



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
ESCOLA DE INFORMÁTICA APLICADA

SONDA AUTÔNOMA MODULAR PARA AFERIÇÃO DA QUALIDADE DA
ÁGUA EM CORPOS HÍDRICOS

Gustavo Carmo Dornelas
Márcio Bolognese Fernandes

Orientadores

Leonardo Luiz Alencastro Rocha
Morganna Carmem Diniz

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
FEVEREIRO DE 2021

Catálogo informatizada pelo autor

D287 Dornelas, Gustavo Carmo
Sonda Autônoma Modular para Aferição da Qualidade da Água em Corpos Hídricos / Gustavo Carmo Dornelas. -- Rio de Janeiro, 2021.
34 f.

Orientador: Leonardo Luiz Alencastro Rocha.
Coorientadora: Morganna Carmem Diniz.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Graduação em Sistemas de Informação, 2021.

1. Internet das Coisas. 2. Iot. 3. Arduino. 4. Água. 5. Poluição. I. Rocha, Leonardo Luiz Alencastro, orient. II. Diniz, Morganna Carmem, coorient. III. Título.

Catálogo informatizada pelo autor

F363 Fernandes, Márcio Bolognese
Sonda Autônoma Modular para Aferição da Qualidade da Água em Corpos Hídricos / Márcio Bolognese Fernandes. -- Rio de Janeiro, 2021.
34 f.

Orientador: Leonardo Luiz Alencastro Rocha.
Coorientadora: Morganna Carmem Diniz.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Graduação em Sistemas de Informação, 2021.

1. Internet das Coisas. 2. Iot. 3. Arduino. 4. Água. 5. Poluição. I. Rocha, Leonardo Luiz Alencastro, orient. II. Diniz, Morganna Carmem, coorient. III. Título.

Sonda Autônoma Modular para Aferição da Qualidade da Água em Corpos Hídricos

Gustavo Carmo Dornelas
Márcio Bolognese Fernandes

Projeto de Graduação apresentado à Escola de
Informática Aplicada da Universidade Federal do
Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO) para obtenção do
título de Bacharel em Sistemas de Informação.

Aprovado por:

Leonardo Luiz Alencastro Rocha

Morganna Carmem Diniz

Geiza Maria Hamazaki da Silva

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL.

FEVEREIRO DE 2021

*Dedico este trabalho em memória de minha
mãe, Maria Helena Bolognese.*

Agradecimentos

Aos meus pais Geraldo Coutinho Dornelas e Terezinha Nilva do Carmo Dornelas, por todo apoio e suporte durante toda minha trajetória acadêmica.

A Kelly Gioia Sampaio, que esteve presente durante todo o projeto, me incentivando sempre a buscar o meu melhor.

Aos professores do BSI Leonardo Rocha e Morganna Diniz que guiaram e apoiaram o desenvolvimento deste trabalho.

Gustavo Carmo Dornelas

À minha esposa Karina, pela motivação e companheirismo nesta jornada.

À minha querida Tia Ana, por todo apoio e carinho.

Aos professores do BSI pela dedicação, em especial, Professora Morganna e Professor Léo Rocha.

Márcio Bolognese Fernandes.

RESUMO

Cotidianamente, efluentes industriais e esgoto não tratado são lançados de maneira clandestina em rios e lagos, contaminando a água e destruindo o habitat de diversas espécies animais e vegetais. A poluição dos recursos hídricos naturais torna cada vez mais onerosa a captação e o tratamento da água para consumo humano. O objetivo deste trabalho é desenvolver uma proposta de equipamento autônomo que auxilie na preservação dos sistemas hídricos, atuando especificamente no monitoramento da qualidade da água. O projeto foi realizado em quatro etapas, primeiramente, a pesquisa dos conceitos envolvidos e tecnologias disponíveis para fundamentar a escolha do *hardware*. Com o sistema definido, foram realizados testes individuais dos componentes. Na terceira etapa, é descrito o processo de montagem do protótipo. Por fim, testes de campo, com intuito de avaliar o desempenho do protótipo. Assim, a sonda desenvolvida foi capaz de aferir as qualidades físicas da água e transmiti-las via rede sem fio, de forma autônoma e com custo inferior aos equipamentos disponíveis no mercado. Os resultados obtidos permitem atestar o potencial do protótipo desenvolvido em ser uma alternativa na fiscalização de rios e lagos. Uma ferramenta adicional que as agências ambientais podem utilizar visando a racionalização de recursos humanos e financeiros.

Palavras-chave: Internet das Coisas, IoT, Arduino, Água, Poluição.

ABSTRACT

Every day, industrial effluents and untreated sewage are discharged in rivers and lakes, contaminating the water and destroying the flora and fauna. Pollution of natural water resources makes it increasingly more expensive to collect and treat water for human consumption. The objective of this work is to develop an autonomous equipment that helps in the preservation of water systems, acting specifically in the monitoring of water quality. The project was developed in four stages, first, the research of the concepts involved and available technologies to support the choice of hardware. With the system defined, unit tests of the components were performed. In the third stage, the process of assembling the prototype is described. Finally, field tests, in order to evaluate the performance of the prototype. Thus, the developed probe was able to assess the physical qualities of the water and transmit them via wireless network, autonomously and at a lower cost than the equipment available on the market. The results obtained allow us to conclude attest to the potential of the developed prototype in being an alternative in the inspection of rivers and lakes. An additional tool that environmental agencies could use to streamline human and financial.

Keywords: Internet of Things, IoT, Arduino, Water, Pollution.

Índice

1	Introdução.....	9
1.1	Motivação	9
1.2	Objetivos.....	10
1.3	Metodologia	11
1.4	Organização do texto	11
2	Conceitos Fundamentais	13
2.1	Arduino	13
2.2	Internet das Coisas	14
2.3	Comunicação	14
2.4	Geolocalização.....	15
2.5	Condutividade Elétrica	15
2.6	Equipamentos Existentes	17
3	Projeto	20
3.1	Arquitetura	20
3.2	Definição do Hardware	21
3.2.1	Sensores	22
3.3	Testes Individuais	23
3.4	Montagem do Protótipo	27
4	Resultados	30
4.1	Testes de Campo	30
4.2	Avaliação	32
5	Conclusão.....	34

Índice de Figuras

Figura 1. Placa Arduino UNO.	13
Figura 2. Curva de Condutividade x Temperatura.	16
Figura 3. Medidor Multiparâmetro Instrusul.	17
Figura 4. Smart Water Sensor Libelium.	18
Figura 5. Sonda modelo TROLL 9500.	19
Figura 6. Estação de monitoramento.	19
Figura 7. Elemento CAP 200mm.	20
Figura 8. Esquema do Circuito do Ohmímetro.....	23
Figura 9. Sensores implementados.	24
Figura 10. Teste dos Sensores.	25
Figura 11. Resultado do teste.	25
Figura 12. Montagem dos módulos.	26
Figura 13. Carcaça inferior.....	27
Figura 14. Alojamento dos componentes eletrônicos.....	28
Figura 15. Carcaça superior.....	29
Figura 16. Sonda montada.	29
Figura 17. Ambiente de teste.....	30
Figura 18. Gráfico Condutividade.....	31
Figura 19. Gráfico Temperatura.	32
Figura 20. Pontos de GPS.....	32

1 Introdução

1.1 Motivação

A ação da humanidade, nos últimos anos, tem causado danos significativos ao meio ambiente. O ritmo em que as mudanças climáticas estão ocorrendo só aumenta o dano, colocando em xeque o uso de recursos naturais e os impactos nas diferentes economias e sociedades (Messerli et al., 2000). Neste contexto, se faz necessária a adoção de medidas que visem a transformação da forma como interagimos com a natureza, a fim de contribuir para a construção de um ambiente mais sustentável (Messerli et al., 2000).

A Política Nacional do Meio Ambiente, oficializada no Brasil em 1981, determina regras com o objetivo de mitigar o impacto ambiental mantendo o desenvolvimento de forma sustentável (Rios et al., 2005). O Sistema Nacional do Meio Ambiente ou SISNAMA é a organização constituída por todos os órgãos e entidades públicas responsáveis pela proteção ambiental. Assim, cabe ao Estado, através dessa organização, o controle das atividades (Câmara, 1999). Entretanto, visto que há dificuldade de utilização de mecanismos de monitoramento, resultante da falta de recursos e de acesso à tecnologia dos órgãos fiscalizadores, dá-se margem à exploração indiscriminada dos recursos naturais que, eventualmente, causam tragédias e crises ambientais (Schmitt, 2015).

