



Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Engenharia Eletrônica

Prototipação de sistemas eletrônicos para o monitoramento de qualidade da água

Autor: Igor Sousa Nunes de Oliveira
Orientador: Dr. Marcus Vinicius Batistuta

Brasília, DF
2021



Igor Sousa Nunes de Oliveira

Prototipação de sistemas eletrônicos para o monitoramento de qualidade da água

Monografia submetida ao curso de graduação em (Engenharia Eletrônica) da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em (Engenharia Eletrônica).

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Dr. Marcus Vinicius Batistuta

Brasília, DF

2021

Igor Sousa Nunes de Oliveira

Prototipação de sistemas eletrônicos para o monitoramento de qualidade da água/ Igor Sousa Nunes de Oliveira. – Brasília, DF, 2021-
77 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Dr. Marcus Vinicius Batistuta

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA , 2021.

1. Água. 2. Parametrização. I. Dr. Marcus Vinicius Batistuta. II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Prototipação de sistemas eletrônicos para o monitoramento de qualidade da água

CDU 02:141:005.6

Igor Sousa Nunes de Oliveira

Prototipação de sistemas eletrônicos para o monitoramento de qualidade da água

Monografia submetida ao curso de graduação em (Engenharia Eletrônica) da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em (Engenharia Eletrônica).

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 10 de fevereiro de 2021:

Dr. Marcus Vinicius Batistuta
Orientador

Titulação e Nome do Professor
Convidado 01
Convidado 1

Titulação e Nome do Professor
Convidado 02
Convidado 2

Brasília, DF
2021

*Este trabalho é dedicado a todos os profissionais
produtores de conhecimento científico que mudaram
a forma de viver e trouxeram melhorias para toda sociedade*

Agradecimentos

Realmente sem a presença de uma grande quantidade de pessoas na minha vida, este trabalho não seria concluído. Muito obrigado ao Dr. Marcus Vinicius Batistuta pela enorme paciência e todo apoio durante toda essa construção. Entretanto um ponto que não posso relevar foi a grande quantidade de grandes amigos e colegas que tornaram a jornada desde minha primeira aula até aqui muito melhor do que seria sem a presença deles.

Este trabalho pode ter meu nome e ter meu conhecimento. Mas nunca teria existido sem o apoio de uma quantidade tão grande de pessoas que não consigo nem ao mesmo enumerar. Agradeço a todos que me ajudaram quando estive doente e nem ao mesmo conseguia escrever durante minha formação. Mesmo sendo um período ruim foi possível devido a presença de ótimos professores que tive.

Para quem convive comigo principalmente fora da vida acadêmica, nunca me esquecerei de nenhuma palavra de apoio que recebi, ou mesmo da companhia que me ajudou dia após dia conseguir chegar onde pude chegar. E assim tenho certeza que crescer é poder compartilhar minha vida e meus aprendizados com pessoas como vocês que me ajudaram a me tornar a pessoas que sou.

“Nanos gigantum humeris insidente”
(Bernardo de Chartres)

Resumo

Este trabalho propõe a construção e caracterização de um protótipo para um sistema de monitoramento e controle da qualidade da água, com a pretensão de contribuir para o aperfeiçoamento, e a viabilização prática e de baixo custo, dos atuais procedimentos usados pela Agência Nacional de Águas (ANA) e por outras agências estaduais e municipais similares, que precisam realizar coletas periódicas de amostras de águas para análise ou aferem localmente diferentes parâmetros. O equipamento proposto deve estar apto a ser integrado aos procedimentos e metodologias de análise já estabelecidos no Brasil e no mundo, para que seja possível um melhor acompanhamento da qualidade da água nos rios, lagos, aquíferos subterrâneos e mares.

Palavras-chaves: Água; Sistema de monitoramento; Qualidade da água; Sistemas em tempo real; Instrumentação eletrônica.

Abstract

This work proposes the construction and characterization of a prototype for a water quality monitoring and control system, with the intention of contributing to the improvement, and the practical and low cost feasibility, of the current procedures used by the Agência Nacional de Águas (ANA) and other similar state and municipal agencies, which need to periodically collect water samples for analysis or locally measure different parameters. The proposed equipment must be able to be integrated with the analysis procedures and methodologies already established in Brazil and worldwide, so that a better monitoring of water quality in rivers, lakes, underground aquifers and seas is possible.

Keywords: *Water; Monitoring System; Water Quality; Real Time Systems; Electronic Instrumentation.*

Lista de ilustrações

Figura 1 – Fórmula do IQA	23
Figura 2 – Horiba U-50	26
Figura 3 – Riversurveyor	26
Figura 4 – Atmega328p	27
Figura 5 – <i>Raspberry pi 3 model b</i>	28
Figura 6 – Esp32	29
Figura 7 – MSP430	30
Figura 8 – Sistema de monitoramento proposto	34
Figura 9 – Exemplo de sistema para a utilização de energia solar (Com adapta- ções) (PEDRO REIS, Acesso em: 02/11/2020)	38
Figura 10 – Display LCD 16x2	44
Figura 11 – Módulo de comunicação I2C	45
Figura 12 – Modelo da central	45
Figura 13 – Arduino IDE	46
Figura 14 – Arduino IDE interface	46
Figura 15 – EasyEDA	47
Figura 16 – EasyEDA interface	47
Figura 17 – Circuito Atmega	48
Figura 18 – Instalação do Display e módulo I2C	48
Figura 19 – Ideia para a construção do sensor de condutividade	50
Figura 20 – Kit sensor de condutividade Atlas Scientific	51
Figura 21 – Inmetro	51
Figura 22 – <i>Current Sourcing e Current Sinking</i> exemplo	52
Figura 23 – Gráfico para a resistência de entrada da porta lógica	53
Figura 24 – Cabo de força tipo 8	54
Figura 25 – Esquemático do sensor de condutividade	54
Figura 26 – Sensor de temperatura DS18B20	55
Figura 27 – Circuito de montagem DS18B20	56
Figura 28 – Equações de média móvel	57
Figura 29 – Modos de funcionamento	58
Figura 30 – Esp32	59
Figura 31 – Arquitetura de comunicação	60
Figura 32 – CloudMQTT	60
Figura 33 – Estrutura Publisher-Subscriber no MQTT	60
Figura 34 – Arduino Nano	62
Figura 35 – Multímetro digital Stanley Stht 77364	64

Figura 36 – Teste do servidor	66
Figura 37 – Estados de funcionamento do subsistema de comunicação.	67
Figura 38 – Fonte Utilizada no projeto	68
Figura 39 – Placa com o sistema integrado(Vista superior)	69
Figura 40 – Placa com o sistema integrado(Vista Inferior)	69
Figura 41 – Curvas de qualidade IQA - fonte:(CETESB, 2017)	77

Lista de tabelas

Tabela 1 – Pesos dos parâmetros de qualidade da água - Fonte:(CETESB, 2017) .	23
Tabela 2 – Opções de controladores	35
Tabela 3 – Cronograma de atividades	41
Tabela 4 – Características do sensor DS18B20	56
Tabela 5 – Comparação Arduino Nano e Atmega328P	63
Tabela 6 – Comparações de medida de temperatura	64
Tabela 7 – Custos dos componentes	70

Lista de abreviaturas e siglas

AD	Analógico/Digital
CI	Circuito Integrado
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i>
pH	Potencial hidrogeniônico
OD	Oxigênio dissolvido
DBO	Demanda biológica de oxigênio
DQO	Demanda química de oxigênio
NSF	<i>National Sanitation Foundation</i>
IQA	Índice de qualidade das águas
GND	<i>Ground</i>
HDMI	<i>High-Definition Multimedia Interface</i>
BLE	<i>Bluetooth low energy</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
MQTT	<i>Message Queue Telemetry Transport</i>
M2M	<i>Machine to machine</i> ou máquina a máquina
Inmetro	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
LCD	<i>Liquid crystal display</i>
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
RX	<i>Receiver</i>
TX	<i>Transmitter</i>
AC/DC	Conversão de corrente alternada para corrente contínua

Sumário

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Descrição do problema	18
1.2	Justificativa	19
1.3	Objetivos	19
1.3.1	Objetivos Gerais	19
1.3.2	Objetivos específicos	20
1.4	Requisitos	20
1.5	Metodologia	20
1.6	Organização do Trabalho	22
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1	Os índices, padrões e parametrização da água	23
2.1.1	O índice de qualidade da água	23
2.1.2	Potencial hidrogeniônico	24
2.1.3	Oxigênio dissolvido	24
2.1.4	Condutividade elétrica	24
2.1.5	Turbidez	25
2.1.6	Temperatura	25
2.2	Estado da Arte	25
2.2.1	Horiba U-50	25
2.2.2	Riversurveyor S5 e M9	26
2.3	Controladores e funcionalidades para o projeto	27
2.3.1	ATmega328p	27
2.3.2	Raspberry pi 3 model b	28
2.3.3	ESP32	29
2.3.4	MSP430	29
2.4	Caracterização dos Sensores e Transdutores	30
2.5	Coleta de Dados e Temporização	31
2.6	Comunicação	31
2.7	Fontes de energia	32
3	ARQUITETURA PROPOSTA	33
3.1	Central de controle	34
3.2	Subsistema de sensoriamento	35
3.3	Módulo de comunicação	35
3.4	Subsistema de alimentação	36

4	CRONOGRAMA DE ATIVIDADES	39
4.1	Atividades propostas	39
4.2	Cronograma proposto para as atividades de prototipação do projeto	41
5	DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	42
5.1	Central de controle	43
5.1.1	Escolha do controlador	43
5.1.2	Definição de elementos adicionais	44
5.1.3	Ferramentas e plataformas para o desenvolvimento	46
5.1.4	Construção do protótipo da central de controle	48
5.2	Sistema de sensoriamento	48
5.2.1	Escolha de parâmetros	48
5.2.1.1	Condutividade Elétrica	48
5.2.1.2	Temperatura	49
5.2.2	Escolha de sensores	49
5.2.2.1	Condutividade Elétrica	49
5.2.2.1.1	Escolha da resistência ajustável	51
5.2.2.1.2	Definição da resistência da porta do controlador	52
5.2.2.1.3	Definição dos limites de temperatura	53
5.2.2.1.4	Escolha de eletrodo	53
5.2.2.1.5	Sistema completo do sensor	54
5.2.2.2	Temperatura	55
5.2.2.3	Filtro de sinais	56
5.2.2.3.1	Filtro de média móvel	57
5.2.2.4	Frequência de amostragem	57
5.3	Sistema de comunicação	59
5.3.1	Escolha de componentes	59
5.4	Sistema energético	61
5.4.1	Escolha de componentes	61
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
6.1	Testes Funcionais	62
6.1.1	Sistema Central	62
6.1.2	Subsistema de sensores	64
6.1.2.1	Sensor de temperatura	64
6.1.2.2	Sensor de condutividade	65
6.1.3	Subsistema de comunicação	65
6.1.4	Alimentação do projeto	67
6.1.5	Integração	68
6.1.6	Custos	69

7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
7.1	Trabalhos futuros	72
	REFERÊNCIAS	74
	ANEXOS	76
	ANEXO A – CURVAS DE QUALIDADE IQA	77

1 Introdução

A água é o elemento principal quando se busca vida em algum ambiente. Ela é o recurso natural que compõe, em grande parte, os seres vivos. Além disso, ela também é indispensável para o ser humano nos mais diferentes processos que ela apresenta, desde o uso como bebida, limpeza, usos recreativos, industriais e agrícolas, estando presente em diversos ciclos biológicos e químicos. ([CARTA EUROPEIA DA ÁGUA, 1984](#))

Aproximadamente 71% da terra é coberta por água. Por isso, ela é um dos elementos mais presentes no globo terrestre e até mesmo uma das partes mais constituintes na composição dos seres vivos. Mesmo tendo uma grande quantidade de água no planeta, a maior parte (97,4%) está presente em mares e oceanos na qual está concentrada uma grande quantidade de sais minerais, sendo um dos mais presentes o cloreto de sódio, que traz o nome característico dessas águas, "água salgada". Devido a quantidade de salinidade, a mesma necessita de um processo muito mais caro para se tornar potável. ([A ÁGUA, Acesso em: 02/11/2019](#))

A água doce é mensurada em 2,6% de toda água disponível na terra. Deste total, 1,8% dela é encontrada, em estado sólido, próxima aos polos, em geleiras ou até mesmo no topo de montanhas. O restante, 0,96, está disponível, em sua maior parte, em aquíferos subterrâneos. Já a menor parte se encontra, superficialmente, em rios e lagos. ([A ÁGUA, Acesso em: 02/11/2019](#))

Mesmo observando que há uma quantidade bem menor de água doce, em comparação à água salgada; sabendo-se que a água doce é, em muitos casos potável, diminui-se ainda mais a porcentagem de água que é potável pelos seguintes motivos: há Corpos d'água que são, frequentemente, contaminados por origem natural (como, por exemplo, a decomposição de corpos) ou por origem antropológica (como é o caso de depósitos de fontes industriais ou mesmo residenciais).

A quantidade de água disponível para o consumo humano é fortemente abalada, em casos de grandes acidentes. Quedas de barragens, por exemplo, provocam um impacto devastador e podem demorar décadas para que exista uma melhora do quadro negativo ocorrido. Além disso, há contaminações com óleo em rios e mares, despejo de mercúrio, aditivos químicos e metais pesados. E, ainda, que o corpo d'água não seja contaminando com materiais tóxicos, ocorrem mudanças nas águas disponíveis, mudando seus parâmetros de forma não natural o que pode ocasionar diversos problemas a curto, médio e longo prazo.

Alguns impactos, com pequenas mudanças nas águas, produzem quase um efeito dominó. Modificações, como a elevação de temperatura, podem alterar a quantidade de

oxigênio dissolvido da água. Em um ambiente com a presença de uma temperatura mais elevada, os peixes necessitam de um consumo maior de oxigênio, devido sua maior mobilidade. No entanto, tirando esse equilíbrio, a quantidade de peixes em rios pode diminuir drasticamente. Sabe-se que, para diversos grupos populacionais, estes animais são uma das principais formas de alimentação, o que mostra o efeito que a mudança de um parâmetro da água pode trazer em uma série de consequências maléficas para todos os seres que a utilizam.

