual mostrou resultados satisfatórios, fazendo com que a equipe testasse a plataforma com diferentes líquidos como refrigerante, água potável, água limpa.

O site desenvolvido se mostrou eficiente e foi desenvolvido para que obtivesse uma interface que trouxesse a essência do ERA2-D2, mas ao mesmo tempo fosse otimizado e objetivo. Com essas ideias em mente o time conseguiu desenvolver a pagina inicial com a proposta de uma galáxia no qual remetia ao nome do grupo e optou por botões ininterativos que levassem ao conteúdo desejado pelo espectador.

Figura 4.6 – Pagina inicial do site.

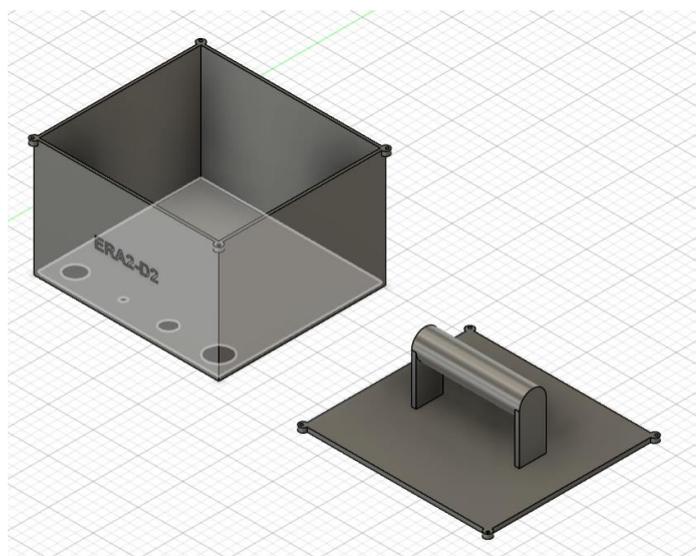


Fonte: Elaborado pelos autores

Sob esse viés, é importante discutir que a problemática do monitoramento aquático envolve uma série de desafios técnicos, ambientais e logísticos, que precisam ser cuidadosamente abordados para garantir a eficácia e sustentabilidade de qualquer iniciativa voltada para a preservação dos recursos hídricos. Um dos principais obstáculos reside na dificuldade de manter a precisão e a longevidade dos sensores em ambientes naturais, onde fatores como temperatura, salinidade e presença de detritos podem comprometer as medições. A degradação de sensores, como observada no caso do sensor de turbidez no projeto, evidencia uma

vulnerabilidade comum em sistemas de monitoramento contínuo. Esses dispositivos, muitas vezes desenvolvidos para aplicações específicas e controladas, podem não suportar as condições adversas dos ecossistemas aquáticos, levando a falhas que comprometem a coleta de dados e, por consequência, a eficácia do monitoramento. Para isso a equipe projetou e testou diferentes modelos para comportar a plataforma buscando justamente a melhor opção para manter componentes eletrônicos sensíveis fora do contato da água.

Figura 4.7 – Exemplo de um dos modelos testados para a plataforma antes da escolha final.



Fonte: Elaborado pelos autores

Além disso, em conjunto das questões técnicas, há também a limitação de recursos financeiros e tecnológicos. O desenvolvimento de sensores de alta precisão e resistência pode ser custoso, o que inviabiliza sua ampla implementação em regiões com menor capacidade econômica. Sendo assim esse fator cria uma disparidade na gestão dos recursos hídricos, onde áreas menos favorecidas, muitas vezes mais vulneráveis à degradação ambiental, ficam desprovidas de tecnologias adequadas para o monitoramento e a preservação dos seus ecossistemas. Portanto, o baixo custo de desenvolvimento que a plataforma de monitoramento aquático apresentada no presente trabalho proporciona visa solucionar tal aspecto financeiro.