A água é um dos recursos mais importantes no planeta, tanto para a subsistência da vida quanto para a industrialização (Pimentel et al., 2004). Este recurso se encontra cada vez mais ameaçado com a poluição dos mares, lagoas e rios, devido às atividades agrícolas e industriais sem fiscalização adequada (Owa, 2013). Pode-se tomar como exemplo o Rio dos Sinos, considerado o mais poluído no Rio Grande do Sul. Este sofre impactos ambientais diretos oriundos de dejetos industriais. Em uma reportagem do jornal G1 (2015, online) é narrada a trajetória de um repórter e de um biólogo pelo Rio dos Sinos. Os dois percorrem de barco um trecho de oitenta quilômetros, realizando medições com um aparelho portátil para atestar a presença de poluentes na água. O biólogo afirma:

"O ideal seria poder ir a campo e pegar todos os pontos de lançamento de efluentes no estado para fazer a coleta e monitoramento. Só que o estado não tem condições de fazer isso." (G1, 2015, online). Esta análise corrobora para o fato de que a realidade econômica dos estados pode afetar diretamente a capacidade de fiscalização das agências de proteção ambiental, impossibilitar o monitoramento constante dos cursos d'água e, conseqüentemente, dificultar a identificação dos emissores de poluentes. Novas tecnologias têm o potencial de serem incorporadas às medidas e ações que visam contribuir para um ambiente mais sustentável, aumentando a eficiência do combate à degradação dos recursos hídricos. Para isso é importante que as mesmas sejam de baixo custo e de ampla implementação, auxiliando no estudo e permitindo a adoção de medidas práticas para a criação de um ambiente sustentável.

1.2 Objetivos

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo desenvolver um dispositivo que permita monitorar a presença de poluentes ao longo de um curso d'água, minimizando ou dispensando a intervenção humana.

Logo, pode-se destacar como objetivos específicos do dispositivo:

- Independência - a capacidade de realizar medições de forma autônoma, sem necessidade de intervenção humana direta;
- Acessibilidade - o dispositivo deverá poder realizar medições em locais de difícil acesso ou percurso;
- Adaptabilidade - o dispositivo deverá poder ser personalizado para fazer diferentes tipos de medições com a alteração de alguns componentes de forma simples e eficiente;
- Economia de recursos - o dispositivo deverá possuir um tempo de medição menor que os métodos tradicionais, reduzindo o tempo dos operadores na medição;

- Abrangência - as medições deverão poder ser realizadas em grandes extensões de água, com localização precisa dos diferentes pontos, viabilizando pesquisas mais abrangentes;
- Monitoramento em tempo real - As medições deverão poder ser transmitidas em tempo real com precisão de tempo e localidade para análise, agilizando o estudo do local. Além disso, o dispositivo deverá oferecer formas de validação dos dados após a conclusão do percurso;
- Integração - Os dados coletados deverão poder ser facilmente integrados e importados para sistemas e outras tecnologias, contribuindo para a análise dos dados.

1.3 Metodologia

O presente projeto foi dividido em quatro etapas. Primeiramente, foi realizada uma pesquisa sobre as metodologias de avaliação da qualidade da água, assim como as tecnologias disseminadas para tal objetivo para então definir os componentes individuais da plataforma. A segunda etapa envolveu os testes individuais dos componentes, passo fundamental para desenvolver o domínio das funcionalidades de cada item que compõem o protótipo. Na etapa seguinte, foi realizada a montagem do protótipo, unindo os componentes no produto final. Por fim, foram realizados testes de campo, visando avaliar o desempenho do equipamento em uma situação real, onde a solução foi aplicada na prática, colhendo resultado para análise e conclusão do experimento.

1.4 Organização do texto

O presente trabalho está estruturado em capítulos e, além desta introdução, será desenvolvido da seguinte forma:

- Capítulo 2: Conceitos fundamentais das tecnologias embarcadas em cada funcionalidade do protótipo, categorizados em Internet das Coisas, Arduino e Sensores, Comunicação, Geolocalização e Equipamentos Existentes.

- Capítulo 3: Detalhamento da solução aplicada a partir da concepção da arquitetura, dos testes unitários, do processo de construção do protótipo e dos testes finais.
- Capítulo 4: Os resultados, comparativo entre o resultado almejado e o obtido.
- Capítulo 5: Dedicado às considerações finais, assinala as contribuições da pesquisa e sugere possibilidades de aprofundamento posterior.

2 Conceitos Fundamentais

Este capítulo aborda os conceitos fundamentais das tecnologias presentes em cada funcionalidade do protótipo e apresenta equipamentos semelhantes. O capítulo está organizado da seguinte forma: a seção 2.1 faz uma apresentação da plataforma Arduino e seus sensores; A Seção 2.2 apresenta o conceito da Internet das Coisas (em inglês: Internet of Things, IoT) e suas aplicações; As Seções 2.3 e 2.4 tratam das tecnologias de Comunicação e Geolocalização, respectivamente; A seção 2.5 define a grandeza Condutividade Elétrica; A Seção 2.6 apresenta equipamentos com funcionalidades semelhantes ao projeto proposto.

2.1 Arduino

O Arduino é uma plataforma eletrônica versátil e de código aberto (aberto à comunidade para utilizar, alterar e colaborar), com o propósito de ser de fácil utilização (Arduino, 2021). Possui incorporado na sua placa um microcontrolador e diversas interfaces de entrada e saída, permitindo ler sinais de entrada, leituras de um sensor, e gerar ações como enviar um alerta através de uma conexão sem fio. Esta plataforma é a primeira opção para quem deseja desenvolver um projeto de Internet das Coisas, pois alia baixo custo, ampla gama de bibliotecas e inúmeros módulos personalizáveis, aliados a uma crescente comunidade de usuários que apoiam o projeto como um todo.



Figura 1. Placa Arduino UNO. ¹

¹ Disponível em: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>.

2.2 Internet das Coisas

O mundo está cada vez mais conectado. Com os avanços rápidos da tecnologia, os dispositivos portáteis e inteligentes se encontram disseminados na sociedade. Segundo a *Juniper Research* (2018, online), os dispositivos de Internet das Coisas devem chegar a 50 bilhões de unidades até 2022, representando um crescimento de 140% nas conexões. O barateamento de plataformas de Internet das Coisas, como o Arduino, a disseminação de ferramentas de desenvolvimento e de fontes de pesquisa sobre o tema, estão tornando esta tecnologia aplicável às mais diversas áreas. Largamente utilizados na indústria, estes dispositivos permitem coletar quantidades massivas de dados, seja de atividades que exigem alta precisão, ou então, em tarefas em que a mão de obra humana pode ser muito dispendiosa ou oferecem riscos potenciais à integridade física.

O termo Internet das Coisas abrange uma ampla gama de equipamentos, tais como sensores, *smartphones*, aparelhos de televisão, carros etc., quando estes são conectados a uma rede de comunicação, através de endereços individuais, com fio ou não, de forma que os dispositivos possam interagir e colaborar uns com os outros a fim de atingir objetivos comuns (Giusto et al., 2010).

2.3 Comunicação

O grande avanço tecnológico das telecomunicações nas últimas décadas viabilizou a conexão de praticamente todo o tipo de equipamento à internet. Em especial, a telefonia celular ganhou papel de destaque neste cenário, evoluindo dos sistemas analógicos e pouco disponíveis, para os sistemas digitais de voz e dados com alta disponibilidade.

Para plataformas de desenvolvimento de dispositivos de Internet das Coisas, como o Arduino, existem diversos módulos auxiliares que permitem a comunicação via radiofrequência, cada um dedicado a um protocolo específico. Entre os módulos mais acessíveis, destacam-se os que utilizam as tecnologias GSM/GPRS. As tecnologias GSM (*Global System for Mobile Communications*) e GPRS (*General Packet Radio Service*) foram avanços implementados na telefonia celular de segunda geração. O GSM implementou a transmissão digital de voz, e a GPRS, os serviços de dados por pacotes, em taxas de até 115 Kbps (KUROSE; ROSS, 2013).

2.4 Geolocalização

Geolocalização é o conceito de determinar a posição geográfica de um ser ou objeto (Djuknic; Richton, 2001). O posicionamento é determinado a partir de coordenadas geográficas no globo terrestre, permitindo assim averiguar a relevância das posições para localização, identificação e planejamento. Apesar do conceito de geolocalização ser antigo, o mesmo está muito presente nos dias de hoje, graças aos celulares. Diversas empresas oferecem serviços baseados na localização do usuário, tanto explicitamente quanto implicitamente, e o mesmo não é diferente quando se trata de dispositivos Internet das Coisas.