A longo prazo, a deposição de metais pesados nas águas pode fazer com que os seres humanos, que possam ingerir a mesma, desenvolvam uma série de problemas no sistema nervoso e ainda levá-los a uma maior incidência de câncer, além dos metais terem responsabilidades pela morte de espécies ou mesmo serem transferidos para outros seres, devido à sua forte bioacumulação. Os efeitos desse tipo de contaminação, no ser humano, podem aparecer em décadas o que dificulta uma ação imediata, principalmente, em grupos de pessoas de baixa renda que não possuem fácil acesso a programas de saúde.(FREITAS et al., 2019)

A verificação de parâmetros da água se torna uma característica importante, dada a importância da água e a necessidade da mesma para os diversos usos que os seres apresentam. Quando se trata de monitoramento, há diversas atividades que podem ser verificadas a partir da análise da qualidade das águas como: observar os casos de poluição, examinar as necessidades para possíveis tratamentos e, dessa forma, se conseguir informações necessárias por meio de dados coletados para que, a partir disso, se possa trabalhar em iniciativas que venham melhorar a qualidade dos corpos d'água como é o caso da possibilidade de se diminuir a poluição contida no mesmo e, ainda, se buscar medidas de prevenção, entre outras, que possam trazer certa melhora.

O que dificulta o monitoramento de água é que os equipamentos utilizados possuem um alto custo. O equipamento utilizado pela Agência Nacional de Águas(ANA) o Horiba U-50, em sua versão inicial, custa mais de \$3000,00 dólares. Este valor é apenas o de uma sonda local que necessita da presença de um agente para executar as medições para, em seguida, inserir os dados no sistema. Este método, além de inviabilizar medições em tempo real, ainda possui um alto custo.

O trabalho produzido não possui a intenção de substituir todo método de monitoramento. O que se pretende é uma integração com o mesmo. De modo que esta nova ferramenta, além da etapa da verificação, possa ser ainda uma nova etapa em tempo real que também seja preventiva.

O trabalho proposto inclui a construção de um protótipo de estação de medição autônoma e de baixo custo que integra múltiplos sensores, podendo constituir uma rede com múltiplas estações, transmitindo dados em tempo real de grandes áreas onde uma gama de parâmetros poderá ser continuamente aferida. Tal sistema dispensa a intervenção

frequente de operadores humanos na coleta de amostras de água e dados de medição, proporcionando além de um sistema que mostre o impacto ambiental de poluentes, e que integre uma metodologia preventiva de desastres ambientais, minimizando seu impacto sobre o meio ambiente e de forma direta e indireta, incluindo os aspectos socioeconômicos.

1.1 Descrição do problema

O Brasil possui grandes fontes de água potável, se compararmos com outros países. A água é um recurso natural importantíssimo. Por isso, por comum, se costuma dizer: onde não há água, não há vida. A quantidade de água que temos no Brasil é mais do que suficiente para suprir toda a população brasileira. No entanto, há regiões onde a água potável é bem precária. Um dos fatores que tem causado isso é a forma desigual com que a mesma é distribuída em nosso território.

Nota-se, então, que um problema recorrente no Brasil não é exatamente a quantidade de água em nosso território, mas, na verdade, uma má distribuição dos aquíferos. Além disso, nos deparamos com o excesso de poluição da mesma. Como se percebe, há diferentes tipos de poluição: natural, industrial, urbana e agropastoril. Também, há os incidentes de causas não naturais (interferência humana) ou chamados de "poluição dita acidental", que ocorre devido à imprudência do homem ou por algo fora do controle humano. O fato é que todas estas causas têm prejudicado bastante a qualidade das águas no Brasil.

Sabemos que há sondas e testes para se verificar a qualidade das águas em nosso país. No entanto, devido ao custo alto nos equipamentos utilizados, os mesmos se tornam um grande problema no processo de um sistema para se monitorar, com qualidade, uma grande quantidade de pontos que possa cobrir partes significativas do território brasileiro. Fora isto, quando se trata de verificar a qualidade e o processo de coleta para a averiguação em laboratórios, constata-se que, mesmo possuindo uma qualidade e uma quantidade extremamente maior de parâmetros, isto requer a necessidade da coleta e de transporte que, também, possuem um alto preço. Além disso, ainda, há a impossibilidade de se fazer este processo em diversos pontos distribuídos no Brasil. ([AGÊNCIA EXPLICA COMO É FEITO MONITORAMENTO DE RIOS](#), Acesso em: 07/10/2019)

Os atuais processos necessitam de uma extensa mão de obra humana, custam muito e, mesmo dessa maneira, não é um sistema que consegue prevenir desastres tais como: grandes correntes de água, contaminantes extremamente perigosos para a manutenção da vida dos seres humanos, animais e outras formas de vida. Então, o que se pretende desenvolver é um sistema que possa monitorar, em tempo real, casos de poluição ou roubo de água e, além disso, outros crimes contra a água disponível no território brasileiro, permitindo que possam ser tomadas medidas contra indivíduos que pratiquem atos ilícitos

e também que se possa evitar o mau uso da água disponível.

1.2 Justificativa

Observando os problemas do atual sistema de monitoramento da água no país, este trabalho busca propor um sistema que possa ser feito em tempo real, possua um ótimo custo-benefício e consiga medir de forma suficiente (quantidade e qualidade de parâmetros) para que seja utilizado de maneira mais ampla de modo que, além de se medir a qualidade da água, possa, por meio de monitoramento, em tempo real, disponibilizar quadros de poluição e melhor entendimento dos possíveis causadores.

O que se espera é se conseguir um sistema de segurança a mais e verificar, mesmo que de forma simples, a existência de alguns acidentes que possam ser evitados como contaminações, principalmente, se tratando de regiões onde haja grande aumento de fluxo de água, ou até mesmo começo de aumento de níveis da turbidez que possam indicar um desabamento de barragem a acontecer com um pouco mais de tempo para que o máximo de vidas humanas não sejam prejudicadas e a água disponível no território nacional possa, em um futuro não muito distante, ter uma melhor qualidade. Isto, em questão de recursos naturais, será uma melhoria para toda sociedade.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivos Gerais

Desenvolver e validar um protótipo de sistema eletrônico autônomo que permita a coleta de dados por meio do conjunto de sensores instalados de parâmetros da água que serão determinados e que estes índices sejam determinísticos para assegurar a qualidade da água e o controle que possa ser exercido pelo monitoramento.

A monitoração de corpos d'água da estação deve ser em tempo real e, por meio disto, constituir características preventivas, com comunicação e armazenamento de dados coletados em servidores com a utilização de redes sem fio.

O sistema deve possuir robustez para que possa ser instalado no meio ambiente sendo resistente as intempéries. Além de ser otimizável e adaptável de acordo o ponto onde a estação seja instalada para que a necessidade de intervenção humana possa ser minimizada e a autonomia seja ampliada.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar quais parâmetros são, principalmente, suficientes para assegurar a qualidade da água.
- Determinar um conjunto de sensores capaz de apresentar, com precisão, os dados a serem aferidos.
- Desenvolver e Validar um Sistema de Monitoramento com vida útil estendida, robusto, confiável, preciso e resistente às falhas e que dispense a intervenção humana por longos períodos.
- Desenvolver e Validar um Subsistema de Alimentação de Energia Elétrica que viabilize uma operação com confiabilidade, em locais remotos.
- Desenvolver e Validar um Subsistema de Comunicação que viabilize o envio de dados, em tempo real, a partir de locais remotos, à grandes distâncias.

1.4 Requisitos

- O sistema deve ser confiável e preciso.
- Não deve interferir com o meio ambiente de forma prejudicial.
- Os sensores integrados ao sistema devem ser duráveis e devem dispensar uma recalibração frequente, ou a necessidade de limpeza por longos períodos.
- O sistema deve ser modular e adaptável nas opções de sensores, alimentação e comunicação.

1.5 Metodologia

A metodologia que será utilizada para a concepção do protótipo se baseia, de forma inicial, no método *top-down*, buscando um maior entendimento sobre o problema apresentado como ponto de vista macro. A partir deste, compreender as variáveis que condicionam o problema a acontecer e, após isto, entender os requisitos funcionais do projeto. Esta prática de engenharia reversa decompõe todo o problema e mostra possíveis níveis para as especificações para os subsistemas ou mesmos componentes para o desenvolvimento do protótipo.

Por fim, para a futura construção dos módulos e integração do projeto, será utilizada uma metodologia do tipo *bottom-up*. Partindo dos requisitos, levantar a concepção

de subsistemas e, dentro desses componentes e configurações, que possa ser feita a melhor e mais otimizada solução para a construção de todos subsistemas e até mesmo uma integração harmoniosa destes para que, assim, possa suprir as demandas levantadas na primeira fase do projeto.

Neste projeto, o desenvolvimento pode ser evidenciado em uma subdivisão detalhada em fases como demonstradas a seguir.

- Fase inicial de concepção(TCC1):

É a fase constituída pelos levantamentos dos problemas, definições dos requisitos e do escopo. Por fim, o trabalho será voltado para a justificativa e os objetivos a serem aprimorados neste projeto.

- Fase de elaboração e planejamento(TCC1):

Trecho das atividades que serão voltadas para o planejamento da execução do projeto. Inicialmente, com a procura de metodologias para a construção do trabalho e, também, da fundamentação teórica como fonte de busca de resoluções para os problemas existentes. Nesta etapa, será realizado um estudo sobre o estado da arte e de diversos conceitos que possuem alto grau de importância e relevância a serem utilizados no projeto: estudos sobre os parâmetros da água, legislações ambientais sobre os valores típicos para água, estudos sobre componentes (microprocessadores, computadores de placa única, módulos eletrônicos e sensores) e, por fim, o estudo sobre alguns meios de comunicação entre o projeto e o servidor.

- Prototipação(TCC2):

Será a parte do projeto relacionada à construção do protótipo apresentado, além de testes de componentes e subsistemas, a sua integração e implementação em um ponto de medição para a validação do protótipo em condições sobre as quais foram previamente levantadas. Dessa forma, buscando-se os resultados e comparações com os equipamentos utilizados e os sistemas de dados apresentados. Por fim, haverá comparações entre as precisões de medições, velocidade de coleta de dados e custos dos equipamentos e sistemas.

- Documentação(TCC1 e TCC2):

Etapa correspondente à finalização do projeto. Constituindo-se da transcrição documental do projeto. Em primeiro momento, da fundamentação teórica, pesquisas concluídas e solução proposta. Depois, busca-se a ampliação deste documento com a prototipação e suas etapas de conceito e conclusões sobre este material.

1.6 Organização do Trabalho

A estrutura deste trabalho propõe, inicialmente, o Primeiro Capítulo para introdução do projeto, de forma a ser apresentado o tema. A partir do tema e da descrição do problema, foi-se fomentando, dessa forma, uma melhor noção da solução geral proposta. O Segundo Capítulo aborda uma maior revisão de literatura de forma a se fundamentar as escolhas, definições e propostas posteriores.

O Terceiro Capítulo aborda o sistema proposto para ser desenvolvido, onde se é apresentado algumas escolhas de *hardware*, algumas soluções para a alimentação do projeto, escolha de sistema de comunicação, bem como a implementação dos subsistemas em um sistema completo.

Por fim, no Quarto Capítulo, traz-se o planejamento para o desenvolvimento do projeto no trabalho de Conclusão de Curso 2, em forma de protótipo com sugestões de implementações e casos, além de um cronograma de trabalho.

2 Fundamentação teórica

2.1 Os índices, padrões e parametrização da água

2.1.1 O índice de qualidade da água

O índice de qualidade da água(IQA) é utilizado, no Brasil, como principal forma de classificação de corpos de água. Ele foi derivado do padrão americano de qualidade de água da *National Sanitation Foundation*(NSF) no qual se constituiu na padronização de um índice que pudesse determinar, com o auxílio de profissionais, parâmetros que conseguissem determinar a qualidade da água. O padrão da NSF buscou, por meio de um procedimento formal, combinar as opiniões de diversos profissionais através de questionários que serviram de base para definir um conjunto de 9 parâmetros da água, de maneira a se evitar e minimizar problemas que estavam relacionados com a análise arbitrária e comparações com outros índices previamente desenvolvidos. O IQA combina 9 parâmetros que foram transformados em curvas médias, desenvolvidas por especialistas, no intuito de se criar uma média ponderada em que, cada parâmetro, além de possuir uma função onde se exprime a importância de cada elemento na qualidade da água, também, tenha um peso específico, de acordo com sua importância em comparação com os outros parâmetros.(CETESB, 2017)

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

Figura 1 – Fórmula do IQA

Parâmetro de qualidade da água	Peso (w)
Coliformes termotolerantes	0,15
Demanda bioquímica de oxigênio	0,10
Fósforo total	0,10
Nitrogênio total	0,10
Oxigênio dissolvido	0,17
Potencial hidrogeniônico	0,12
Resíduos totais	0,08
Temperatura	0,10
Turbidez	0,08

Tabela 1 – Pesos dos parâmetros de qualidade da água - Fonte:(CETESB, 2017)

2.1.2 Potencial hidrogeniônico

O potencial hidrogeniônico(pH) é a escala logarítmica que mensura, em uma relação numérica adimensional, o balanço entre os íons hídrón(H⁺) e os íons hidroxila(OH⁻). A variação de valor do pH é medido entre 0 a 14. Valores abaixo de 7,0 indicam maior presença de íons H⁺ o que torna a solução mais ácida. Quando pH possui o valor 7,0, a concentração de íons H⁺ e OH⁻ são iguais. O valor obtido mostra a neutralidade do composto e, por fim, quando a concentração de íons de hidroxila é maior, a medição do pH possui o valor maior que 7,0 e limitado a 14,0 que demonstram um pH básico.([DERISIO, 2012](#))

Este indicador é alterado, especialmente, pela contaminação, por despejos oriundos de indústrias, considerando que, principalmente, os peixes se adaptam para condições de neutralidade. Portanto, mudanças bruscas no pH de um corpo d'água podem causar a morte dos seres presentes nela, acarretando grandes mudanças nestes biomas.