Assim, a solução sintetizada pela equipe para proteger os ecossistemas aquáticos se caracteriza como uma excelente maneira para possibilitar diversas

tomadas de ações. A eficiência na coleta, transmissão e processamento dos dados, são validadas como funcionais e adequadas para os objetivos do projeto.

5. Recursos Utilizados

A seguir é apresentada uma tabela com os gastos que foram realizados para a construção do protótipo da plataforma de monitoramento do ar atmosférico.

Tabela 4.1 - Custos para o desenvolvimento do protótipo desenvolvido pela equipe ERA2D2

| Descrição | Quantidade | Preço Unitário (R\$) | Preço Final (R\$) |
|----------------------------------|------------|----------------------|-------------------|
| KIT Módulo Sensor de Temperatura | 1 | 13,23 | 13,23 |
| Sensor de Condutividade de Água | 1 | 17,19 | 17,19 |
| Sensor de Turbidez | 1 | 28,41 | 28,41 |
| Fretes | - | 59,80 | 59,80 |
| Sensor pH + Eletrodo Sonda Bnc | 1 | 87,10 | 87,10 |
| Arduino mega 2560 | 1 | 0 | 0 |
| Placa ESP32-WROOM | 3 | 0 | 0 |
| Resistores 4.7kΩ | 1 | 0 | 0 |
| Fios de ligação | - | 0 | 0 |
| Placa de cobre | 2 | 0 | 0 |
| TOTAL (R\$) | | | 205,73 |

Fonte: Elaborada pelos autores.

Os resistores, fios de ligação, placa de cobre, placa ESP32-WROOM e o Arduino Mega 2560 não geraram custos, pois foram obtidos a partir de sucatas eletrônicas, e de doações feitas ao projeto.

A plataforma de monitoramento também pretende incorporar um sensor de oxigênio dissolvido, que ainda não foi adquirido devido ao seu alto custo (R\$284,37). A aquisição de um sensor nesse valor comprometeria um dos principais diferenciais da plataforma, que é ser uma solução de monitoramento hídrico de baixo custo. Porém, devido a importância desse parâmetro, o sensor não pode ser desprezado pois se configura como um dado importante para o projeto. Assim, alternativas mais acessíveis estão sendo estudadas para integrar ao protótipo. Caso não seja possível, a compra será uma futura implementação.

6. CRONOGRAMA

Quadro 5.1 - Cronograma de FEVEREIRO à MAIO de 2024.

| AÇÕES PREVISTAS [EQUIPE ERA2D2 2024] | RESPONSÁVEL | PRAZO TOTAL (DIAS) | RESULTADOS ESPERADOS | MESES | | | |
|---|----------------------------|--------------------------|--|-------|-----|-----|-----|
| | | | | FEV | MAR | ABR | MAI |
| Reunião de finalização da Temporada 2023 | Equipe | 1 | Despedida de antigos membros e patrocinadores. | | | | |
| Processo Seletivo de Novos Membros | Equipe(Técnico e mentor) | 5 | Seleção de novos membros comprometidos com o projeto. | | | | |
| Reunião de Integração com Novos Membros | Equipe | 1 | Apresentação da equipe, do projeto, das regras e das funções de cada membro. | | | | |
| Publicação de Vídeo de Agradecimento | Equipe | 1 | Agradecimento aos patrocinadores e colaboradores | | | | |
| Abertura Oficial da temporada 2024 | Equipe | 1 | Temporada 2024 iniciada | | | | |
| Elaboração do orçamento da temporada | Equipe (Gestores) | 10 | Orçamento detalhado e realista para todo o projeto. | | | | |
| Documentação para patrocínio | Equipe (Gestores) | 20 | Documentação pronta para a solicitação de patrocínio | | | | |
| Definição do Design do Robô | Equipe (Robô) | 20 | Design funcional, considerando as regras da competição. | | | | |
| Escolha do projeto para mérito científico | Equipe (Mérito científico) | 20 | Escolha do projeto com melhor custo-benefício | | | | |
| Construção do robô | Equipe (Robô) | 15 | Robô construído e pronto para ser testado | | | | |
| Início da documentação do TBR | Equipe (Gestores) | 1 | Documentação da temporada iniciada | | | | |
| Início das programações do projeto científico | Equipe (Mérito científico) | 1 | Programações pronta para serem testadas | | | | |
| Início das programações do robô | Equipe (Robô) | 1 | Programações pronta para serem testadas | | | | |

Fonte: Elaborado pelos autores.