As informações de geolocalização podem ser obtidas por diferentes métodos, como WI-FI, radiofrequência ou GPS, onde cada um desses possui diferentes características que determinam a sua aplicabilidade. Logo, o método escolhido para o protótipo foi um equipamento de GPS, que oferece um resultado preciso com baixo custo de aquisição e implementação na plataforma Arduino.

2.5 Condutividade Elétrica

A condutividade de uma solução eletrolítica é a medida de sua capacidade de conduzir eletricidade. As medições de condutividade são usadas rotineiramente em muitas aplicações industriais e ambientais como uma maneira rápida, barata e confiável de medir o conteúdo iônico em uma solução (Gray, 2004). Utiliza-se a medição da condutividade elétrica para monitorar o desempenho dos sistemas de purificação de água, por exemplo. A condutividade está ligada diretamente ao total de sólidos dissolvidos no meio. A unidade SI de condutividade é Siemens por metro (S/m). Geralmente, a condutividade de uma solução aumenta com a temperatura, conforme aumenta a mobilidade dos íons. Para fins de comparação, os valores de referência são relatados a uma temperatura padrão, geralmente 25° C. A água deionizada de alta qualidade tem uma condutividade de cerca de 0,5 $\mu\text{S} / \text{cm}$ a 25°C, a água potável típica está na faixa de 200 - 800 $\mu\text{S} / \text{cm}$, enquanto a água do mar é de cerca de 50 mS / cm (ou 50.000 $\mu\text{S} / \text{cm}$), segundo a *Lenntech - Water Treatment and Purification* (2020, online). A temperatura da água afeta diretamente esta grandeza (Fig.2), portanto, faz-se necessário o registro da temperatura da água simultaneamente.

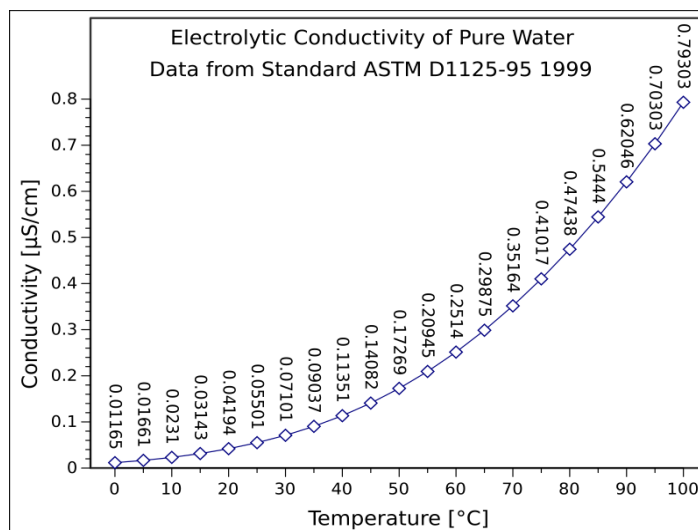


Figura 2. Curva de Condutividade x Temperatura.²

Como define Halliday, a condutividade é a medida da capacidade de um material conduzir eletricidade, ou seja, o inverso da resistividade elétrica, que é a capacidade de um corpo se opor à passagem da corrente elétrica. Então, ao determinar a resistividade, podemos calcular a condutividade elétrica (Halliday, 2016).

A resistividade é uma propriedade dos materiais, enquanto a resistência é específica de um componente. Mede-se a resistência entre dois pontos de um condutor aplicando uma diferença de potencial V entre esses pontos e medindo a corrente i resultante. A resistência R é dada por (Halliday, 2016):

$$R = \frac{V}{i} \quad (\text{definição de } R).$$

O modo de calcular a resistividade ρ é análogo ao cálculo da resistência. Deve-se considerar, ao invés da diferença de potencial V e corrente i em um resistor, o campo elétrico E existente em um ponto do material e a intensidade de corrente J . Tem-se então (Halliday, 2016):

$$\rho = \frac{E}{J} \quad (\text{definição de } \rho).$$

² Disponível em: [https://en.wikipedia.org/wiki/Conductivity_\(electrolytic\)#/media/File:Conductivity_of_Pure_Water.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Conductivity_(electrolytic)#/media/File:Conductivity_of_Pure_Water.svg)

Por conseguinte, temos que a condutividade elétrica, σ , é dada por (Halliday, 2016):

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (\text{definição de } \sigma).$$

2.6 Equipamentos Existentes

Atualmente, a detecção de poluição aquática pode ser realizada tanto *in loco*, quanto remotamente. O primeiro modo exige que o técnico percorra os pontos de interesse e realize testes com um medidor multiparâmetro (Instrusul, 2019) (Fig.3), tal equipamento permite avaliar as características da água e salvar os resultados em memória interna, porém, não armazena nenhum dado referente a localização geográfica, fazendo com que exista a necessidade do técnico realizar tal registro por outros meios.



Figura 3. Medidor Multiparâmetro Instrusul. ³

De forma distinta, há a possibilidade de realizar o monitoramento remotamente, sem a necessidade de um técnico, através de sensores que executam as medições e enviam os dados obtidos via rádio para um servidor (Libelium, 2019) (Fig.4). Entretanto, estes sensores são de operação fixa, ou seja, devem permanecer afixados em um ponto, por

³ Disponível em: <https://www.instrusul.com.br/produto/medidor-multiparametro-a-prova-d-agua-ins-87-sonda-de-condutividade-com-certificado-de-calibracao-19442>.

exemplo o pilar de uma ponte, pois necessitam estar na área de cobertura da antena de rádio e devem manter apenas suas sondas imersas na água.



Figura 4. Smart Water Sensor Libelium. ⁴

Segundo a Fundação Instituto das Águas do Município do Rio de Janeiro - RIOÁGUAS (2013), sondas multiparamétricas (Fig.5) também são utilizadas no monitoramento da qualidade da água da Lagoa Rodrigo de Freitas. Ao longo da margem da lagoa estão instaladas estações de monitoramento (Fig.6).

⁴ Disponível em: <http://www.libelium.com/smart-water-sensors-to-monitor-water-quality-in-rivers-lakes-and-the-sea/>.



Figura 5. Sonda modelo TROLL 9500. ⁵



Figura 6. Estação de monitoramento. ⁶

Cada estação de monitoramento é composta por um tubo parcialmente imerso na lagoa, onde fica instalada a sonda, e uma central lógica, presa a um poste. As leituras da sonda são enviadas para a central lógica através de cabos e então transmitidas via rede celular para a Fundação RIOÁGUAS.

⁵ Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/documents/91265/2972533/10+-+RIOAGUAS+-+Plano+de+Gest%C3%A3o+Ambiental+da+Lagoa+Rodrigo+de+Freitas+-2013>

⁶ Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/documents/91265/2972533/10+-+RIOAGUAS+-+Plano+de+Gest%C3%A3o+Ambiental+da+Lagoa+Rodrigo+de+Freitas+-2013>

3 Projeto

3.1 Arquitetura

A sonda desenvolvida tem como objetivo ser capaz de acompanhar o percurso de um rio flutuando sobre ele, realizando a coleta de dados no caminho. A natureza flutuante do dispositivo e a necessidade de proteger os componentes eletrônicos da umidade exigiu a utilização de peças impermeáveis. Assim, para o invólucro do protótipo, peças utilizadas em instalações hidráulicas atendem os requisitos de impermeabilidade, além de possuírem baixo custo. O item denominado “CAP” (Fig.7), é um tampão, fabricado em PVC, utilizado nas extremidades de tubulações de esgoto. Para o projeto, foram utilizadas duas peças conectadas através de um “colar” com seção de dez centímetros de tubo DN200. Este tipo de material dispensa o uso de cola para unir as partes, seu encaixe preciso garante a estanqueidade.



Figura 7. Elemento CAP 200mm. ⁷

⁷ Disponível em: <http://www.chiva.com.br/2013/produto.php?id=76>

3.2 Definição do Hardware

Existem diferentes plataformas de prototipagem eletrônica como Raspberry Pi, Microcontrolador PIC, NodeMCU e Arduino. O Arduino possui preços acessíveis tanto da plataforma quanto dos diferentes componentes, ao mesmo tempo em que é largamente difundido. Isso se deve a sua natureza de código aberto, flexibilidade de utilização graças às interfaces de comunicação variadas e uma comunidade crescente que oferece suporte para o projeto colaborativamente.