2.1.3 Oxigênio dissolvido

O oxigênio é o elemento químico(OD) essencial para o seres aeróbicos. Portanto, a presença de oxigênio na água permite a vida destes seres aquáticos. Esta propriedade é fortemente relacionada com a temperatura da água e com a salinidade, sendo inversamente proporcional com estas duas propriedades. Verifica-se que as ações humanas podem impactar problemas na temperatura alterando a oxigenação da água ou aumento da salinidade, prejudicando fortemente os seres que vivem no corpo de água. ([DERISIO, 2012](#))

Sabe-se que a presença de oxigênio dissolvido naturalmente na água muda, particularmente, de acordo a temperatura, salinidade e altitude do ponto de medição. Mas é notável que a redução desta propriedade ocorre principalmente pelo descarte de material orgânico nos corpos d'água.

2.1.4 Condutividade elétrica

Este parâmetro mensura a capacidade que um corpo conseguir transportar uma corrente elétrica através de si. Em uma solução, depende fortemente da concentração dos íons presentes. É uma unidade que pode ser utilizada de forma empírica para a determinação dos sólidos totais dissolvidos.

Em um corpo d'água existe a tendência de que a sua condutividade elétrica seja constante, então é um parâmetro que quando ocorre mudança é um forte indicador de poluição nas águas.([CONDUTIVIDADE](#), Acesso em: 01/11/2019)

2.1.5 Turbidez

É a propriedade física presente em fluídos que mensura o nível de perda de translucidez de um líquido. Assim, nota-se que um aumento no nível de turbidez torna o fluído menos transparente, sendo este evento causado pela presença de matérias em suspensão.

Na água, as principais matérias em suspensão são a argila, pequenos fragmentos de minerais e rochas que possuem o tamanho maior do que a argila e menores do que a areia na escala Wentworth de granulometria, além da presença de pequenas substâncias orgânicas ou mesmo organismos microscópicos. Um dos pontos observáveis em corpos d'água, com maior turbidez, é a direta relação entre turbidez e organismos patogênicos, devido à existência de partículas sólidas que consegue "proteger" estes organismos. (DERISIO, 2012)

2.1.6 Temperatura

Uma das principais características físicas da água se traduz como a medida estatística no nível de agitação das moléculas de um corpo. A temperatura é a forma de mensurar a intensidade de calor.

Na água, este parâmetro remete à propriedade dos líquidos terem a solubilidade a gases inversamente proporcional à temperatura. Dessa forma, observa-se que a quantidade de oxigênio dissolvido na água diminui à medida que a temperatura aumenta. Nota-se que os principais causadores do aumento de temperatura de corpos de água superficiais são despejos oriundos dos meios industriais ou mesmo descargas de fontes com maiores temperaturas e até mesmo a água utilizadas em processos de geração de energia provenientes de usinas termoeletricas e nucleares. (DERISIO, 2012)

2.2 Estado da Arte

Realizou-se uma pesquisa para buscar sistemas semelhantes ao proposto e entender as similaridades dos mesmos em busca de compreender as funcionalidades utilizadas, parâmetros da água coletados, além de seus custos e modos de operação.

2.2.1 Horiba U-50

Este equipamento é um dos utilizados pela ANA para medições dos agentes nos corpos d'água. Ele consiste em uma sonda capaz de medir 11 parâmetros simultaneamente, sendo produzida pela Horiba.



Figura 2 – Horiba U-50

Entre os parâmetros coletados por este aparelho estão o potencial hidrogeniônico, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, salinidade, sólidos dissolvidos totais, gravidade específica da água, temperatura, turbidez(LED), turbidez(lâmpada de tungstênio), profundidade da água e GPS. O mesmo não pode ser utilizado em água do mar devido a alta salinidade do meio, podendo oxidar as partes metálicas. O tempo de duração da bateria é aproximadamente 70 horas de uso. E, por fim, o meio de comunicação presente é por conexão *universal serial bus*(USB). O preço de venda da versão mais simples deste equipamento custa cerca de \$3000,00.([HORIBA, 2009](#))

2.2.2 Riversurveyor S5 e M9

Como segundo equipamento utilizado pela ANA, estes dois modelos de *acoustic Doppler current profiler*(ADCP) produzido pela Sontek consistem em um equipamento que utiliza o efeito Doppler (envio de pulsos sonoros e observação do eco produzido pelas partículas) para proporcionar as medições de partículas suspensas na água como sedimentos e plânctons. ([GAMARO, 2007](#))



Figura 3 – Riversurveyor

Este equipamento conta com uma alta precisão de medida. Entre alguns dos parâmetros medidos por este, encontram-se a medida de velocidade da água e das partículas suspensas na mesma, a medida de profundidade da água e temperatura e localização GPS. (SONTEK, 2015)

2.3 Controladores e funcionalidades para o projeto

Para o desenvolvimento do projeto, quatro plataformas foram majoritariamente escolhidas como foco de pesquisa para o sistema e, assim, abordar certos pontos para a definição dos melhores usos para cada um no sistema discorrendo, principalmente, de características de processamento, consumo energético e leitura dos dados dos sensores para uma melhor validação do sistema.

2.3.1 ATmega328p

O ATmega328p é um dos sistemas mais conhecidos por ser utilizado em placas de desenvolvimento Arduino. Ele é um CI construído pela Atmel da família megaAVR. É um sistema de alta performance e baixo consumo e é um micro controlador de 8-bit AVR, possuindo arquitetura RISC. Este sistema é capaz de executar uma instrução em um ciclo de *clock*, dessa maneira, tornando possível ser alcançável a velocidade de 1 MIPS/MHz. Observando a frequência padrão de funcionamento de 16MHz, pode ser obtido aproximadamente uma instrução por ciclo de *clock*. Isto propicia a otimização do projeto com uma ótima relação de processamento e consumo de energia.

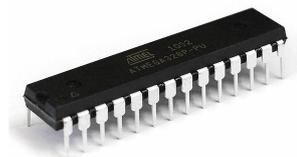


Figura 4 – Atmega328p

Para a utilização dos sensores, o mesmo possui um *General Purpose Input/Output*(GPIO) com 23 portas que possuem um grande valor devido a presença de portas para leitura analógica tanto quanto digital, ampliando o uso de sensores analógicos para leitura de parâmetros deste projeto. Sua tensão de operação se encontra entre 2,7V até 5,5V e temperatura de funcionamento entre -40°C a 125°C. Seu consumo, em modo ativo, é de 1,5mA, com uso em 3V e 4MHz. Este CI consegue fornecer 40mA por porta lógica. Alguns extras para sua utilização são: a possibilidade de ter um contador em tempo real adicio-

nando, um oscilador ao sistema compatível com i2C, seis modos para o *sleep* do sistemas e melhoria de consumo.

O CI é facilmente encontrado para compra, possui o menor valor entre os controladores pesquisados e menor tamanho. Em comparação com outras opções, é extremamente eficiente na reprodutibilidade do sistema, devido sua fácil troca e disponibilização em território nacional. Em contraponto, o mesmo não possui *bluetooth* ou *wi-fi* nativo o que incrementa maior custo no módulo de comunicação.(ATMEL, 2013)

2.3.2 Raspberry pi 3 model b

A *Raspberry Pi pi 3 model b* possui 40 pinos, dentre esses 26 de GPIO, o restante como pinos de alimentação de 5V e 3,3V, *Ground*(GND) e interface de comunicação. Como parte de sua configuração, possui uma porta *High-Definition Multimedia Interface*(HDMI), 4 portas do tipo USB 2, porta *Ethernet* do tipo T e porta de áudio de 3,5mm.

A alimentação da placa se dá com 5V. Para a corrente de alimentação, tem-se como máximo um consumo de 2,5A, utilizando os quatro núcleos do processador, periféricos e outros dispositivos que estejam ligados em seus pinos. A placa fornece em seus pinos I/O 54mA, possui frequência de operação de 1,2MHz e 1GB de RAM.

Um dos pontos de destaque, na sua utilização, é a presença do CI BCM43438 integrado à sua placa que faz com que ela possua internet sem fio(802.11 b/g/n *Wireless LAN*) e *bluetooth*(4.1) com baixo consumo de energia(BLE).



Figura 5 – *Raspberry pi 3 model b*

Na sua utilização, destaca-se o processamento da placa que pode ser utilizada para processamento gráfico e, com isso, a detecção de alguns parâmetros da água por imagem, além da presença de internet e *bluetooth* nativos. Algumas das principais desvantagens são o custo mais elevado na escolha de controladores, maior espaço ocupado no sistema,

maior consumo energético, além de suas portas não possuírem leitura analógica o que diminui a gama de sensores a serem utilizados ou que seja necessário utilizar conversores analógico/digital para a leitura do mesmo.(FOUDANTION, 2019)

2.3.3 ESP32

Este módulo de alta performance é ideal para algumas aplicações que envolvem o uso de *Wi-fi* e conta também com um baixo consumo de energia; possui uma memória *flash* de 4MB; a ESP32 permite o usuário, com certa facilidade, desenvolver projetos de *Internet of Things*(IoT); acessos remotos e principalmente a utilização de servidores para intermediar processos em sistemas.



Figura 6 – Esp32

Este sistema possui: um *clock* máximo de 240MHz; uma conexão *wireless* padrão 802.11 b/g/n; uma antena embutida em sua placa, *bluetooth* BLE 4.2. Em seu GPIO, há 11 portas no qual se encontram funcionalidades de *Pulse Width Modulation*(PWM), I2C e *Serial Peripheral Interface*(SPI). Possui um tensão de operação entre 4,5V e 9V; além de ter conversor analógico digital.(SYSTEMS, 2016)

Em contraponto, sua leitura analógica não é linear o que traz disparidades entre modelos diferentes deste módulo. Além disso, há uma produção exacerbada de ruídos quando existe a utilização do *wi-fi* ou *bluetooth* o que provoca diversos problemas na coleta de dados analógicos. Também há muita incerteza de medições e a necessidade de implementações de filtros analógicos para se reduzir este impacto, além de medidas de calibração para se linearizar melhor a leitura analógica e se suavizar as medições e ruídos.(ANALOG TO DIGITAL CONVERTER, Acessado: 15/11/2019)

2.3.4 MSP430

A MSP430 é um microcontrolador do tipo RISC de 16 bits, construído pela *Texas Instruments*. Ele é conhecido pelo seu baixo custo, além do baixo consumo que o torna muito interessante para o uso com alimentações de baterias.



Figura 7 – MSP430

A MSP430 possui quatro modelos diferentes. Neste caso, será abordada a MSP430G2553. Ela Possui 16 KB de memória *flash* e 512 bytes memória RAM. Esta placa possui 24 pinos em seu GPIO, tendo nestes a presença de dois *timers* de 16 bits, módulos ADC, comparadores. A placa ainda possui compatibilidade com UART, SPI e I2C.

O ponto forte no uso da MSP é seu consumo de energia muito baixo, em comparação outros microcontroladores. Então, na sua utilização, no sistema central, o fornecimento de energia das baterias se torna mais duradouro. Já em suas desvantagens, nota-se a ausência de meios de comunicação sem fio. Poucos modelos são tolerantes para entradas de 5V e fornecem 5V para alimentação dos sensores de forma que seja necessário utilizar uma alimentação externa para isso. (INSTRUMENTS, 2011)

2.4 Caracterização dos Sensores e Transdutores

A instrumentação eletrônica é grande parte deste trabalho, desde a classificação, a escolha dos sensores e transdutores até os processos de condicionamento dos sinais necessários para melhor conversão e funcionalidade em conjunto com o sistema. A escolha dos sensores, a utilização de métodos digitais e analógicos para redução de ruídos de medição, a verificação da melhor precisão e resolução são pontos que influenciam, em grande parte, no custo de projetos, além de serem a parte que necessita estar dentro dos limites de medição para entregarem resultados confiáveis.

Sensores e transdutores são equipamentos que possuem uma característica bastante peculiar no ponto de vista da construção de informação dentro de sistemas, utilizando, como exemplo, a Eletrônica, a possibilidade de se aferir grandezas físicas com auxílio desses equipamentos, por meio de valores de tensões, podendo-se observar a importância destes. Os sensores são dispositivos, que ao receber um estímulo físico, químico ou biológico, podem emitir um sinal no mesmo tipo de grandeza ou diferente que possa ser melhor

observado pelo sistema. Os transdutores são dispositivos que convertem uma forma de grandeza em outra mais propícia à medição. Então, todo transdutor é um sensor, mas a recíproca não é verdadeira.(DOEBELIN, 2012)

Uma boa escolha de componentes para a medição é um dos principais critérios neste projeto. Muitas características devem ser observadas: a precisão, a resolução fornecida pelo dispositivo, leitura da central, o custo dos aparelhos e a existência da necessidade de implementações de circuitos extras para o seu funcionamento e leitura. A integração destes deve ser da maneira mais otimizada e que colete os dados necessários para que o sistema seja confiável.

2.5 Coleta de Dados e Temporização

Um ponto, em destaque, no trabalho deve ser a possibilidade de verificação dos dados em tempo real e a frequência da medição dos dados do sistema a ser desenvolvido. A coleta de dados dos sistema necessita ocorrer de maneira que possa ser possível mudar a temporização dos dados, para que em medidas que os parâmetros mudem drasticamente em comparação com, pelo menos, a média de suas últimas dez medidas ele, sistema, aumente a frequência de medição para que sejam enviados mais rapidamente para o sistema de comunicação e alcance o servidor o mais rápido possível, de maneira que seja mais notável grandes aumentos de fluxos de água. isso pode mostrar indícios de possíveis acidentes ou mesmo grande focos de contaminação. Assim, poupam-se dados da rede utilizada para o envio dos dados coletados pelos sensores e mudanças de prioridades de leituras em situações onde a saúde pública e vidas estejam em risco.(DERISIO, 2012)

2.6 Comunicação

Para a comunicação do projeto, ressaltam-se algumas propriedades interessantes de cada tipo de comunicação que pode ser integrada. Num primeiro ponto, depende da escolha do controlador do projeto que determinar certas vantagens na comunicação. Dois dos controladores apresentados(*Raspberry pi 3 model b* e *Esp32*) já apresentam, nativamente em suas placas, a presença de comunicação do tipo *wi-fi* e *bluetooth* o que traz certa facilidade para a integração de todos os subsistemas. Já o *Atmega328p* e a *MSP430* não apresentam essas características, mas podem ser adicionadas com auxílio de dispositivos periféricos e módulos para a comunicação do sistema com o servidor.