Quadro 5.2 - Cronograma de JUNHO à SETEMBRO de 2024.

| AÇÕES PREVISTAS [EQUIPE ERA2D2 2024] | RESPONSÁVEL | PRAZO TOTAL (DIAS) | RESULTADOS ESPERADOS | MESES | | | |
|---|----------------------------|--------------------------|---|-------|-----|-----|-----|
| | | | | JUN | JUL | AGO | SET |
| Término da construção do robô | Equipe (Robô) | 1 | Robô finalizadas para testes | ■ | | | |
| Início do planejamento de abordagens para o desafio prático | Equipe (Robô) | 30 | Planejamento iniciado | ■ | | | |
| Início vendas da rifa | Equipe | 1 | Venda de rifas iniciados | | ■ | | |
| Término das estratégias de abordagens no desafio prático | Equipe (Robô) | 1 | Estratégias finalizadas | | ■ | | |
| Início dos testes do robô no tapete | Equipe (Robô) | 1 | Iniciados os testes do robô no tapete | | ■ | | |
| Início da construção do projeto científico | Equipe (Mérito científico) | 1 | Iniciada a construção do projeto científico | | ■ | | |
| Sorteio da rifa | Equipe | 1 | Rifa sorteada | | | ■ | |
| Término dos testes do robô | Equipe (Robô) | 1 | Teste concluídos | | | ■ | |
| Término da construção do projeto científico | Equipe (Mérito científico) | 1 | Projeto científico construído | | | ■ | |
| Teste do projeto científico | Equipe (Mérito científico) | 20 | Projeto científico testado e aprovado | | | ■ | |
| Término da documentação | Equipe (Gestores) | 1 | Documentação concluída | | | ■ | |
| Finalização e conferência de todo o progresso da equipe | Equipe | 5 | Progresso finalizado | | | | ■ |
| Ensaio para apresentação | Equipe | 10 | Ensaio completo | | | | ■ |
| Entrega de documentos com 7 dias de antecedência | Equipe (Gestores) | 1 | Documentos entregues | | | | ■ |
| Participação da etapa regional do TBR 2024 | Equipe | 1 | Participação da equipe | | | | ■ |

Fonte: Elaborado pelos autores.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo destaca a relevância da plataforma desenvolvida pela equipe ERA2-D2, que está diretamente alinhada ao 6º Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS 6) da ONU, que visa a preservação dos recursos hídricos. A plataforma permite o monitoramento contínuo de parâmetros essenciais como pH, turbidez, oxigênio dissolvido, temperatura e condutividade da água, proporcionando detecção precoce de poluentes e anomalias. Isso o torna uma ferramenta valiosa para controlar a qualidade da água e promover a conscientização e preservação ambiental.

Sua implementação oferece uma solução acessível e prática, viável para adoção por comunidades e instituições de diversos portes. Além de fornecer dados fundamentais para a gestão dos recursos hídricos, a plataforma tem potencial para fortalecer políticas públicas e estratégias de proteção ambiental. Ao disponibilizar esta informação de forma acessível, sensibiliza também a população para a importância da preservação da água potável, recurso vital para o bem-estar social, econômico e ambiental.

O projeto ERA2-D2 demonstra como a ciência pode ser aplicada para resolver problemas ambientais prementes. Beneficia as gerações atuais e futuras, garantindo uma gestão mais eficaz dos recursos hídricos.