Assim, a base do *hardware* da sonda é composta de uma plataforma Arduino conectada a diversos *shields* (módulos do Arduino que implementam as funcionalidades de sensoriamento e comunicação) que providenciam diferentes capacidades, resultando em um circuito que atende as necessidades de captura precisa e envio das informações coletadas.

A lista a seguir contém os componentes utilizados para a montagem do protótipo:

- Arduino UNO R3 - Uma plataforma Arduino básica recomendada para iniciantes e projetos pequenos, o mesmo apresenta um custo baixo tornando-o mais acessível. Este é base do hardware da sonda;
- GPS Ublox Neo-6M - Módulo de GPS para Arduino, permite obter a localização precisa da sonda através de coordenadas geográficas, sendo usada para saber as diferentes localizações das medições realizadas;
- Regulador de tensão - Um regulador de tensão em 3.3V e 5V;
- Real Time Clock DS1302 - Módulo de tempo real para Arduino, o mesmo possui uma bateria própria para medição do tempo, garantindo a precisão da informação;
- Leitor de cartão SD - Módulo de leitura de cartão para Arduino, permite a inserção, leitura e escrita em um cartão de memória flash SD. Este é utilizado para armazenamento das informações coletadas em caso de falha de comunicação;
- GSM/GPRS SIM 800L - Módulo de comunicação GSM do Arduino, permite a utilização da rede 2G para envio das informações coletadas;

- Protoboard - Uma placa de ensaio que permite a composição circuito sem necessidade de soldagem dos componentes;
- LED (*light-emitting diode*, em português: diodo emissor de luz - Sinais luminosos utilizados para informar o funcionamento da sonda e seus componentes; e
- Resistores - Componentes eletrônicos utilizados para reduzir o fluxo de corrente elétrica e dividir tensões para ajustar a carga do circuito.

A escolha dos *shields* a serem utilizados foi motivada não só pelas especificações do projeto como pelas limitações do modelo do Arduino disponível. O Arduino UNO, por ser um modelo de entrada, possui apenas catorze pinos digitais onde são conectados a maioria dos *shields* para utilização. Logo, os componentes escolhidos devem preencher o requisito de não necessitarem de mais pinos para sua utilização em conjunto do que a quantidade disponível. Além disso, com uma quantidade considerável de *shields* trabalhando paralelamente, a quantidade de memória necessária para atender a todos se torna um fator de dificuldade para o projeto. O Arduino UNO possui apenas 2Kb de memória, onde uma utilização elevada do total pode levar ao Arduino não se comportar adequadamente devido a problemas de estabilidade. Logo, os componentes listados devem possibilitar a utilização em paralelo de forma que não exceda a capacidade de memória do Arduino enquanto atendem os requisitos especificados para o protótipo.

3.2.1 Sensores

Existem diversos fatores que indicam alterações da qualidade da água como PH (potencial hidrogeniôco), turbidez, condutividade elétrica, temperatura, entre outros. Para realizar medições desses valores, existem diferentes sensores específicos disponíveis no mercado que aferem essas propriedades, inclusive como módulos para a plataforma Arduino, sendo assim compatíveis com o protótipo do projeto. Para uma prova de conceito do protótipo em desenvolvimento, o sensor de temperatura e o de condutividade elétrica foram os escolhidos. O sensor de temperatura adquirido foi o modelo DS18B20,

específico para imersão em água. Já o sensor de condutividade elétrica foi desenvolvido especificamente para o projeto. Ambos foram escolhidos por possuírem baixo custo de aquisição e confecção para o protótipo, além de um baixo consumo de energia, enquanto fornecem dados com precisão assertiva para análise da qualidade da água no local. A arquitetura do protótipo permite que, posteriormente, outros sensores mais onerosos e específicos possam ser incluídos no projeto, sem prejuízo às características atuais e aumentando a capacidade sensorial do dispositivo.

A fabricação do sensor de condutividade elétrica partiu do princípio de que, como dito anteriormente, a condutividade é a medida da capacidade de um material conduzir eletricidade, ou seja, o inverso da resistividade elétrica, que é a capacidade de um corpo se opor à passagem da corrente elétrica. Portanto, ao determinar a resistividade, podemos calcular a condutividade elétrica. Como a resistividade mede grandezas microscópicas (Halliday, 2016), utilizou-se a medida de resistência, que lida com grandezas macroscópicas, podendo ser aferida facilmente.

O dispositivo comumente utilizado para determinar a resistência de um condutor é o Ohmímetro, sendo possível sua implementação com o Arduino, conforme diagrama abaixo (Fig.8). O resistor “R”, deve possuir um valor conhecido, já o resistor “X”, foi substituído por um par de eletrodos planos que devem ficar imersos na água.

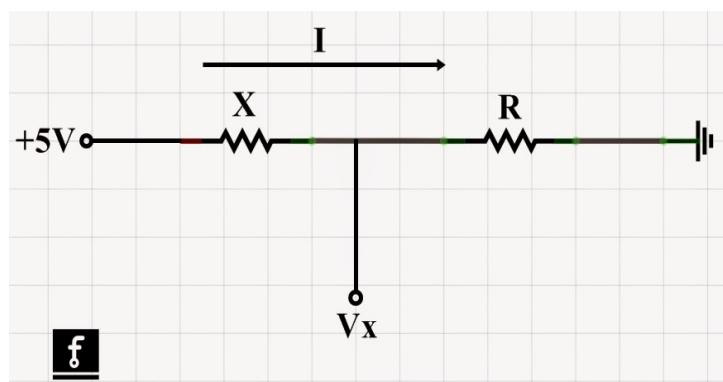


Figura 8. Esquema do Circuito do Ohmímetro.

3.3 Testes Individuais

Inicialmente, foi testada a flutuabilidade e estanqueidade do corpo do protótipo. Para assegurar a estanqueidade, o corpo do protótipo foi submerso a uma profundidade de cinquenta centímetros, por um período de uma hora. Após este período, foi aberto

para averiguar a ocorrência de alguma infiltração de água, o que não ocorreu. Cabe ressaltar que o dispositivo percorrerá o curso d'água pela superfície, este teste objetivou garantir a integridade do hardware mesmo em situações atípicas.

No teste de flutuabilidade, foi adicionado no interior do corpo um peso de 01 quilograma, peso máximo estimado para os componentes eletrônicos, e o protótipo colocado na superfície da água. O resultado esperado seria o objeto flutuar com a lâmina d'água aproximadamente na metade de sua altura, desta forma, entendemos que o corpo ficará estável, evitando que tombe e fique com os sensores fora da água, bem como, não interfira na comunicação e na aquisição do sinal de posicionamento global. O resultado obtido atendeu as expectativas, onde cerca de 40% da altura do corpo permaneceu submerso.

O primeiro sensor a ser testado foi o sensor de temperatura (Fig.9). Sua operação é simples, o sensor é conectado a alimentação e dele retorna uma tensão variável, esta tensão é convertida para uma escala de temperatura. O sensor de condutividade elétrica (Fig.9) utiliza o princípio da associação de resistores. Com um resistor de valor conhecido determina-se matematicamente o valor do segundo resistor, neste caso a água. Utiliza apenas uma porta analógica do Arduino, que recebe a leitura da tensão e posteriormente calcula o resultado.

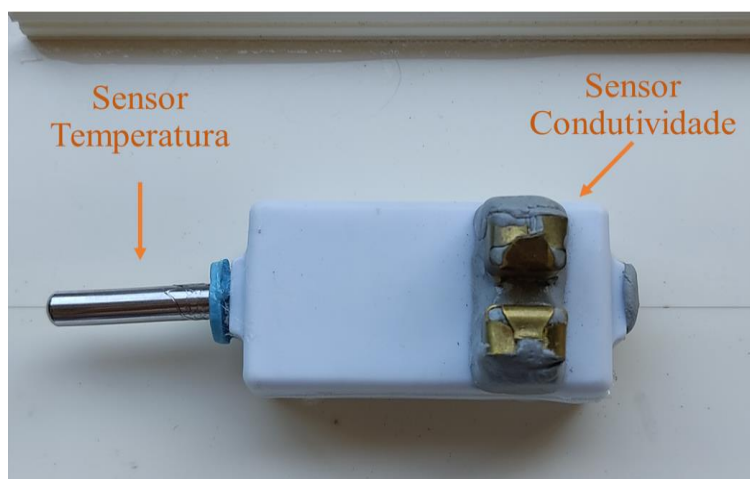


Figura 9. Sensores implementados.