2.7 Fontes de energia

Um dos pontos a se avaliar na construção de um produto ou mesmo na fase de prototipação são as fontes energéticas, principalmente, em ambientes afastados da rede elétrica. Em áreas isoladas, torna-se necessário observar duas escolhas para a instalação do aparelho no ponto de medição. A primeira é a análise e verificação da possibilidade para a instalação de um subsistema para geração de energia, no ponto onde não existir possibilidade da instalação deste subsistema. Outra opção é a instalação de um banco de baterias, com maior carga, que possa ser trocado com uma frequência comparada às atuais realizadas pela medição (Entre dois a seis meses) ou maiores.

No caso da construção de um subsistema energético, é importante notar que, devido ao baixo consumo do sistema, diferentes meios de geradores podem ser utilizados. Entretanto, um fato a ser analisado é a não constância da geração nesses sistemas. Por exemplo, a utilização da geração de energia por meio de células fotovoltaicas (Energia solar) existe a variação de acordo a incidência de luz solar durante o dia, em sistemas micro-eólicos existe a variação de fluxo de ar durante o período de geração, e por fim pequenos sistemas hídricos que podem ter sua geração afetada pelo fluxo de água utilizado.

Portanto, observando estes sistemas, em um ponto onde o sistema esteja afastado da rede elétrica, torna se importante a utilização de um sistema de baterias de forma que a energia proveniente do subsistema gerador seja tratado e, por fim, armazenado pelas baterias de forma que sua distribuição para o aparelho seja constante durante o tempo. É importante notar que, além das baterias, outros componentes para a filtragem e conversão devem ser utilizados.

Em pontos onde não é possível a construção de um subsistema gerador de energia, o banco de baterias deve possuir uma maior capacidade de armazenamento para que o equipamento possa aferir suas medições por períodos de tempos semelhantes ao já utilizados pelas medições atuais. A troca de baterias deve ser possível de ser realizada de forma fácil pela equipe de expedição neste ato. E, principalmente, se as mesmas forem recarregáveis, tornam possível a diminuição de poluentes gerados pelo descarte de baterias tal como um menor custo devido às trocas periódicas.

Diante do exposto, as fontes de energias devem ser utilizadas localmente, dependendo de onde possam ser melhores aproveitadas e com melhor eficiência energética, sendo usadas individualmente ou mesmo em conjunto em um sistema híbrido. Em casos em que seja possível uma alimentação fornecida diretamente pelo sistema elétrico, o sistema torna-se mais fácil ainda de ser implementado, além de um menor custo para sua instalação no local de medição.

3 Arquitetura proposta

Observando o método de monitoramento de águas, nota-se que para as amostras precisam de uma grande mobilidade para coletas, com um espaço de tempo maior, devido ao custo operacional (valores gastos com transporte, tempo de serviço humano, aparelhos de medição e capacitação técnica). O aparelho proposto busca reduzir, em boa escala, a necessidade de coletas, com a instalação de pequenas estações de medição automatizadas que tornem a frequência de medições maiores, fazendo com que este sistema seja preventivo contra acidentes e que possa mostrar indícios criminosos com mais facilidade, punindo, assim, rapidamente os infratores antes de maiores impactos ambientais que sejam notados apenas depois de um período maior de análise.

Para melhorar o processo de monitoramento das águas, será buscado desenvolver uma ideia de protótipo que tenha um melhor custo/ benefício, que seja facilmente replicado e que, dentro de seus subsistemas, possa ser adaptável e modularizado.

O Custo do projeto influencia muito na quantidade de pontos que podem ser instalados. Além disso, quando se trata de um grande país como o Brasil, um menor custo torna o produto mais viável. Com o estudo demográfico, é possível definir bons pontos de medição de maneira que seja otimizado a quantidade de aparelhos que sejam instalados, cobrindo o território e melhor mapeando os corpos de água do território nacional.

A replicabilidade do sistema é um fator muito importante. Ter peças com facilidade de serem encontradas dentro do país facilita o processo de construção em larga escala, permite que os componentes possam ser mais fáceis de serem repostos e também torna o sistema prático para ser produzido em larga escala. Pensando em um sistema com muitos pontos no Brasil, esta característica se torna muito importante.

A modularidade e reconfigurabilidade dos subsistemas são características importantes, pois certos parâmetros da água são práticos para serem medidos em todos os corpos de água como o pH, temperatura, turbidez e oxigênio dissolvido. Estes valores são facilmente medidos eletronicamente sem a necessidade da utilização de um laboratório. Entretanto, alguns corpos d'água necessitam de medições diferentes. O fluxo de água e a condutividade elétrica são exemplos de alguns parâmetros diferentes dos indicados e medidos pelo IQA, e estes parâmetros como também outros que podem servir como indicadores da qualidade da água de afluentes, lagos e outros pontos de medição. As necessidades de medições variam muito e, quanto mais otimizado sejam os dados coletados, menor o custo e melhor o desempenho do aparelho.

A modularidade do aparelho é importante, pois, dessa maneira, os subsistemas podem ser alterados com facilidade. A partir do ponto onde o sistema seja aplicado, cada

subsistema deve possuir o máximo de independência possível. Assim, deve ser observado o melhor módulo de alimentação para fornecer energia para o protótipo de acordo as fontes disponíveis; um melhor módulo de comunicação de acordo os tipos de sinais disponíveis (*Bluetooth* para aparelhos próximos; *wi-fi* para médias distâncias em redes preexistentes e o 3G para maiores distancias, utilizando sinais de rede moveis).

Separando o sistema em quatro subsistema, pode-se ter um melhor entendimento da proposta do projeto. O conjunto dos quatro permite que, harmoniosamente, o dispositivo possa ser instalado em diferentes locais e facilmente adaptado para melhor atender o que se faz necessário para a medição e monitoramento do local previamente estudado.

O sistema proposto foi idealizado como a junção de quatro subsistemas, sendo estes: a central de controle onde ocorrerá o processamento do sistema e onde está presente as baterias do sistema; o sistema de energia que é o subsistema que recarregará as baterias para uma maior durabilidade do sistema; o sistema de comunicação que será o trecho que será o mediador entre o sistema e o servidor, transferindo dados entre os dois e tornando o sistema de medição mais eficiente; por fim, será presente o sistema dos sensores, bloco onde todos os sensores serão conectados em formato de sonda para sua inserção na água. O sistema proposto de forma gráfica e suas funções e comunicações será exposto na figura 8.

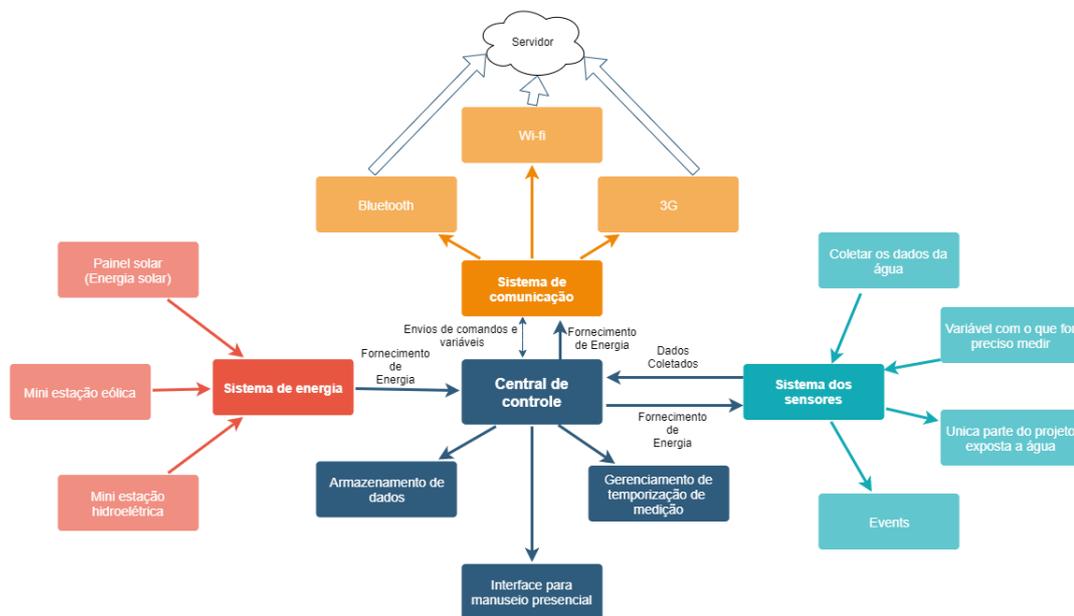


Figura 8 – Sistema de monitoramento proposto

3.1 Central de controle

Este é o núcleo do sistema proposto e foi modelado para a utilização de um controlador e, através dele, monitorar os outros subsistemas que estejam ligados à central de

controle. Por proposta, é o sistema menos adaptável, sendo apenas constituído pelo controlador e um sistema de baterias. Este sistema deve possuir a possibilidade de receber os outros sistemas de maneira harmoniosa, combinando a recepção de energia do subsistema de alimentação aos dados coletados pelos sensores e também consiga enviar os dados pela comunicação. Comparando dessa forma os controladores na tabela 2.

Comparações	Atmega328p	Raspberry pi 3	ESP32	MSP430
Preço	R\$ 18,00	R\$ 220,00	R\$ 70,00	R\$100,00
ADC	Possui	Não Possui	Possui	Possui
Comunicação	Por fio	Wi-fi e BLE	Wi-fi e BLE	Por fio
Tolerante a 5V	Sim	Não	Não	Não
Consumo energético	Baixo	Alto	Baixo	Baixo
Tamanho	Menor	Maior	Médio	Maior

Tabela 2 – Opções de controladores

3.2 Subsistema de sensoriamento

Este subsistema é composto pelos sensores escolhidos para o ponto de medição. De acordo com o ponto, podem ser estimados os melhores parâmetros para instalação de sensores. Para cada corpo d'água, alguns parâmetros são mais ou menos viáveis de acordo a aplicação e destinação que o conteúdo da mesma pode ter.

Todos os sensores, após sua escolha e otimização para utilização no ponto, serão montados em uma sonda para serem submersos na água e, em sua outra extremidade, serão dispostos os conectores para serem plugados à central de controle. A escolha da separação desse subsistema, são trocas eventuais que podem ser necessárias, com o passar do tempo e a perda de precisão dos sensores com o tempo de uso submersos na água.

Para estudo de caso da escolha de sensores e parâmetros, primeiramente, será definido um ponto de medição e a posteriori as escolhas e teste dos sensores antes de sua integração ao sistema de forma a fazer o equipamento mais otimizado e com uma melhor relação custo-benefício.

3.3 Módulo de comunicação

Mesmo o equipamento podendo funcionar apenas localmente, um dos focos do projeto é a integração de vários medidores em pontos espalhados. O que se pretende com isto é se construir uma rede e que não seja necessária a presença de agentes para medição o que diminuirá a necessidade de muitos agentes fazendo medições pontuais. Assim, eles ficam disponíveis para recolhimento de amostras onde os aparelhos possam medir dados que

estejam extremamente diferentes da média local, demonstrando a possibilidade de algum erro de medição ou mesmo algum tipo de acidente que possa ter acontecido, remanejando o trabalho de forma mais eficiente e mantendo o servidor alimentado em tempo real. Isso proporciona diversas vantagens em comparação com o sistema de inserção manual de dados em um servidor.

A escolha deste sistema varia com os meios disponíveis para a realização da comunicação entre o sistema e o servidor e, mesmo sendo variável, é extremamente determinante por ser o elo que mantém todo o sistema funcionando em tempo real. Sem a presença de comunicação, existe a necessidade da coleta de dados de forma periódica. Dessa forma, muda-se a frequência em que se ocorre a medição, para um armazenamento de dados com amostras mais espaçadas e, desse modo, o espaço de armazenamento do sistema não será preenchido indevidamente com um tempo pequeno e uma grande quantidade de medições.

3.4 Subsistema de alimentação

Este subsistema é encarregado de fornecer energia para a central onde a mesma será redistribuída para os dois outros subsistemas. Este sistema será feito observando as melhores formas de se adquirir energia do ambiente em que esteja instalado (placa solar para ambientes abertos, mini geradores eólicos para locais com vento ou mesmo pequenos geradores hídricos). Existindo fornecimento de rede elétrica no ponto instalado, este subsistema não precisa ser instalado, diminuindo o custo de componentes. Entretanto, mesmo existindo fornecimento elétrico pela rede, este subsistema pode ser instalado focando-se na utilização de energias renováveis que possam diminuir o consumo de energia elétrica.

A escolha do projeto, principalmente, para a construção do protótipo leva em conta as escolhas de componentes disponíveis para o sistema. Então, será proposto um estudo de caso para um subsistema que consiga alimentar este sistema da melhor forma possível no sistema de medição e que o mesmo seja embasado e semelhante à sua implementação real para que o resultado obtido do protótipo proposto e seus resultados espelhem possíveis comparações com sistemas reais de medições de parâmetros da água.

Pensando em pontos de instalação observa-se alguns pontos:

- Utilização em ambientes com rede elétrica disponível:

Existem opções em pontos de instalação onde a rede elétrica esteja disponível:

A utilização de um conversor de corrente alternada para corrente contínua(AC/DC) direto para o sistema onde o mesmo pode ser adicionado de um sistema de proteção contra curtos e sobrecargas. Nesta opção, pode-se usar ou não baterias recarregáveis como função de backup em casos de queda de energia. Entretanto, essa é uma opção

que deve ser analisada sobre o seu custo benefício e mesmo necessidade de sua utilização;

A utilização de um subsistema gerador pode ser utilizada mesmo com a presença da rede elétrica, de forma que a rede elétrica funcione de forma secundária. A presença de baterias, nesse caso, é obrigatória.

- Utilização em ambientes com a rede elétrica não disponível:

Em primeiro ponto, a utilização de baterias se torna indispensável. Entretanto, a quantidade armazenada pode diferir de acordo o ponto de instalação, possíveis trocas e outras características que podem ser apresentadas e estudadas de acordo a sua utilização.

Onde o subsistema energético possa ser instalado com um gerador, é importante observar algumas características, como a melhor fonte de energia em cada ambiente, custo benefício, tipo de manutenção necessário e forma de instalação.