Por último, este trabalho destaca a importância das parcerias entre os setores público, privado e acadêmico, que são essenciais para enfrentar os desafios globais relacionados com a água. Só através da cooperação entre estas esferas será possível promover um futuro mais sustentável e seguro para todos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. Brasília: ANA, 2018.

ALI, S.; KHUSHIK, A. G.; MEMON, A. H. Water Resources Management: A Focus on Global Water Demand.

ANTZOULATOS, G.; SKORDILIS, E.; MANATAKI, I. Enhancing water management systems with IoT: A case study for urban water distribution. *Journal of Environmental Management*, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (ABES). Perdas no sistema de distribuição de água no Brasil. Brasília: ABES, 2021.

BORGES, P. R.; SOUZA, R. F.; ZANARDI, M. C. Modelagem matemática para gestão de perdas em redes de abastecimento. 2017.

BRITO, Luiza T. de L.; SRINIVASAN, Vajapeyam S.; SILVA, Aderaldo de S.; GHEYI, Hans R.; GALVÃO, Carlos de O.; HERMES, Luiz C. Influência das atividades antrópicas na qualidade das águas da bacia hidrográfica do Rio Salitre. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n.4, p.596-602, Campina Grande, PB, 2005.

BUREK, P.; SATOH, Y.; FISCHER, G.; KAHIL, T.; SCHERZER, A.; TRAMBEREND, S.; WADA, Y. Water Futures and Solutions: World Water Scenarios. IIASA, Laxenburg, Austria, 2016.

CASSIDY, R.; DU, J.; MITCHELL, S. Real-time water quality monitoring in distribution networks. 2021.

DI MAURO, C.; BAROUDI, J.; HESS, B. Water management and sustainability: Addressing growing global demand. 2021.

FLORENCIO, A.; MALPASS, J. Environmental laws in Brazil: A legislative review. 2014.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS (FGV). Estudo sobre a distribuição da demanda de água no Brasil. Rio de Janeiro: FGV, 1998.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. J. Impactos ambientais urbanos: a questão das enchentes e inundações. 2010.

HANAI, Frederico Yuri. Caracterização qualitativa e quantitativa de esgotos sanitários. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Hidráulica e Saneamento, São Paulo, 1997.

INSTITUTO ÁGUA E SANEAMENTO. Brasil retrocede em metas de água e saneamento da ONU, revela VII Relatório Luz 2023. Publicado em 03 out. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Demográfico 2011. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Demográfico 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

INSTITUTO FEDERAL - SANTA CATARINA. Escassez de água: entenda por que esse problema também é seu. Ana Paula Lückman - Jornalista do IFSC, 27 mar. 2023.

JUNG, D.; LANSEY, K. A simplified approach for water distribution system management. 2015.

NASCIMENTO, Flávio Rodrigues do. Categorização de usos múltiplos dos recursos hídricos e problemas ambientais. Universidade Federal Fluminense - Programa de Pós-Graduação em Geografia. *Revista da ANPEGE*, v. 7, n. 1, número especial, p. 81-97, out. 2011.

NARAYANAN, A.; SANKARANARAYANAN, B. Water Quality Monitoring in Smart Cities: Challenges and Opportunities. Nome do Periódico, 2020.

OLIVEIRA, A. M.; HERRMANN, M. L. A questão ambiental e a urbanização. Local de publicação: Editora, 2006.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO (FAO). Relatório sobre a gestão dos recursos hídricos globais. Roma: FAO, 2020.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). Environmental health risks: The global burden of disease. OMS, 2007.

SANTIN, Janaína Rigo; GOELLNER, Emanuelle. A Gestão dos Recursos Hídricos e a Cobrança pelo seu Uso. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo – RS, Brasil. *Revista Scielo*, 2013.

SÉRIE DE VÍDEO-AULAS para a turma de Saneamento Ambiental dos cursos de Engenharia Ambiental e Engenharia Civil da UFRN. Junho, 2020.

SILVA, Valdir Martiniano Ferreira da. Efeito das ações antrópicas na qualidade da água da bacia do Riacho do Silva, em Maceió-AL. Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Alagoas, 2011.