O objetivo do teste realizado nesta etapa foi certificar que a conexão dos sensores estava correta e que não haveria infiltração de água pelo módulo de sensores. A carcaça inferior da sonda foi colocada na superfície de um recipiente imergindo o módulo de sensores na água (Fig.10). Comprovamos através da interface no computador (Fig.11)

que os sensores estavam obtendo os registros desejados. Um teste mais completo será descrito na seção Testes de Campo.

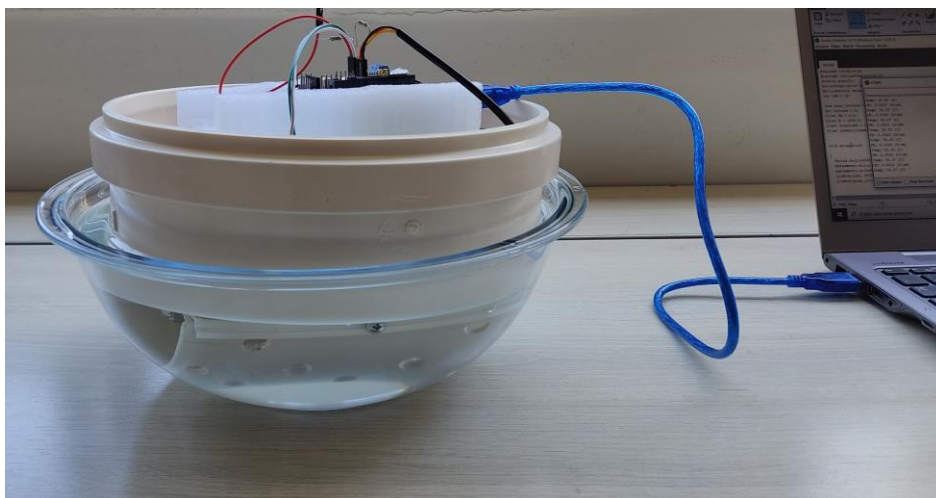


Figura 10. Teste dos Sensores.

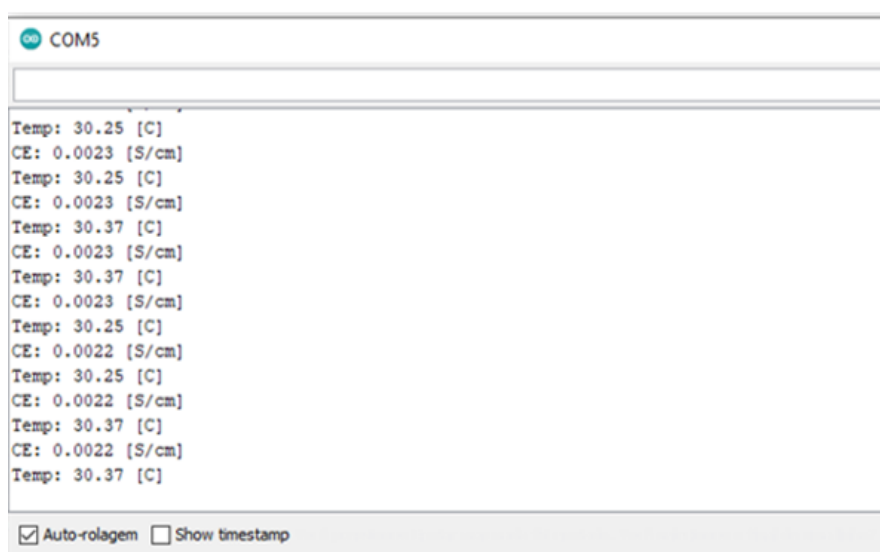


Figura 11. Resultado do teste.

Para os demais testes, foi necessário certificar-se que haveria portas suficientes no *Arduino* para conectar todos os componentes. O esquema de montagem (Fig.12) representa a conexão dos itens, em ordem iniciando pela esquerda: Módulo de Cartão *SD*, Sensor de Temperatura, Sensor de condutividade, Módulo de Tempo Real, *GPS* e por último, *shield* *GSM/GPRS*. Os *LEDs*, azul e verde, são responsáveis pela sinalização visual do protótipo e estão localizados na parte externa da carcaça.

Algumas restrições práticas foram encontradas para realizar esta representação. Primeiramente, não existe um sensor de condutividade disponível em nenhum dos aplicativos de montagem de circuitos, nem para *download*. Para tanto, foi utilizado um sensor de umidade do solo para esta representação. O sensor de temperatura real possui três conectores, o do aplicativo possui quatro, logo, um deles não foi ligado. Os *shields* de GPS e GSM/GPRS não são fidedignos, suas portas não correspondem aos objetos reais. Entretanto, as conexões no Arduino são exatamente as implementadas na codificação do projeto real.

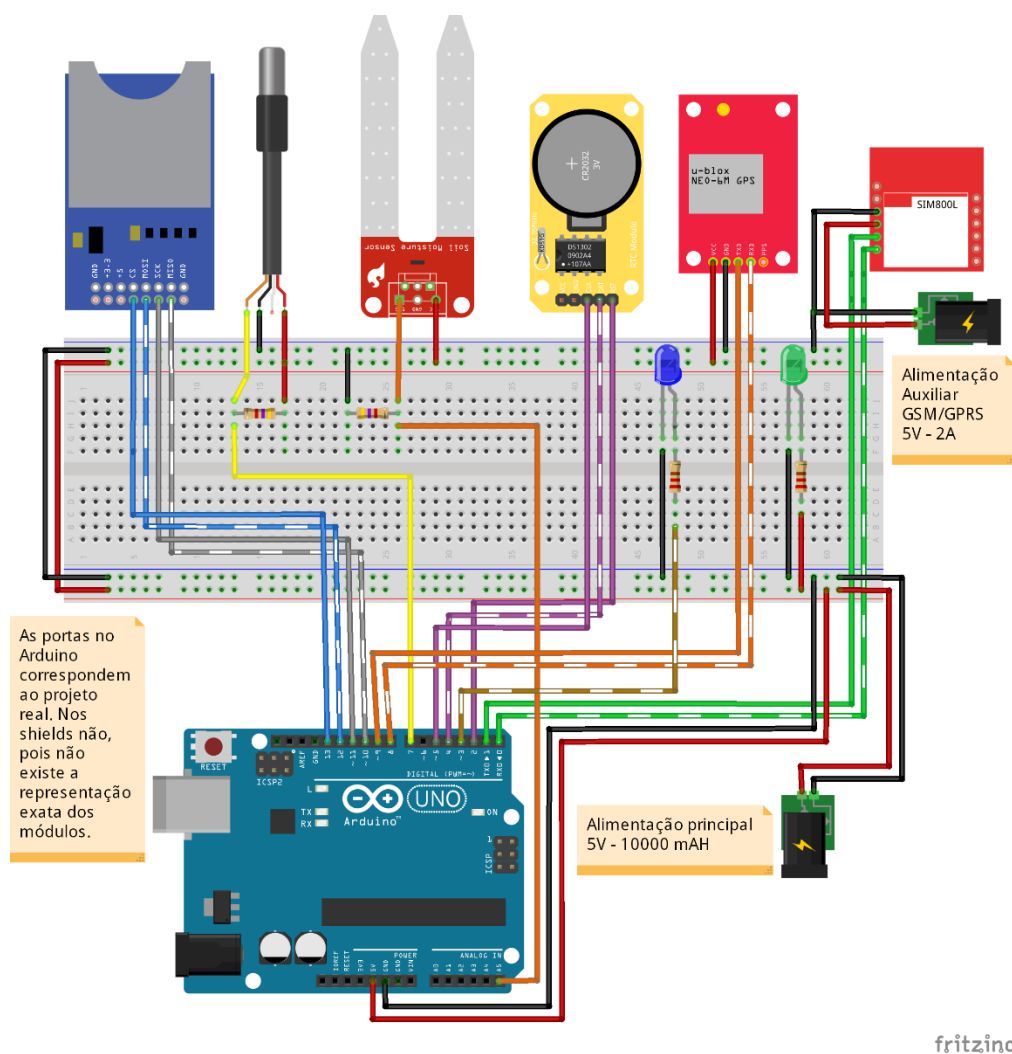


Figura 12. Montagem dos módulos.

3.4 Montagem do Protótipo

O processo de montagem iniciou-se pela criação de um módulo de sensores (Fig. 13 A), que permitisse substituir, reparar ou acrescentar outros componentes, evitando perfurar a carcaça da sonda desnecessariamente, o que poderia comprometer a estanqueidade. A base do módulo foi fixada junto de um passa fio (Fig.13 B) na carcaça inferior, com apenas um furo, o objetivo do passa fio é permitir a substituição dos cabos e atuar como uma segunda barreira contra a entrada de água. O módulo de sensores (Fig.13 C) recebeu um escudo protetor em pvc (Fig.13 D), para evitar choques físicos que pudessem danificar os sensores.