A utilização de baterias é um fato que possui grande importância nesse projeto em ambientes em que sua utilização seja indispensável. No entanto, muitos quesitos podem afetar o consumo do projeto como a escolha do microcontrolador, sensores, *display* físico e até mesmo o código desenvolvido. Observa-se que, em locais onde não se é possível a utilização de um subsistema gerador, a frequência de coleta de dados se torna um parâmetro que adiciona maior consumo do aparelho, devido a maior utilização dos sensores, energia no microcontrolador o que mantém um consumo alto durante toda medição do aparelho. Portanto, uma frequência de amostragem variável se torna uma característica desejável para o projeto, de modo que seja possível um menor consumo energético.

A utilização de baterias, ainda assim, incorre de mecanismo para o carregamento das mesmas de forma que se torne possível sua melhor utilização, evitando sobrecargas e também, em outro ponto, recargas que não completem a capacidade total do sistema. Portanto, na utilização de baterias existem uma sequências de pontos a se observar:

- Ambientes com possibilidade de instalações de subsistemas geradores:

Em primeiro ponto, observa-se que pela possibilidade de recarga das baterias, o sistema onde a recarga irá acontecer deve ser preparado com os conversores DC/DC necessários para que a tensão seja compatível com a necessária para a recarga da bateria. A capacidade de geração do sistema deve ser definida e, com isso, o consumo energético do aparelho pode ser alterado. Neste ponto, é importante lembrar que os parâmetros não podem ser aumentados de modo que a energia recebida não consiga manter o sistema em funcionamento. Assim, uma das características mais importantes é a utilização de uma bateria com baixo efeito de memória (sendo este efeito a degradação do anodo, eletrólito ou mesmo dos dois) ou mesmo onde

4 Cronograma de atividades

4.1 Atividades propostas

- Escolha de um ponto de medição:

Escolher um ponto para a instalação do protótipo. Nesta etapa, verificar as condições de instalação para o sistema e analisar o conjunto de parâmetros de interesse no corpo d'água. Neste ponto, fazer um estudo de caso para verificar a melhor fonte de alimentação que possa ser instalada, além da forma de comunicação mais adequada;

- Determinação dos parâmetros medidos:

De acordo com os parâmetros que possuam certa importância para a medição, verificar quais se adequam à medição, que possam ser feitos de forma autônoma e, a partir de sensores eletrônicos, que possam ser acoplados no sistema.

- Escolha dos sensores e testes:

Com a utilização de sensores prontos e construídos manualmente, buscar uma solução na escolha de quais possam suprir as demandas dos parâmetros a serem medidos e, a partir disso, possam ser testados em laboratório de forma a conferir a precisão e usabilidade dos mesmos.

- Estudo de caso do subsistema de comunicação:

Escolha dos componentes de acordo com o tipo de comunicação a ser utilizada, escolha do servidor e refinamento dos dados coletados de acordo a rede disponível e dados a serem transferidos dentro da rede.

- Estudo de caso do subsistema de alimentação:

Com os parâmetros obtidos, verificar a melhor solução energética para a alimentação do projeto, formular o melhor modo de se adquirir fornecimento para o sistema e suas baterias.

- Caracterização dos sensores:

De acordo com todos os sensores escolhidos, fazer um teste definitivo e documentar a precisão dos componentes utilizados, se existe a necessidade da implementação do uso de filtro analógicos e digitais.

- Construção dos módulos:

Construção de uma *printed circuit board*(PCB) para instalação do ATmega328 em conjunto com os conectores, banco de baterias e filtros, caso exista necessidade para os sensores, tornando completa a central de controle;

Construção do subsistema com a integração dos sensores em um subsistema otimizado que atenda as necessidades de medições do corpo d'água com a presença de uma sonda para os sensores serem expostos na água;

Montagem do subsistema de comunicação e de alimentação.

- Teste de todos os subsistemas:

Teste dos módulos e verificação do funcionamento de todos os componentes e requisitos de cada um.

- Integração:

Montagem integrada de todos os subsistemas do projeto e verificação de funcionamento, além de refinamento de projeto e arquitetura e modelo do sistema.

- Implementação no ponto de medição:

Implementação do sistema no ponto escolhido e teste real do produto sobre as condições apresentadas pelo ambiente do mesmo.

- Documentação:

Verificação dos resultados obtidos e documentação dos processos e resultados, transpondo os mesmos para um documento escrito para o TCC 2.

4.2 Cronograma proposto para as atividades de prototipação do projeto

Semana	Atividade
Semana 1 (17/08/2020)	Determinação dos parâmetros medidos
Semana 2 (24/08/2020)	Escolha dos sensores e testes
Semana 3 (31/08/2020)	Estudo de caso de comunicação
Semana 4 (07/09/2020)	Estudo de caso energético do sistema
Semana 5 (14/09/2020)	Escolha final de elementos para o projeto
Semana 6 (21/09/2020)	Caracterização dos sensores
Semana 7 (28/09/2020)	Caracterização dos sensores
Semana 8 (05/10/2020)	Construção dos módulos
Semana 9 (12/10/2020)	Construção dos módulos
Semana 10 (19/10/2020)	Teste dos módulos
Semana 11 (26/10/2020)	Teste dos módulos
Semana 12 (02/11/2020)	Integração
Semana 13 (09/11/2020)	Integração
Semana 14 (16/11/2020)	Integração
Semana 15 (23/11/2020)	Teste do protótipo totalmente integrado
Semana 16 (30/11/2020)	Documentação
Semana 17 (07/12/2020)	Documentação
Semana 18 (14/12/2020)	Documentação
Semana 19 (21/12/2020)	Apresentação

Tabela 3 – Cronograma de atividades

5 Desenvolvimento do protótipo

Para iniciar o desenvolvimento do protótipo, algumas das principais questões, que são relevantes na sua construção, estão relacionadas com o fato de que, em uma etapa de elaboração do produto final, o mesmo deve possuir características que se adaptem ao sistema e que ele seja montado de modo personalizado de acordo as necessidades do ambiente implementado. No desenvolvimento de um protótipo, neste trabalho, apenas um caso foi demonstrado de forma superficial para a comparação com alguns casos que se mostram comuns nas etapas de medição e nos protocolos sugeridos em empresas como a ANA e até mesmo a Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal(CAESB).

Levando-se em consideração possíveis pontos onde o aparelho a ser observado foi implantado, verificou-se diferentes funções na utilização de um aparelho que faça medições de qualidade da água. No entanto, parâmetros diferentes são ideais para o melhor custo benefícios, de acordo com a área onde o equipamento será instalado. Frequências de medição diferentes são um fator a considerar, de acordo a quantidade de equipamentos utilizados e, principalmente, se o mesmo tiver função preventiva. Diante do exposto, pôde-se observar que há benefícios na utilização de frequências de amostragem variáveis como disposto no tópico 5.2.2.4.

Possíveis pontos de instalação e justificativa:

- Indústria:

Medição da água utilizada, em seus mais diversos processos industriais, durante o seu descarte para o controle e caracterização de poluentes industriais. O aparelho possui medida verificadora, podendo ser utilizada pelo governo, criando, assim, um aparato legal que o ajude a evitar grandes avanços de poluentes e, ainda, abrindo espaço para multas em casos de poluição indevida.

- Barragens: Medição de caráter preventivo com observação em poluentes que ocorrem em barragens, principalmente, antigas, nas quais existem grandes deposições de metais pesados. Outras variáveis a se observar são fluxo e turbidez para informações emergenciais como queda da barragem ou transbordamentos.

- Afluentes:

Medição de caráter qualitativo e variável, de acordo a região. Além disso, pode ter caráter preventivo em ambiente com grande fluxos de água ou mesmo contaminação por mercúrio em atividade de mineração o que serve como alerta para se evitar, especialmente, transbordamento e contaminação. Por fim, também, a sua utilização

serve para a verificação de roubo de água, para a agropecuária e até mesmo para a indústria.

- Fazendas: Medição para o controle de poluentes pelo governo que possam ser emitidos pela agropecuária, como, por exemplo, o descarte de fertilizantes químicos e medicações para animais.
- Lagos: Medições de qualidade e monitoramento das características da água no ambiente.

Observando algumas dessas características, o protótipo foi montado para servir como pequeno exemplo dentro de casa. Nele, foram utilizados equipamentos de baixo custo o que acarretou menor precisão, menor poder de processamento e menor variedade na escolha de sensores. Isto ocorreu devido à Pandemia causada pelo Coronavírus (Covid-19). Com isso, diversos eletrônicos e componentes tiveram seus preços extremamente aumentados. Além disso, houve um maior risco em pesquisas de campo, seja para a medição e uso de ambientes na ANA ou mesmo prejudicando a compra de produtos necessários pela maior falta de mobilidade das pessoas neste tempo de pandemia.

5.1 Central de controle

5.1.1 Escolha do controlador

Como central do sistema, alguns pontos se destacaram para escolha do controlador. No caso, o consumo energético, a versatilidade para componentes dos sistemas periféricos, tolerância a 3,3V e 5V foram os principais requisitos para a escolha. O ATmega328p apresenta todas essas características, além de um baixo custo se comparado ao seus concorrentes e, por isso, o mesmo foi escolhido para a construção da central de controle, justamente devido às principais características a seguir:

- Menor preço entre outros controladores;
- Leitor ADC;
- Tolerância a 5V
- Fácil acesso ao CI no Brasil;
- Baixo consumo energético;
- Tamanho compacto.

Mas esta escolha também teve desvantagens, a maior delas foi a falta de sistema de comunicação sem fio nativo. Mas isto pôde ser suprido, de forma fácil, com a escolha do meio de comunicação e definição do CI de comunicação do tópico 3.3.

5.1.2 Definição de elementos adicionais

Com base nos critérios de projeto e modularização do mesmo, foi feita a escolha pela não utilização de baterias devido à instalação do protótipo em ambiente com presença de rede elétrica estável. Observando essa característica, nota-se a melhor implementação de forma externa sendo parte do subsistema de alimentação do equipamento quando o mesmo for necessário. Possibilitando diferentes tipos de fontes energéticas que possam carregar baterias diferentes sendo dimensionadas de acordo a necessidade de todos os módulos em funcionamento. Da mesma maneira, ter opções diferentes com custos diferentes e, dessa forma, ter a maior possibilidade de otimização para cada caso do projeto.

O agente que executar a instalação do equipamento precisará de um dispositivo que seja o meio de verificação para entender o estado de funcionamento do sistema. Para fácil visualização dos dados de maneira local, há a necessidade da presença de um *display* que possa mostrar que o equipamento está funcionando. Dados coletados também são importantes. Um sistema no qual a verificação de dados pode ser feita de maneira local, possibilitará diversos protocolos para o funcionamento do equipamento, possível calibração local e verificação de componentes.



Figura 10 – Display LCD 16x2

Como existe uma grande variedade de dispositivos, que podem ser conectados à central, uma menor quantidade de portas lógicas do microcontrolador, sendo usada para a criação do mesmo, se tornou um grande diferencial, porque ampliou a quantidade de sensores que puderam ser utilizados, possibilitando a implementação de diferentes módulos de comunicação, além das distribuições de diferentes montagens de dispositivos otimizando as portas que o ATmega328p possui.

Partindo da ideia de baixo custo e pensando na menor utilização de portas, a combinação de componentes que pôde ser utilizada para se alcançar esse objetivo foi um *display liquid crystal display* (LCD) 16x2 em conjunto com um módulo I2C, porque este

conjunto, de forma prática, utiliza apenas a alimentação gerada pelo microcontrolador e, além disso, duas portas de comunicação. Há que se ressaltar que estes componentes possuem baixo custo.



Figura 11 – Módulo de comunicação I2C

Por fim, foi preciso uma interface física por onde os comandos do operador pudessem mudar parâmetros necessários através de botões. Esta interface requer fácil utilização para o operador. Entretanto, em fase de prototipação, o mesmo não se tornou presente, devido a baixa quantidade de parâmetros medidos e poucos controles disponíveis. O controle local foi feito por modificações diretas no código durante o seu funcionamento.

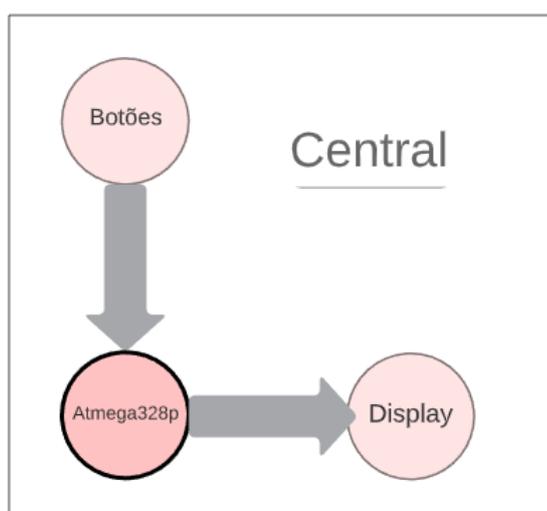


Figura 12 – Modelo da central

5.1.3 Ferramentas e plataformas para o desenvolvimento

Para a construção do protótipo da central de controle, optou-se pela utilização da aplicação Arduino IDE (*Arduino Integrated Development Environment*), como forma de comunicação entre plataformas cruzadas (Computador para Placa Arduino). Dessa forma, diminuiu-se a necessidade em fase de prototipação da compra de módulos que permitiriam a comunicação do microcontrolador (ATmega328p) com o computador por meio de comunicação serial, utilizando o USB para este meio. Dessa forma, o CI ATmega328p foi programado em uma placa Arduino e, após isso, foi retirado e implementado no circuito do equipamento.