SODRÉ, Fernando Fabríz. Fontes Difusas de Poluição da Água: Características e métodos de controle. Grupo de Automação, Quimiometria e Química Ambiental (AQQUA), Instituto de Química, Universidade de Brasília, 2012.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). Diagnóstico dos serviços de água e esgoto – 2021. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2021.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento integrado de águas urbanas. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2002.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia Urbana. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2003.

9. APÊNDICE

APÊNDICE A – Código referente a programação dos sensores utilizados na plataforma de monitoramento aquático.

```
//Bibliotecas Auxiliares:
```

```
#include <Wire.h> //Biblioteca auxiliar pH.
```

```
#include <OneWire.h> //Biblioteca auxiliar temperatura.
```

```
#include <DallasTemperature.h> //Biblioteca auxiliar temperatura.
```

```
//Declaração das portas:
```

```
#define SensorpH A0 //pH.
```

```
#define PORT A1 //Turbidez.
```

```
#define ONE_WIRE_BUS A2 //sinal do sensor DS18B20.
```

```
#define TdsSensorPin A3 //Condutividade.
```

```
//Outras coisas condutividade:
```

```
#define VREF 5.0 //Tensão de referência analógica (Volt) do ADC.
```

```
#define SCOUNT 30 //Soma dos pontos de amostra.
```

```
//Declaração cálculos de turbidez:
```

```
double calc_NTU(double volt){
```

```
    double NTU_val;
```

```
    NTU_val = ((-1120.4*volt*volt)+(5742.3*volt)-4352.9)/1000; //((-1120.4*volt*volt)+(5742.3*volt)-4352.9)/1000;
```

```
    return NTU_val; // ((-739.464*volt*volt)+(3789.918*volt)-2872.914)/1000;
```

```
}
```

```
//Variáveis:
```

```
//Variáveis pH:
```

```
int measure;
```

```
float T;
```

```
float Po;
```

```
//Variável turbidez:
```

```

double NTU = 0.0;
//Declaração de objetos, (temperatura):
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS); //objeto one_wire
DallasTemperature sensors(&oneWire);
DeviceAddress sensor1;
//Váriaveis condutividade:
int analogBuffer[SCOUNT]; //Armazena o valor analógico lido do ADC na matriz.
int analogBufferTemp[SCOUNT];
int analogBufferIndex = 0;
int copyIndex = 0;
float averageVoltage = 0;
float tdsValue = 0;
float temperature = 16; //Temperatura atual (para compensação).
//Algoritmo de filtragem média, (condutividade):
int getMedianNum(int bArray[], int iFilterLen) {
int bTab[iFilterLen];
for (byte i = 0; i < iFilterLen; i++) {
bTab[i] = bArray[i];
}
int i, j, bTemp;
for (j = 0; j < iFilterLen - 1; j++) {
for (i = 0; i < iFilterLen - j - 1; i++) {
if (bTab[i] > bTab[i + 1]) {
bTemp = bTab[i];
bTab[i] = bTab[i + 1];
bTab[i + 1] = bTemp;
}
}
}
}

```

```

}
if ((iFilterLen & 1) > 0) {
bTemp = bTab[(iFilterLen - 1) / 2];
} else {
bTemp = (bTab[iFilterLen / 2] + bTab[iFilterLen / 2 - 1]) / 2;
}
return bTemp;
}

void setup() {
Serial.begin(9600); //Inicializa todos os caracteres.
Serial1.begin(9600); //Inicializa a conexão com o esp32.
pinMode(A0, INPUT);
pinMode(PORT, INPUT); //Turbidez.
pinMode(ONE_WIRE_BUS, INPUT); //Temperatura.
sensors.begin(); //Temperatura.
sensors.getAddress(sensor1, 0); //Temperatura.
pinMode(TdsSensorPin, INPUT); //Condutividade.
}

//Funções:
void pH() {
measure = analogRead(A0);
T = (measure*0.004888);
Po = T*2.8;
Serial.print("O PH é: ");
Serial.print(Po);
Serial.println("");
}

void Turbidez() {