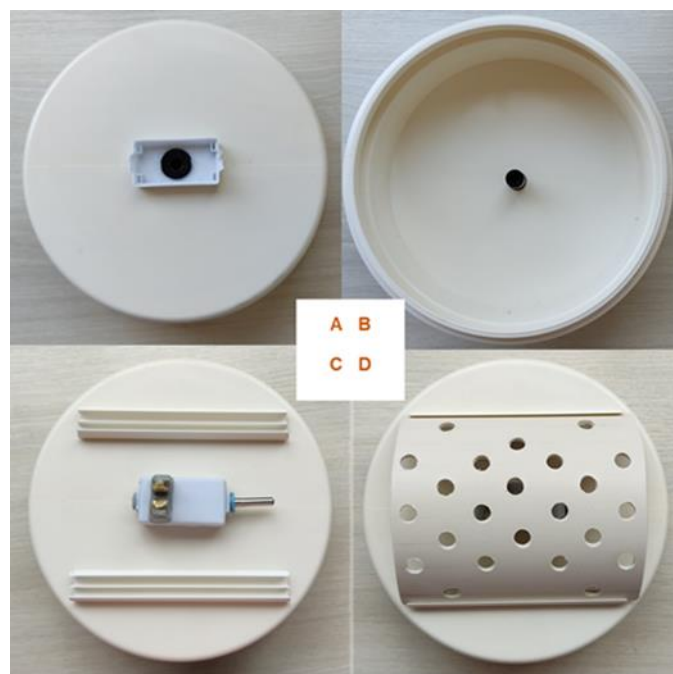


Figura 13. Carcaça inferior.

Ainda na carcaça inferior, foi fixado um bloco de polietileno de baixa densidade para alojar os componentes eletrônicos, este material também auxilia na absorção de impactos. Arduino e *shields* foram fixados neste bloco (Fig.14).

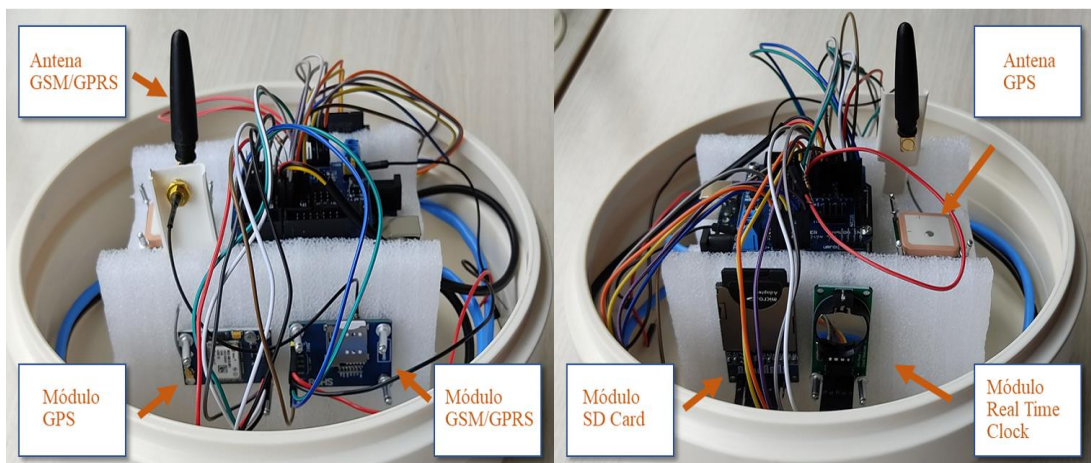


Figura 14. Alojamento dos componentes eletrônicos.

Na parte externa da carcaça superior foi montado um conjunto de dois *LEDs* para sinalização (Fig.15 A). O primeiro *LED*, de luz verde, indicador de suprimento de energia, permanece ligado enquanto houver carga no sistema. Sua função é também garantir que a fonte de energia não entre em desligamento automático, garantindo um consumo mínimo de energia, evitando interrupções durante a manutenção. Já o segundo, indica que o Arduino está funcionando, de luz azul intermitente. No interior da carcaça superior está alojada a fonte de alimentação (Fig.15 B). O protótipo conta com uma fonte de energia de duração limitada, uma alternativa para expansão deste trabalho seria a inclusão de uma placa fotovoltaica e de um carregador, permitindo um aumento significativo da autonomia da sonda. Após a acomodação de todos os componentes eletrônicos no interior da sonda, as partes inferior e superior são unidas através do colar de PVC, o encaixe garante a estanqueidade da sonda e praticidade no momento de fechamento e abertura, já que dispensa o uso de ferramentas. A figura 16 mostra a sonda pronta para uso.

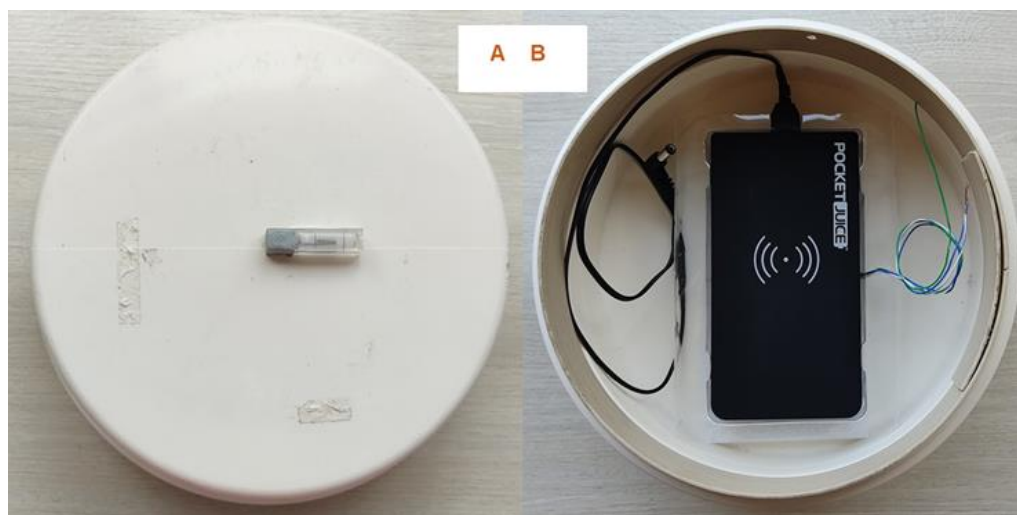


Figura 15. Carcaça superior.



Figura 16. Sonda montada.

4 Resultados

Espera-se com este projeto demonstrar a viabilidade de uma plataforma autônoma para identificar pontos de despejo de poluentes em cursos de água, de forma alternativa ao monitoramento realizado localmente por um técnico. Pretende-se demonstrar que é possível realizar um levantamento abrangente e com baixo custo.

4.1 Testes de Campo

Devido às restrições impostas pela pandemia, o protótipo foi testado somente em ambiente interno. Caso o teste fosse realizado em um ambiente externo, observaríamos os seguintes aspectos: flutuabilidade, capacidade de registrar variações nas propriedades físicas da água, obtenção da geolocalização e estabelecimento de comunicação via rede celular. Entre estes pontos, somente o posicionamento geográfico via *GPS* ficaria prejudicado ao realizar o experimento em ambiente fechado, uma vez que seriam registradas as mesmas coordenadas a todo momento. Os demais aspectos são passíveis de reprodução em ambiente interno (Fig.17). Para a exibição dos dados, foi utilizada a plataforma ThingSpeak, a mesma que seria adotada para testes em ambiente externo. Esta plataforma é dedicada à recepção, tratamento e exibição de dados provenientes de dispositivos de Internet das Coisas.



Figura 17. Ambiente de teste

Após ligada, a sonda necessita apenas alguns segundos para iniciar a conexão via GSM/GPRS, ao colocar a sonda sobre a superfície da água ela deverá enviar as primeiras medições em instantes. Inicialmente é utilizada apenas água potável e à temperatura ambiente, os dados das primeiras medições são transmitidos ao servidor. Para simular uma condição de água com propriedades alteradas, ou poluídas, é diluída na água uma mistura de bicarbonato de sódio e café. A adição desta mistura é suficiente para alterar a condutividade elétrica do meio e ser detectada pelo sensor, a alteração desta propriedade fica evidente na visualização gráfica (Fig.18). Para certificar que o sensor de temperatura é sensível, basta despejar cubos de gelo na água e aguardar até que os dados atualizados sejam enviados ao servidor e exibidos no gráfico de temperatura (Fig.19). Como o experimento foi estacionário, não são perceptíveis alterações relativas à localização, salvo por pequenas variações causadas pela precisão do dispositivo receptor (Fig.20).