Figura 13 – Arduino IDE

Essa ferramenta desenvolvida pela própria empresa Arduino é capaz de realizar uploads de códigos desenvolvidos em C e C++ em placas compatíveis Arduino ou placas de terceiros. Esse sistema é *open source* (Software de código aberto) e conta com uma grande comunidade de desenvolvedores. Contudo, com a utilização de diversos arquivos, bibliotecas e extensões, o mesmo pode ser utilizado para a programação da placa ESP32 utilizada no tópico 5.3. Como demonstração de sua interface, é exposto na figura 14 um exemplo pré configurado (Blink) já existente no software para, dessa forma, ter uma apresentação de sua interface.

```
Blink | Arduino 1.8.13 (Windows Store 1.8.42.0)
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda
Blink
|
Blink
|
Turns an LED on for one second, then off for one second, repeatedly.
Most Arduinos have an on-board LED you can control. On the UNO, MEGA and ZERO
it is attached to digital pin 13, on MKR1000 on pin 6. LED_BUILTIN is set to
the correct LED pin independent of which board is used.
If you want to know what pin the on-board LED is connected to on your Arduino
model, check the Technical Specs of your board at:
https://www.arduino.cc/en/Main/Products
modified 9 May 2014
by Scott Fitzgerald
modified 2 Sep 2016
by Arturo Guadalupi
modified 9 Sep 2016
by Colby Newman
This example code is in the public domain.
http://www.arduino.cc/en/Tutorial/Blink
*/
// the setup function runs once when you press reset or power the board
void setup() {
  // initialize digital pin LED_BUILTIN as an output.
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
}
// the loop function runs over and over again forever
void loop() {
  digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(1000); // wait for a second
  digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(1000); // wait for a second
}
```

Figura 14 – Arduino IDE interface

Para o desenvolvimento de layouts e esquemáticos, a plataforma escolhida foi o *EasyEDA*. Ela é uma plataforma online de criação e desenvolvimento de hardwares eletrônicos com grande uso para construção de *PCB's*. Além de ser uma ferramenta grátis, evitando-se o uso indevido de plataformas pagas, possui um grande acervo de componentes. Desse modo, torna-se possível a construção de sistemas colaborativos. Finalmente, com todas as operações acontecendo no servidor onde o *EasyEDA* é mantido, nota-se que ela é uma excelente ferramenta mesmo em computador com baixo poder de processamento.



Figura 15 – EasyEDA

Essa ferramenta ainda possui parceria com a LCSC(Loja de componentes eletrônicos chineses) e com a JLCPCB(Empresa de projetos e fabricação de PCBs). Em uma etapa de finalização de projeto, pode-se, até mesmo fazer, a encomenda de placas de circuitos impressos em grandes lotes e, também, pode-se utilizar os serviços de revisão do mesmo para um segundo olhar da placa entregue, em busca de maior otimização da PCB. Na figura 16 observa-se a interface do sistema com um esquemático de uma lógica para o funcionamento de botões(Exemplo).

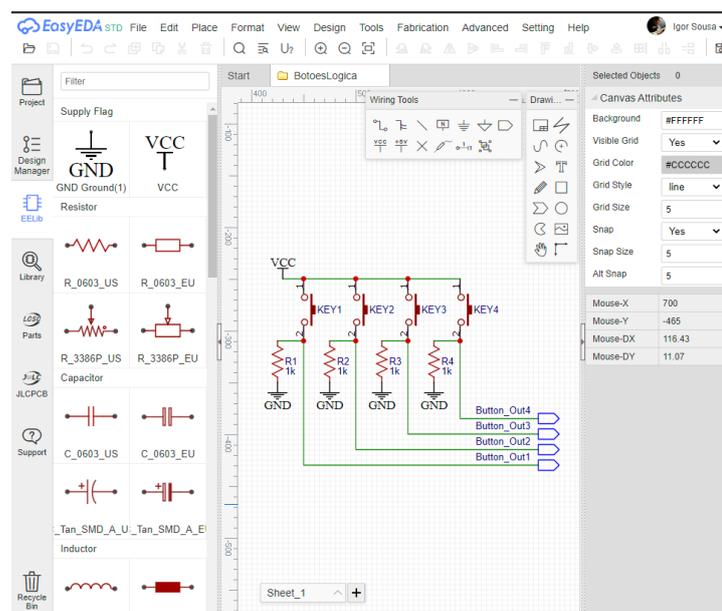


Figura 16 – EasyEDA interface

5.1.4 Construção do protótipo da central de controle

O circuito base (*Botloader*), para o início da montagem da central, foi o utilizado para o funcionamento do ATmega328P. De forma básica, esse circuito promoveu a alimentação do CI, implementação do cristal de 16MHz para o sistema e um botão para o *reset*.

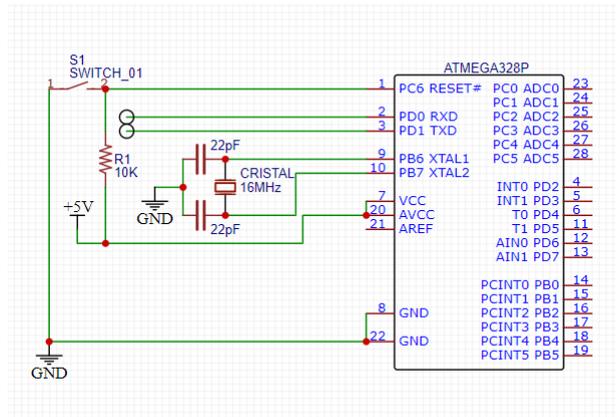


Figura 17 – Circuito Atmega

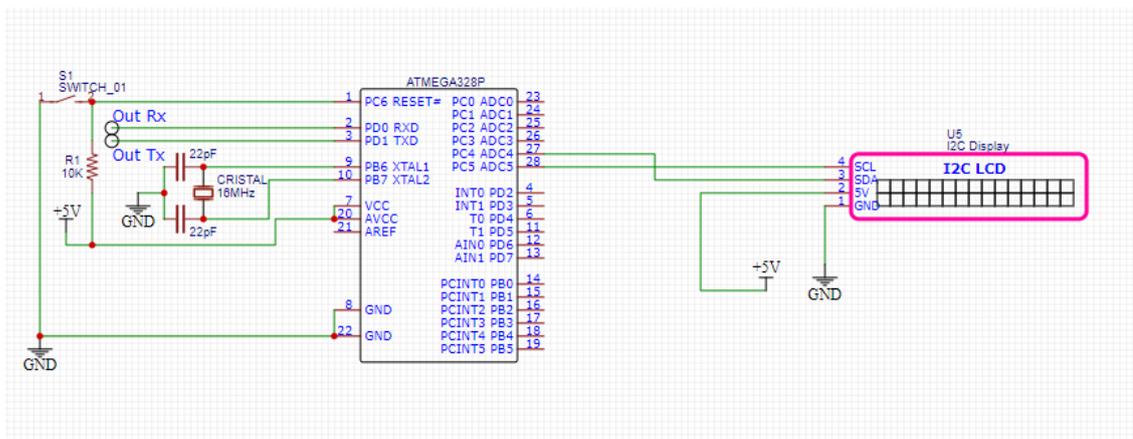


Figura 18 – Instalação do Display e módulo I2C

5.2 Sistema de sensoriamento

5.2.1 Escolha de parâmetros

5.2.1.1 Condutividade Elétrica

Após conhecer o modelo utilizado pela ANA, nota-se combinações de diferentes práticas para a coleta dos parâmetros com a utilização de sondas e também em laboratórios, de forma que a demanda de aferência dos dados seja suprida. Esta verificação também é bastante realizada pelos órgãos ligados ao saneamento básico. De fato, é observável o

impacto dos métodos de tratamento de água em afluentes próximos, devido à contaminação de nitratos. Uma das características físicas da água mais medida é a condutividade elétrica. Na realidade, torna-se notável a utilização da mesma, devido à característica chamada de "coringa" por eles, que nada mais é do que a possibilidade de estimar diversos parâmetros através deste, tornando a condutividade elétrica um parâmetro que marque a estabilidade de um afluente, já que a mudança de diversos aspectos podem impactar nessa medida.

5.2.1.2 Temperatura

Existem duas principais motivações ao realizar a medição de temperatura. A primeira é a questão da condutividade elétrica variar de acordo com a temperatura, sendo esta um parâmetro para a calibração e manutenção das medidas do sensor de condutividade. A segunda motivação é que, como parâmetro isolado, a temperatura é uma forma de verificar a poluição, principalmente, liberada por água de lavagem industrial. Isto é uma grandeza física também ligada ao oxigênio dissolvido que é importante para a vida aquática.

5.2.2 Escolha de sensores

5.2.2.1 Condutividade Elétrica

Uma opção para a coleta de dados da condutividade elétrica é a utilização de um sistema de divisor de tensão resistivo, de maneira a simular o efeito do módulo da condutividade. Porém, com a possibilidade de mudanças de parâmetros do sensor e a possibilidade de implementação de um sistema para a alteração dos parâmetros de forma acessível (potenciômetros e *trimpots*), os valores possíveis para uma modelagem podem possuir maior alcance de medições, podendo perder precisão ao se utilizar esses componentes. Mas há a possibilidade de se usar resistores de precisão, entre outros, para a etapa de teste, prototipação do produto e até mesmo para o produto final. Desta maneira, verifica-se uma boa variabilidade de componentes e, ainda, etapas de precisão para essa medida, além da importância de uma característica muito importante para esse tipo de construção que é a presença de um componente resistivo na porta do controlador. De forma simples, o sistema pode ser demonstrado de acordo a figura 19.

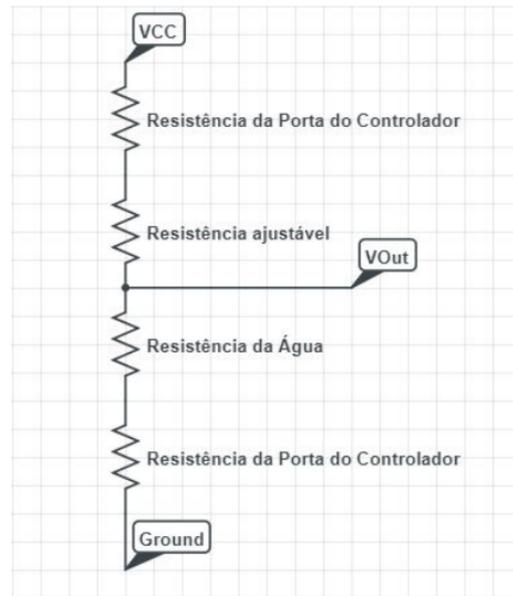


Figura 19 – Ideia para a construção do sensor de condutividade

A partir desse ponto, para a estrutura desse sensor, algumas opções foram definidas para a construção do dispositivo físico. Dentre as opções, levou-se em consideração a resistência existente na porta do controlador e a definição dos limites entre a menor e maior temperatura esperada. Dessa forma, limita-se a resistência esperada obtida pelo fluido. Por fim, foi definido o valor ideal para o resistor variável, entendendo que a variação do resistor impacta nas medidas da resistência do fluido de forma matemática.

A escolha deste circuito foi feita de forma que os primeiros resultados pudessem ser obtidos e, após isso, para observar possíveis melhorias e aplicações ao sistema. Nesse ponto, optou-se pelo menor custo, devido aos gastos necessários para a construção do sistema e como pela falta de modos para executar testes com maior precisão em ambientes laboratoriais.

Diversos passos podem ser incluídos para a melhor obtenção de dados, principalmente, com a utilização de sensores construídos para medidas de precisão como sensores da Atlas Scientific. Eles possuem um custo mais elevado, porém apresentam grande precisão em suas medidas e são construídos para utilização em sistemas embarcados como o Arduino ou mesmo raspberry.

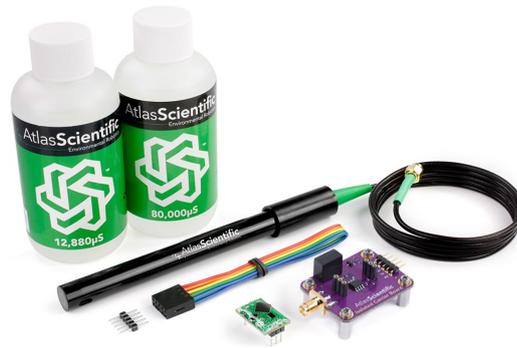


Figura 20 – Kit sensor de condutividade Atlas Scientific

Em primeiro momento, foca-se no funcionamento conjunto dos sistemas e observações na fase de prototipação para, desse modo, entender exigências de funcionamento para um etapa de produto final e comercialização dos mesmos, incluindo neste uma grande fase de testes laboratoriais e validação do equipamento em normas como sugeridas pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia).



Figura 21 – Inmetro

5.2.2.1.1 Escolha da resistência ajustável

Essa resistência, de forma prática, define o alcance de medida e a resolução de medida. Uma característica muito importante a ser levada em consideração é a não utilização de resistores com valores de resistência muito baixos, porque poderá ocasionar um mal funcionamento ou mesmo avarias no CI utilizado na central, podendo levar à perda do equipamento. Em fases de teste, optou-se pela utilização de um resistor de 1000Ω que, em diversos momentos, poderá ser substituído por outros, podendo, dessa forma, variar o alcance de leitura e proporcionar diferentes testes ao sistema.

A utilização de um potenciômetro, neste caso, foi desencorajada devido a dois fortes fatores: a) A necessidade de utilização de um resistor para se evitar que, em algum momento, a resistência fique muito baixa o que aumentará bastante a corrente que atravessará o sistema em dois pontos críticos: a água e o ATmega. b) O outro ponto é o acréscimo de imprecisões nas medidas que já ocorrem pelo uso do resistor e seriam ampliados na utilização de um potenciômetro que tornaria a prática de medidas um processo com mais erros e imprecisões.