```

```

int ValorSensor = analogRead(PORT);
float tensao = ValorSensor * (5 / 1024);
NTU = calc_NTU(tensao);
Serial.print("A turbidez da água é: ");
Serial.println(NTU);
}

void Temperatura() {
// Le a informacao do sensor
sensors.requestTemperatures();
float TempC = sensors.getTempC(sensor1);
// Mostra dados no serial monitor
Serial.print("A temperatura é: ");
Serial.println(TempC);
}

void Condutividade() {
static unsigned long analogSampleTimepoint = millis();

if (millis() - analogSampleTimepoint > 400) { //Lê o valor analógico do ADC a cada
40 milissegundos.

analogSampleTimepoint = millis();

analogBuffer[analogBufferIndex] = analogRead(TdsSensorPin); //Lê o valor
analógico e armazena no buffer.

analogBufferIndex++;

if (analogBufferIndex == SCOUNT) {
analogBufferIndex = 0;
}
}

static unsigned long printTimepoint = millis();

if (millis() - printTimepoint > 800) {
printTimepoint = millis();
}
}

```

```

for (copyIndex = 0; copyIndex < SCOUNT; copyIndex++) {
    analogBufferTemp[copyIndex] = analogBuffer[copyIndex];
}

//Lê o valor analógico mais estável pelo algoritmo de filtragem media e converte
para o valor de tensão.

    averageVoltage = getMedianNum(analogBufferTemp, SCOUNT) * (float)VREF /
1024.0

    //Fórmula de compensação dA temperatura: ResultadofFinal(25^C) =
ResultadofFinal(atual)/(1,0+0,02*(fTP-25,0));

    float compensationCoefficient = 1.0 + 0.02 * (temperature - 25.0);

    //Temperature compensation

    float compensationVoltage = averageVoltage / compensationCoefficient;

    //Converte o valor da tensão em valor TDS.

    tdsValue = (133.42 * compensationVoltage * compensationVoltage *
compensationVoltage - 255.86 * compensationVoltage * compensationVoltage +
857.39 * compensationVoltage) * 0.5;

    Serial.print("A condutividade é: ");

    Serial.print(tdsValue, 0);

    Serial.println("ppm");
}
}

//Envia as informações lidas para o esp32.

void conexao(float ph, float turbidez, float temperatura, float condutividade) {

    String mensagem = "ph=" + String(ph) + "&turbidez=" + String(turbidez) +
"&temperatura=" + String(temperatura) "&condutividade=" + String(condutividade);

    Serial1.print(mensagem);

}

void loop () {

    pH();

    Turbidez();

    Temperatura();
}

```

```
Conductividade();  
Serial.println();  
}
```

APÊNDICE B – Código referente a programação do microcontrolador ESP32 para transmissão dos dados para a plataforma WEB do protótipo.

```
#include <WiFi.h>  
  
#include <HTTPClient.h>  
  
const char* ssid    = "LabMaker";  
  
const char* password = "53471409000152";  
  
String serverName = "http://200.128.143.110/";  
String link = serverName + "src/getinfo.php?";  
String enviaEsp(String link2){  
    HTTPClient http;  
  
    String montalink = link + link2  
  
    http.begin(montalink.c_str());  
  
    int httpResponseCode = http.GET();  
  
    if (httpResponseCode>0) {  
        i_test = http.getString();  
        return i_test;  
    }  
  
    http.end();  
}  
  
void setup(){  
    Serial.begin(115200);  
  
    WiFi.begin(ssid, password);  
  
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
```

```
delay(500);
if (i > 20) {
  ESP.restart();
  }
  i++;
}
}
void loop(){
String armario;
while (Serial.available ()>0 {
char caractere;
caractere = Serial.read ();
armario = armario + caractere;
}
enviaEsp(armario);
```