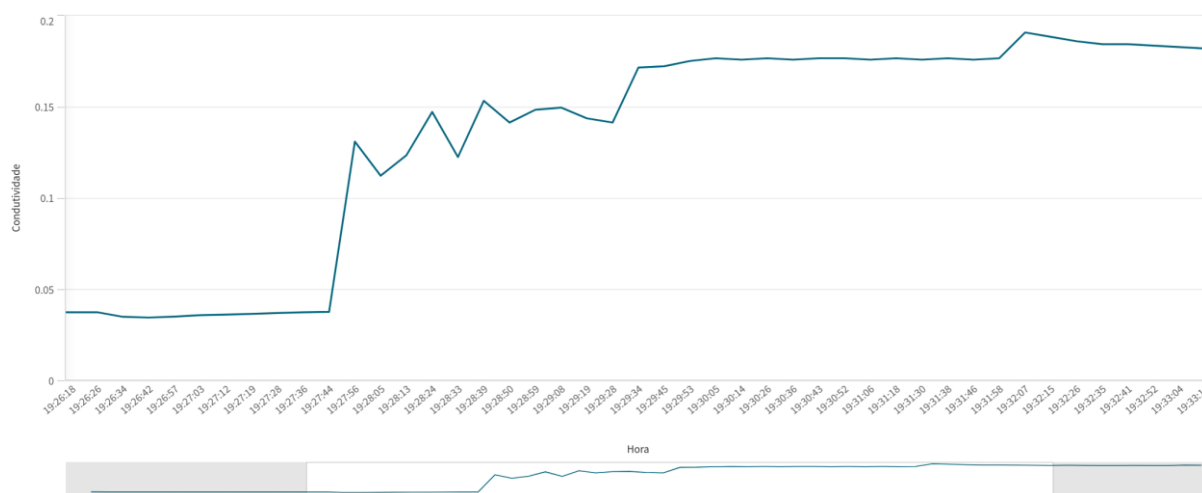


Figura 18. Gráfico Condutividade.

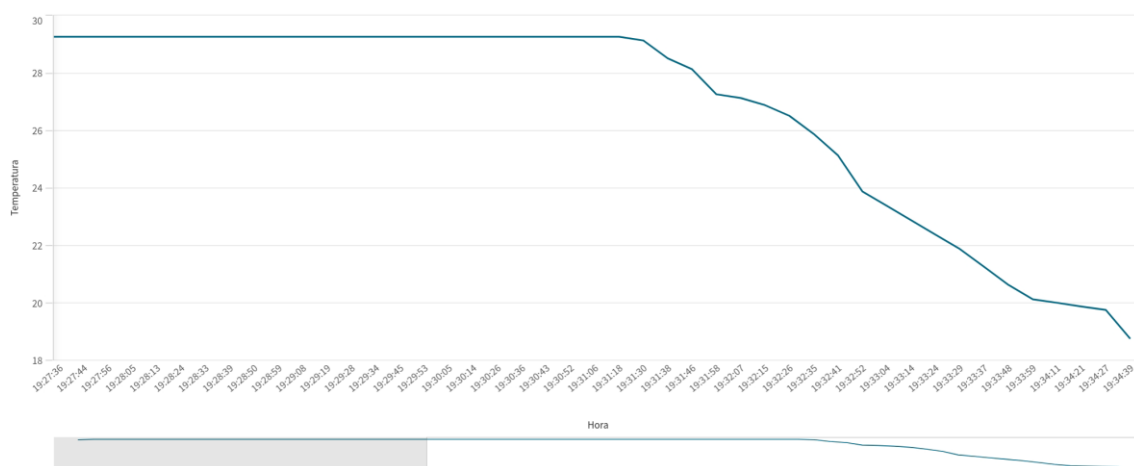


Figura 19. Gráfico Temperatura.

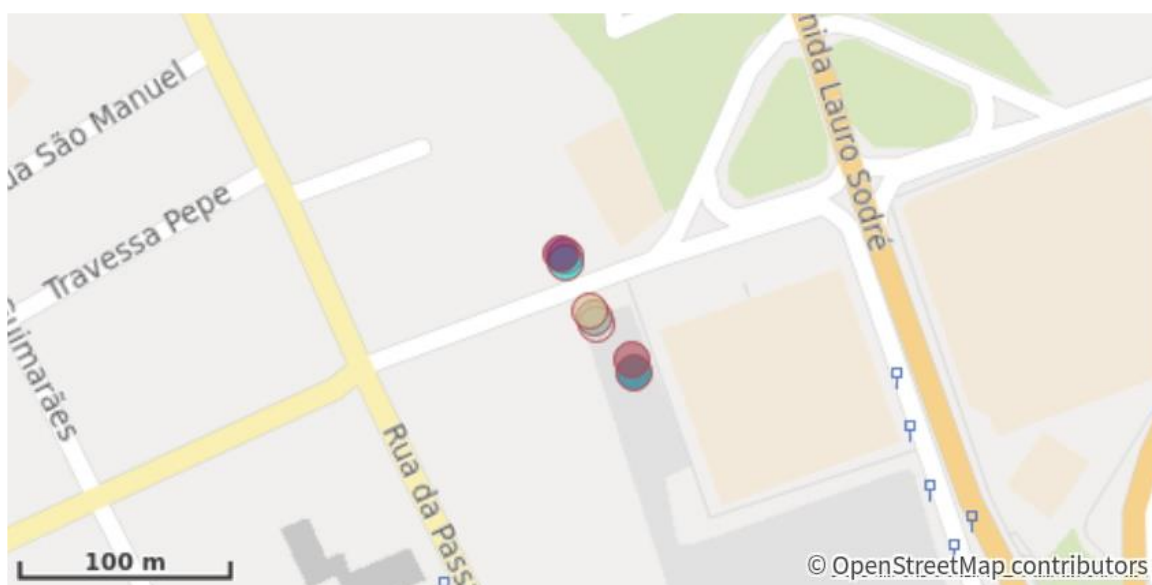


Figura 20. Pontos de GPS.

4.2 Avaliação

A avaliação custo-benefício do projeto é positiva. O protótipo desenvolvido possui custo de aproximadamente 10% do valor dos produtos comerciais existentes. Cabe ressaltar, que o equipamento Medidor Multiparâmetro (Instrusul, 2019) depende do manuseio de um operador, logo, é necessário agregar o valor desta mão de obra, despesas com deslocamento, combustível, entre outros. Outro equipamento comercial, o Smart Water Sensor (Libelium, 2019), possui características semelhantes, dispensa o operador

e envia suas medições via rede sem fio. Entretanto, não possui mobilidade para rastrear os pontos onde a emissão de poluentes atinge a corrente de água. Como a sonda dispensa a instalação de infraestrutura local, propicia que possa ser utilizada em represas, reservatórios, tanques de piscicultura, ou seja, qualquer local onde é relevante o monitoramento da qualidade da água, bastando apenas lançá-la na superfície, podendo operar livre ou ancorada em um ponto específico. Outro diferencial é o fato de ser customizável, visto que o protótipo é facilmente adaptável para inclusão de outros sensores, diferentes tecnologias de comunicação graças a plataforma *Arduino* ser de fácil programação. É fundamental registrar que nenhum dos equipamentos apresentados neste trabalho elimina a necessidade de análises laboratoriais na determinação do tipo de contaminante dissolvido na água.

Diante do exposto, o protótipo se mostrou uma alternativa viável no monitoramento de rios e lagos, servindo como uma espécie de sentinela. Possibilitando que a inspeção técnica ocorra somente quando houver indícios de poluição. Como entre dados enviados está a geolocalização, a vistoria pode ser direcionada a um local específico, proporcionando economia de recursos humanos e financeiros.

5 Conclusão

A água limpa, disponível na natureza, torna-se um recurso mais escasso a cada dia. Os recursos hídricos, em todo o mundo, sofrem cotidianamente com a contaminação proveniente dos efluentes industriais e despejo de esgoto residencial não tratado. Existem normas ambientais, leis, e agências fiscalizadoras, mas faltam recursos humanos e financeiros que possibilitem o monitoramento de milhares de quilômetros de rios, lagos e reservatórios. Com o presente trabalho demonstrou-se ser possível desenvolver um equipamento autônomo de monitoramento da qualidade da água de baixo custo. Mesmo não eliminando por completo a necessidade de inspeções técnicas, o dispositivo atua como um indicador de quais pontos específicos podem estar recebendo efluentes prejudiciais, otimizando a fiscalização.