5.2.2.1.2 Definição da resistência da porta do controlador

O primeiro valor a ser identificado é a resistência da porta do controlador. Ela possui certo impacto sobre a medição da resistência do fluido a ser analisado. É preciso observar ao *datasheet* do ATmega328P, diversas propriedades sobre a resistência apresentada em suas portas digitais. Este dado não é apresentado de forma explícita. A resistência de *input* dos pinos ADC no ATmega328P possuem o valor de $100M\Omega$ o que impede que corrente flua no sentido da medição. Diante do exposto, apenas a resistência apresentada pelos pinos digitais possuem maior interferência no quesito da medição. Para obter uma aproximação do valor da resistência dos pinos digitais do controlador, parte-se dos conceitos de *source current* e *sink current* que definem o fluxo de corrente do sistema, como pode ser observado na figura 22. (ANKIT SHAHI, Acesso em: 05/12/2020)

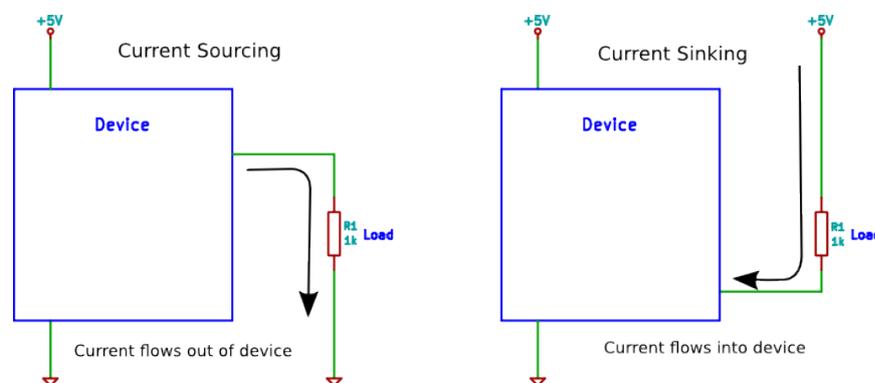


Figura 22 – *Current Sourcing* e *Current Sinking* exemplo

Observa-se, dessa forma, que os dois pinos do sistema possuem sentidos diferentes de corrente. A corrente flui do pino digital, que excitará o sistema como VCC(5V), e o outro pino irá receber a corrente como o GND do divisor de tensão. No *datasheet* do ATmega, na seção *Pin Drive Strength*, são apresentados gráficos sobre o comportamento do pino em algumas regiões de tensão e corrente e variações que podem ocorrer pela temperatura o que já evidencia variações no comportamento resistivo das portas digitais do Atmega328P. Diante do exposto, verifica-se a utilização de diversos valores para a resistência de forma arbitrária entre valores de 20 a 300Ω . Observando-se o gráfico de *sink*

current dos pinos digitais, conforme a figura 23, são observados valores que podem ser aproximados em uma função linear que varia com a temperatura.(ATMEL, 2013)

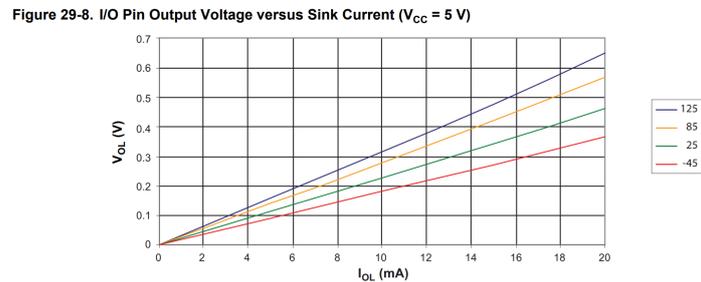


Figura 23 – Gráfico para a resistência de entrada da porta lógica

Utilizando a linha verde(25°C), a resistência obtida é de aproximadamente 25Ω o que mostra o valor de uma pequena resistência comparada às outras que podem ser utilizadas como o resistor para o divisor de tensão e, até mesmo, com a resistência da água. A água, quanto mais pura, demonstra comportamento de material isolante elétrico e maior resistividade. Como exemplo, a água pura possui cerca de $18,2\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$. Entretanto, não se pode esquecer da presença de ions e sais na água que fazem suas resistividades diminuírem e, portanto, sua condutividade elétrica aumentar.(ATMEL, 2013)

5.2.2.1.3 Definição dos limites de temperatura

Um dos quesitos que definem o alcance de medição necessário para que o sensor consiga medir, de forma funcional, uma amostra de fluido é o quanto a temperatura varia neste sistema. O limite inferior será 0°C que é o ponto de fusão da água. Essa temperatura na água não é encontrada em território brasileiro de forma natural. O limite superior, será o de 50°C . No entanto, a maior temperatura encontrada no Brasil é em Rio Quente - Goiás, que abriga o único rio quente do mundo, podendo atingir até 47°C . Existem outras fontes que podem atingir maiores temperaturas. Entretanto, em fase de prototipação e teste, se torna um alcance de medida que pode ser utilizado em diversas aplicações e são valores que podem ser reproduzidos em casa de forma experimental.

5.2.2.1.4 Escolha de eletrodo

A escolha do eletrodo apresentou a última variável do sistema, de modo que, cada ferramenta ou equipamento utilizado para este propósito, tivessem diferentes qualidades, constantes diferentes de medição, em especial, pela distância dos seus polos tal como a área resistiva criada pela a água entre os polos do mesmo. Três quesitos se tornaram fundamentais para a escolha na fase de prototipação:a) equipamento de baixo custo; b) facilidade de ser replicado(Pequenas variações de medidas entre unidades diferentes) e

c) poder ser submerso em água, mesmo que não por longos períodos, para que os testes pudessem ser executados e, dessa forma, a coleta dos resultados pudesse ser estudada.

Em um primeiro momento, a escolha de grafite, para a construção do eletrodo, foi a principal linha. Entretanto, a necessidade de criação de um sistema que pudesse ter facilidade de replicação com as mesmas dimensões se tornaria um problema, devido às mudanças na estrutura do grafite por desgaste ou até mesmo pelo sistema que seguraria suas hastes. Observando o exemplo do desenvolvedor Michael Ratcliff, uma sugestão de baixo custo é a utilização de *plugs* de tomadas devido à padronização desses dispositivos. Diante do exposto, foi feita a escolha por um cabo de força do tipo 8 que, além de todos os requisitos, possui um bom isolamento plástico que auxilia na utilização na água. (MICHAEL RATCLIFFE, Acesso em: 02/11/2020)



Figura 24 – Cabo de força tipo 8

5.2.2.1.5 Sistema completo do sensor

Após fazer as escolhas de componentes, foi obtido, portanto, o esquemático do sensor completo que está representado pela figura 24:

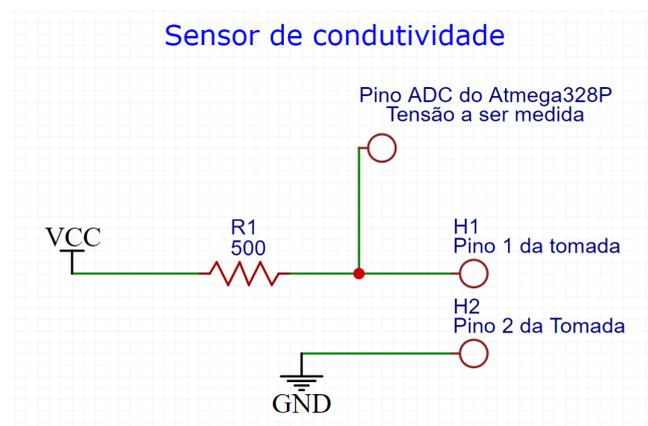


Figura 25 – Esquemático do sensor de condutividade

5.2.2.2 Temperatura

Após mudanças no quadro de distribuição de componentes eletrônicos, após a propagação do Corona Vírus(Sars CoV-2), a escolha foi por componentes de fácil acesso que cobrissem parâmetros de medição da água como prioritários no momento. De início, para a validação do protótipo deste projeto, optou-se pela escolha de um único sensor de temperatura para os testes e comparações, de forma a se fazer uma demonstração de um sistema completo que possa ser ampliado e reconstruído de diversas maneiras e que agregue grandes mudanças em suas características.

A escolha do sensor se baseou em quesitos práticos, sendo estes: O sensor deveria funcionar submerso em água(Encapsulado); ser fácil de ser encontrado em Brasília-DF; além de medir um parâmetro que fosse também fácil de ser comparável com equipamentos simples e, em especial, que pudesse ser usado em casa(Como um termômetro). Este último item foi considerado um dos mais importantes, porque diminuiu a necessidade de presença em laboratórios para a comparação de resultados e até mesmo calibrações em um primeiro momento. Diante do exposto, o sensor escolhido foi o DS18B20, que é um sensor de temperatura e com formato de sonda à prova d'água, exposto na figura 26.(PRODUCTS, 2019)



Figura 26 – Sensor de temperatura DS18B20

Para a montagem deste sensor, de modo padrão, foi utilizado um resistor de 4.7k ohms na forma de *pull up* entre a sua entrada de VCC e a seu pino de Data. Este resistor, mesmo podendo ser retirado do sistema, permeiam em sua construção duas características: maior estabilidade nas medições e configuração do desenvolvedor para a utilização de múltiplos sensores de temperatura. Portanto, como escolha de construção no protótipo, se manteve a utilização do resistor de 4.7K Ω , como demonstrado pela figura 27.(PRODUCTS, 2019)

DS18B20	Características
Tipo de sensor	Digital
Fonte de alimentação	3,0 a 5,5V
Consumo do sensor	1mA
Alcance de medição	-55 a 125°C
Precisão	+/- 0,5°C
Resolução	9 a 12 Bits
Tempo de conversão	<750ms

Tabela 4 – Características do sensor DS18B20

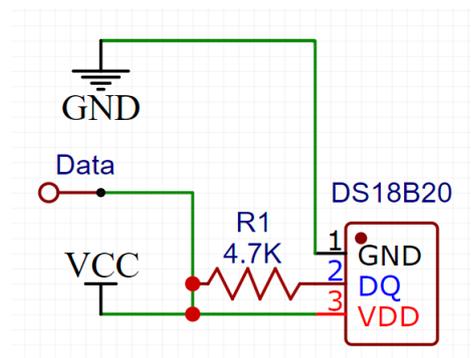


Figura 27 – Circuito de montagem DS18B20

5.2.2.3 Filtro de sinais

A aplicação de filtros de sinais é um passo importante para a utilização de sensores. A existência de ruídos e possibilidade de medidas errôneas podem prejudicar o quadro de medições. A estabilidade das medições é um fator importante nos sensores, sobretudo, se o equipamento for utilizado de maneira preventiva. Qualquer medição com grande variação pode trazer um estado de alarme falso o que tornaria inconveniente o seu uso. As medições do aparelho são a base de toda a informação do projeto. Assim, falhas nessa parte do equipamento, propagaria uma grande sequência de erros no sistema.

Pensando em sensores analógicos como o utilizado para a coleta de dados de condutividade elétrica, nota-se a presença de um grupo de imprecisões existentes no conjunto de medição. A compensação por temperatura é realizada no líquido, entretanto a temperatura pode proporcionar pequenas mudanças na resistência utilizada e até mesmo no eletrodo. Lembrando da leitura ADC dá própria central que possui algum nível de imprecisão. Na aplicação do sensor em um rio por exemplo é observável a possibilidade de algum objeto encostar momentaneamente com eletrodo produzindo assim uma medida falha momentaneamente.

5.2.2.3.1 Filtro de média móvel

A escolha da utilização de um filtro digital de média móvel foi feita para trazer maior estabilidade e diminuir possíveis propagações de erro. Desse modo, o sistema ficou mais seguro e se tornou uma ferramenta que pode ser utilizada em todos os sensores e sem aumento de custo no projeto. Mesmo não possuindo custo físico e material, um ponto a ser observado nesta aplicação foi um pequeno atraso em medidas. Todavia, levando-se em consideração a velocidade de processamento da central de controle, há uma grande velocidade para a manutenção dos dados.

O filtro de média móvel é constituído por um sistema de procedimentos matemáticos aplicados a um sinal. Neste filtro, é realizado uma média de um número escolhido de amostras anteriores junto à amostra obtida de entrada. De modo simples, faz-se o descarte da primeira medida e adiciona-se a medida subsequente em um conjunto para o cálculo da média com um número predefinido de elementos.

$$\begin{aligned}\bar{p}_i &= \frac{p_{i+1} + \dots + p_{i+n}}{n} \\ &= \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n p_{i+j}\end{aligned}$$

Figura 28 – Equações de média móvel

Um ponto observado é que a capacidade computacional para execução desse filtro é baixa. Isso torna possível a utilização de outros processamentos, se necessários, e até mesmo a execução de sequências de médias móveis seguidas para valores únicos por dia. A quantidade de termos, frequência de amostragem e o tempo para que o dado coletado, armazenado e processado possa ser enviado para o servidor, em tempo variável, depende da forma de funcionamento do equipamento, sobretudo, com o foco no modo preventivo conforme o tópico 5.2.2.4.

5.2.2.4 Frequência de amostragem

Um problema existente nos sistemas qualitativos de medições de qualidade de água é o fato de que eles não são utilizados de forma preventiva. Como as medições ocorrem bimestral, semestral ou mesmo anualmente não funcionam para a prevenção de acidentes. Outra situação que pode ser constada é que existe o armazenamento de grandes quantidades de medidas de formas desnecessárias e isto, em larga escala, poderá trazer obstáculos até mesmo para os órgãos governamentais, como a ANA, que possuem diversos problemas com seus servidores devido à grande quantidade de informações coletadas e pouco investimento para a estrutura de seus servidores.

Observando o problema existente pela frequência de medidas, a proposta de utilização, tanto para o protótipo quanto para o produto final, de forma mais refinada, foi a utilização de um sistema de amostragem com frequência variável, de modo que se possuísse uma amostragem com grande velocidade dentro do sistema de análise. Além disso, por meio de mudanças nas médias de medições, que o envio de dados para o servidor, onde estivessem hospedados os dados recebidos pelos os sensores, tivesse o menor tempo possível. Desta forma, enquanto o mesmo se torna estável de novo e dentro dos parâmetros previamente medidos, o tempo de envio dos sinais ficam mais lento, podendo ser uma vez por dia ou outro tipo de período que seja interessante para a observação dos dados medidos.