O projeto foi limitado pela disponibilidade de recursos financeiros. Com mais recursos, sensores mais precisos e relevantes no monitoramento da qualidade da água poderiam ter sido adquiridos e mais funcionalidades poderiam ter sido implementadas no protótipo. Outro fator limitante foi o longo período de restrições que enfrentamos ao longo do ano devido à pandemia de Covid-19. Esta dificultou sobremaneira a realização do projeto, uma vez que tratava-se de um projeto essencialmente prático e não foi possível realizar encontros presenciais.

Existem diversas frentes com oportunidades para expansão do projeto. Pode-se expandir a gama de dados coletados com a inclusão da altitude ou velocidade de deslocamento, obtendo assim informações acerca do deslocamento da sonda para uma análise do percurso. Outra abordagem possível é a implementação de uma comunicação dispositivo-dispositivo, formando uma rede autônoma de compartilhamento de dados, onde bastaria que um dispositivo atingisse uma área de cobertura de rede celular, para os dados serem transmitidos na totalidade. Outra funcionalidade necessária é um modo seguro de recuperação do dispositivo. O caráter customizável da plataforma permite que novas funcionalidades sejam implementadas de acordo com condições específicas de uso, ampliando ainda mais as capacidades do dispositivo de se adequar às diferentes características dos locais de medição.

Referências Bibliográficas

ALMEIDA, Fábio. Indústrias contribuem para Rio dos Sinos ser o mais poluído do RS. **G1 - O portal de notícias da Globo**, 29 de abril de 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2015/04/industrias-contribuem-para-rio-dos-sinos-ser-o-mais-poluido-do-rs.html>>. Acesso em: 07 de setembro de 2019.

ARDUINO (Itália). **Arduino Uno Rev3**. [S. l.], 5 jan. 2021. Disponível em: <https://www.arduino.cc/>. Acesso em: 12 dez. 2019.

BRASIL. **Decreto Nº 9.854**, 25 de Junho de 2019. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/D9854.htm>. Acesso em: 11 de outubro de 2019.

CÂMARA, Leonor Moreira. **Análise das relações intergovernamentais no contexto do Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA: um estudo dos condicionantes do relacionamento entre as instâncias estadual e municipal de governo**. Orientador: Spink, Peter. 1999. Tese (Doutorado em Administração de Empresas) - Doutorado, [S. l.], 2019. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/4593>. Acesso em: 13 out. 2020.

CHEN. Zhu, V. C. M. Leung, L. Shu and E. C. -. Ngai. **Green Internet of Things for Smart World**. in *IEEE Access*, vol. 3, pp. 2151-2162, 2015. doi: 10.1109/ACCESS.2015.2497312.

DJUKNIC, Goran M.; RICHTON, Robert E. Geolocation and assisted GPS. **Computer**, [s. l.], v. 34, n. 2, p. 123-125, 1 fev. 2001. DOI 10.1109/2.901174. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/901174>. Acesso em: 28 mar. 2021.

FALUDI, Robert. **Building Wireless Sensor Networks: A Practical Guide to the ZigBee Mesh Networking Protocol**. 1. ed. Sebastopol: O'Reilly, [2010]. 300 p. v. 1. ISBN 978-0-596-80773-3.

FUNDAÇÃO INSTITUTO DAS ÁGUAS DO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO - RIOÁGUAS (Rio de Janeiro - RJ). Paulo Luiz da Fonseca. Versão 02, Setembro de 2013. **Atualização do Plano de Gestão Ambiental da Lagoa Rodrigo de Freitas**, Rio de Janeiro, 1 set. 2013. Disponível em: <https://www.rio.rj.gov.br/web/smac/gestao-da-lagoa-rodrigo-de-freitas>. Acesso em: 2 fev. 2021.

GIUSTO, D.; IERA, A.; MORABITO, G.; ATZORI, L. **The Internet of Things**, Springer, 2010. ISBN: 978-1-4419-1673-0.

GRAY, James R. Conductivity Analyzers and Their Application. In: DOWN, Randy D.; LEHR, Jay H. **Environmental Instrumentation and Analysis Handbook**. EUA: Wiley, 2004. cap. 23, p. 491-510. ISBN 978-0-471-46354-2.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física: Eletromagnetismo**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. 812 p. v. 3. ISBN 978-85-216-3208-5.

INSTRUSUL (Brasil). **Medidor mutiparâmetro**. Rio Grande do Sul, 4 dez. 2019. Disponível em: <https://www.instrusul.com.br/produto/medidor-multiparametro-a-prova-d-agua-ins-87-sonda-de-ph-com-certificado-de-calibracao-19444>. Acesso em: 4 dez. 2019.

JUNIPER RESEARCH. IoT Connections to Grow 140% to Hit 50 Billion By 2022, As Edge Computing Accelerates ROI. **Juniper Research | Forecasting & Consultancy for Technology**, 2018. Disponível em: <<https://www.juniperresearch.com/press/press-releases/iot-connections-to-grow-140pc-to-50-billion-2022>>. Acesso em: 06 de outubro de 2019.

JUSTO, Patrick Di; GERTZ, Emily. **Atmospheric Monitoring with Arduino: Building Simple Devices to Collect Data About the Environment**. Sebastopol: O'Reilly, [2013]. 77 p. v. 1. ISBN 978-1-4493-38145.

KUROSE, James F.; ROSS, Keith W. **Redes de computadores e a internet: uma abordagem top-down**. 6. ed. São Paulo, SP: Pearson Education, [2013]. 634 p. ISBN 9788581436777.

LENNTECH B.V. (EUA). Water Conductivity. In: Water Conductivity. [S. l.], 1 jan. 2014. Disponível em: <https://www.lenntech.com/applications/ultrapure/conductivity/water-conductivity.htm>. Acesso em: 5 out. 2020.

LIBELIUM (Espanha). **Smart Water Sensor**. Zaragoza, 10 dez. 2019. Disponível em: <https://www.libelium.com/libeliumworld/smart-water-sensors-to-monitor-water-quality-in-rivers-lakes-and-the-sea/>. Acesso em: 10 dez. 2019.

MESSERLI, B., Grosjean, M., Hofer, T., Núñez, L., & Pfister, C. (2000). **From nature-dominated to human-dominated environmental changes**. *Quaternary Science Reviews*, 19(1-5), 459–479. doi:10.1016/s0277-3791(99)00075-x.

MONICO, João F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicações**. 2. ed. São Paulo, SP: Unesp, [2008]. 480 p. ISBN 9788571397880.

OWA, F.D. WaterPollution:Sources,Effects,ControlandManagement. **Mediterranean Journal of Social Sciences**, Nigéria, v. 4, ed. 8, p. 65-68, 1 set. 2018. DOI 10.5901/mjss.2013.v4n8p65. Disponível em: <https://sci-hub.do/https://www.mcser.org/journal/index.php/mjss/article/view/1760>. Acesso em: 18 ago. 2020.

PIMENTEL, David *et al.* Water Resources: Agricultural and Environmental Issues. **BioScience**, EUA, v. 52, ed. 10, p. 909-918, 1 out. 2004. DOI 10.1641/0006-3568(2004)054[0909:WRAAEI]2.0.CO;2. Disponível em: <https://academic.oup.com/bioscience/article/54/10/909/230205?login=true>. Acesso em: 15 set. 2020.

PREMEAUX, Emery; EVANS, Brian. **Arduino Projects to Save the World**. 1. ed. New York: Apress, [2011]. 256 p. v. 1. ISBN 978-1-4302-36238.

RIOS, Aurélio V. *et al.* **O Direito e o desenvolvimento sustentável**: Curso de direito ambiental. São Paulo: Instituto Internacional de Educação do Brasil, 2005. ISBN 85-7596-051-2.

SCHIMITT, Jair. **Crime sem castigo**: A efetividade da fiscalização ambiental para o controle do desmatamento ilegal na Amazônia. 2015. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) - Doutorado, Brasília, 2015. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/19914/1/2015_JairSchmitt.pdf. Acesso em: 22 dez. 2020.

SILVEIRA, Sandro Moura da; GONÇALVES, Thadeu Santos Silva. **Automação Residencial utilizando Arduíno e SO Android**. Orientador: Leonardo Luiz Alencastro Rocha. 2016. 63 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Sistemas de Informação) - Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.