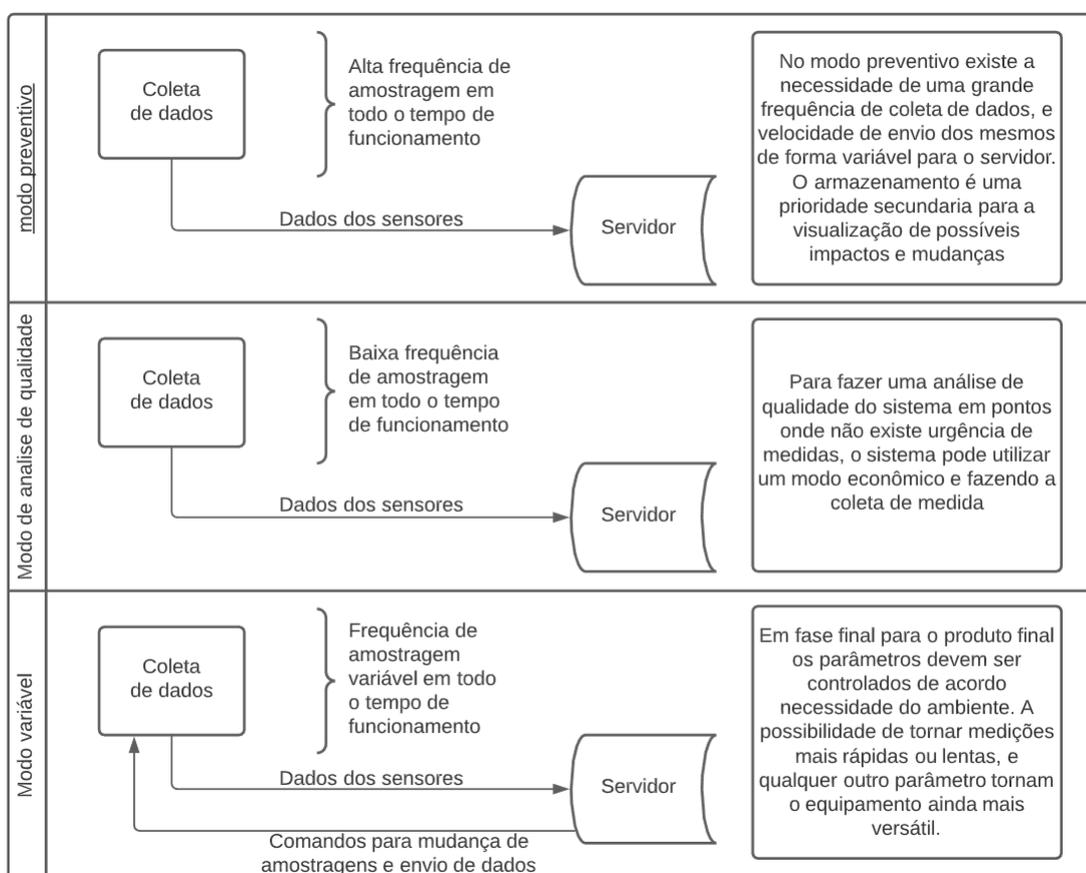


Figura 29 – Modos de funcionamento

O controle de parâmetros de medições e até mesmo dos filtros à distância podem impactar no aparelho de forma significativa, já que um menor consumo energético pode ser mantido em grande parte do tempo e com a alteração de poucos parâmetros. De acordo com essas capacidades, o equipamento também pode ser utilizado com sistemas que constituam pesos para medidas e, desse modo, qualquer dado coletado com alto desvio e variância se ajustem para o modo preventivo o que pode acionar alarmes. De forma prática, um sistema que possua maior autonomia e, mesmo na primeira fase de coleta de

dados, tenha efeito preventivo.

5.3 Sistema de comunicação

5.3.1 Escolha de componentes

Houve a necessidade de se buscar um equipamento de baixo custo e que pudesse ser encontrado em Brasília, porque nota-se um aumento súbito de valores de componentes eletrônicos e tem diminuído a disponibilidade de diversos modelos de componentes para a comunicação. Para a prototipação, foi escolhido wi-fi como meio de comunicação entre o protótipo e o servidor. Com uma grande redução do poder de escolhas do componente, a melhor opção que consegue satisfazer os requisitos para o projeto foi uma ESP-32.



Figura 30 – Esp32

Um ponto forte a se debater nesta escolha é o fato da não utilização da ESP-32 também como Central de Controle. A utilização deste modelo de microcontrolador reforça alguns problemas da sua utilização, como Central de Controle, principalmente, a presença de fortes ruídos na leitura analógica de sensores enquanto ocorre utilização do *bluetooth* ou *wi-fi*; a leitura analógica possui grande variação de modelo para modelo, além da leitura não ser feita de maneira linear, necessitando de calibração. Estes fatores tornariam o protótipo menos preciso como receptor dos dados diretamente dos sensores e mesmo para mantê-lo com uma menor gama de componentes ainda não haveria boa integridade de medição. Diante do exposto, nota-se que esse componente também prejudicaria a replicabilidade do produto em uma etapa final de desenvolvimento e comercialização, devido o processo de calibração que teria que ser feito em cada placa de forma individual e, para melhor leitura dos sensores, haveria a necessidade de filtros físicos e digitais para se conseguir ter algum grau de confiabilidade.([ANALOG TO DIGITAL CONVERTER](#), Acessado: 15/11/2019)

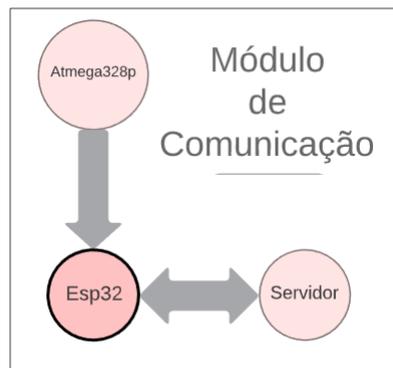


Figura 31 – Arquitetura de comunicação

Observando a arquitetura de comunicação, a escolha do servidor foi o próximo passo para a construção do subsistema. A escolha realizada foi pelo servidor CloudMQTT um tipo de servidor *MQTT* (*Message Queue Telemetry Transport*), sendo este um meio de comunicação *M2M* (*Machine-to-Machine*). Este protocolo de comunicação é leve e possui um funcionamento do tipo *publisher-subscriber*, em que o equipamento "publica" os dados no *broker* (Servidor) no qual os dados podem ser acessados pelos usuários (*subscriber*).



Figura 32 – CloudMQTT

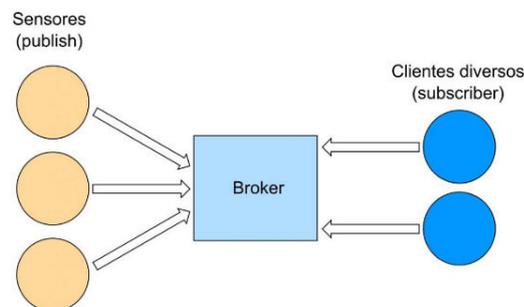


Figura 33 – Estrutura Publisher-Subscriber no MQTT

5.4 Sistema energético

- Indústria:

A fonte energética deve ser o próprio fornecimento da rede elétrica utilizada pela Indústria. No entanto, a fonte poderá ser alterada desde que subsidiada pelo proprietário da indústria.

- Barragens: Existindo fornecimento de rede elétrica de subsistemas de barragens de grande porte, esta deve ser usada prioritariamente. Caso não exista a presença de rede elétrica, deve-se adotar a utilização de energia solar.

- Rios:

Existindo fornecimento de rede elétrica de subsistemas de barragens de grande porte, esta deve ser usada prioritariamente. Caso não exista essa presença de rede elétrica, adotar a utilização de energia solar.

- Fazendas: Neste caso, a fonte energética deve ser o próprio fornecimento da rede elétrica utilizada pela própria fazenda. Entretanto, a citada fonte pode ser alterada, desde que subsidiada pelo proprietário da fazenda.

- Lagos:

Existindo fornecimento de rede elétrica, esta deve ser usada prioritariamente. Caso não exista essa presença, adotar a utilização de subsistemas geradores e, no caso de ausência da totalidade de formas geradoras, deve-se utilizar bancos de baterias.

5.4.1 Escolha de componentes

Fontes de energia que possam funcionar de maneira independente são importantes para a funcionalidade do projeto. Porém, alguns pontos devem ser notados: a necessidade de não produzir efeitos negativos no ambiente de maneira direta, além de necessitar de adaptabilidade deste subsistema no ambiente onde o projeto esteja instalado. A presença de bateria é opcional, dependendo da fonte de energia. Em etapa de prototipação, a energia elétrica residencial é a primeira fonte de energia viável porque é a principal fonte de energia disponível no sistema. A segunda fonte seria a utilização de energia solar, devido à posição geográfica favorável para este tipo de sistema.

A utilização de bateria, independente da forma que seja escolhida para alimentação do protótipo, se torna uma característica essencial, por manter dados que estejam sendo medidos e por emitir alertas em momentos que a fonte principal de energia tenha sido, de alguma maneira, interrompida. Essa escolha tornou o protótipo em uma melhor representação de um produto real, de acordo as demandas notadas em sistemas de medições que utilizam equipamentos como estes pertencentes a vida real.

6 Resultados e Discussão

Esse capítulo trata da descrição dos resultados obtidos pelos teste no dispositivo, sendo constituído pelo estudo realizado com o conjunto de sensores, tipos de sistemas para a central, testes de funcionamento da comunicação com o servidor e integração do sistema.

6.1 Testes Funcionais

Para fazer o teste e validação do protótipo, os sistemas foram testados por partes para que cada subsistema pudesse sofrer alterações, caso necessário, para o melhor funcionamento do conjunto. Nessa fase, portanto, tornou-se relevante, além de uma documentação da montagem dos circuitos, buscar-se discutir e implantar mudanças do projeto de forma a corrigir falhas que possam surgir do subsistema.

6.1.1 Sistema Central

Como a base do protótipo se sustenta pela utilização do sistema central, o primeiro circuito montado foi o bootloader do ATmega328, como descrito na figura 17, em primeiro momento, utilizando o mesmo para acender leds entre outros. O funcionamento obteve total êxito. Entretanto, um fator de construção do projeto ganhou um importante foco. Além do circuito do ATmega328p, se tornam necessários os componentes de sua montagem e mesmo uma forma de comunicação para a mudança dos códigos. Um sistema equivalente que ganhou grande visibilidade pelo tamanho semelhante ao ATmega328p, com seu circuito de Botloader, é o Arduino Nano.

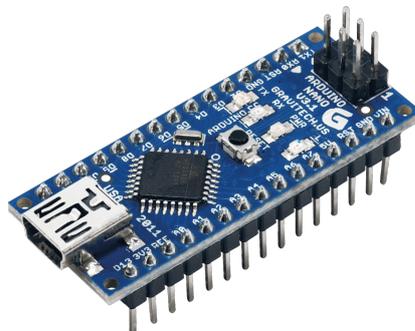


Figura 34 – Arduino Nano

Este Arduino possui duas versões nas quais a principal mudança é a do microcontrolador utilizado em suas estruturas. A versão denominada V2.2 possui um ATmega128. Já a versão mais recente utiliza, em sua estrutura, um Atmega328. Fazendo a comparação

desta placa (Versão 3.3) com o circuito montado, utilizando o ATmega328P, este apresenta uma grande quantidade de benefícios. Uma pequena comparação pode ser estabelecida entre os dois, conforme a tabela 5.

Características	Arduino Nano	Atmega328P
Necessidade de circuito adicional	Não	Sim
Comunicação USB	Possui	Não possui
Dimensões	18 x 45 mm	8 x 35 mm
Preço	RS 32,90	RS20,00
Entradas analógicas	6	8
Entradas digitais	14 (6 PWM's)	(6 PWM's)
Tensão de operação	7 a 12V	2,7 a 5,5V
Velocidade de CPU	16MHz	16MHz

Tabela 5 – Comparação Arduino Nano e Atmega328P

Após a comparação dos dois sistemas, foi feito um teste físico com o Arduino Nano para comparar o seu funcionamento, o qual foi concluído com êxito. Mesmo com um ligeiro aumento de tamanho (10mm para cada lado em comparação com o ATmega328p), o Arduino Nano, ainda sim, possui um menor tamanho em comparação aos outros mencionados no tópico 2.3. A troca deste componente fez com que a montagem se tornasse mais prática, e ainda adicionou duas portas analógicas o que o torna um sistema ainda mais versátil.

Entretanto, essa mudança levantou um grande questionamento na escolha de um controlador para a central do sistema. Em um ambiente no qual possam se utilizar apenas sensores digitais, os problemas de leitura analógica existentes na placa são eliminados e ela pode ser utilizada como sistema que já possui comunicação sem fio o que, de forma prática, transformaria a central e o sistema de comunicação em apenas um sistema com comunicação *wi-fi* e *bluetooth*. Já, observando-se o consumo em ambientes que não possuem a rede elétrica e, principalmente, com o foco onde nenhum subsistema gerador possa ser instalado, a utilização de controladores como a MSP430 possuem um grande destaque, devido ao seu baixo consumo de energia. Portanto, o teste da central demonstra a possibilidade de não apenas um único sistema possível.

Em um início de produção, a utilização de apenas um microcontrolador pode ser realizada enquanto ocorre o desenvolvimento de uma linha de equipamentos, tornando, assim, um produto que possa ser aplicado de formas diferentes e até mesmo em propostas as quais não foram tratadas neste documento, como por exemplo, monitoração de aquários, criadouros de piscicultores e uma gama ainda a se discutir sobre sua aplicação.

6.1.2 Subsistema de sensores

6.1.2.1 Sensor de temperatura

Com a implementação do sensor de temperatura no sistema do Arduino Nano e do código em funcionamento, optou-se por fazer uma comparação de valores com o auxílio de um multímetro digital Stanley Stht 77364. Ele possui, em seu kit, um termopar para realizar suas medições de temperatura, podendo medir temperaturas entre 0°C a 1000°C e possuindo uma precisão de 0,5%. É importante notar que, por não possuir um encapsulamento à prova d'água, o termopar do multímetro não foi submerso em água. Os dados provenientes do teste estão dispostos na tabela 6. (STANLEY, 2015)



Figura 35 – Multímetro digital Stanley Stht 77364

Corpo a ser medido	Sensor DS18B20	Stanley Stht 77364
Temperatura corpórea	36,47°C	Oscilação entre 36 e 37°C
Temperatura em ambiente fechado	28,76°C	Oscilação entre 28 e 29°C
Temperatura em ambiente aberto	23,5°C	Oscilação entre 23 e 24°C
Água fria	6,23°C	Não realizado
Água em temperatura ambiente	19,5°C	Não realizado

Tabela 6 – Comparações de medida de temperatura

Verificando os valores encontrados neste experimento, nota-se boa precisão nos valores. Com o auxílio de um medidor de temperatura com maior precisão e até mesmo maior quantidade de algoritmos significativos, para melhor comparação dos valores, os resultados encontrados podem ser ainda mais precisos para a comparação de valores coletados pelo sensor de temperatura de forma a se ter uma maior validação.

Um fato notado durante esse experimento é a latência existente para o equilíbrio térmico, de forma que alterações bruscas e que se passem em um período muito curto de tempo possam praticamente não serem notadas pelo sistema. Isto evidencia que, depen-

dendo de onde o sistema seja instalado e, principalmente, de acordo com a sua utilização, sensores com uma latência muito alta podem não ser propensos a um equipamento com objetivo de ser preventivo.

6.1.2.2 Sensor de condutividade

O maior problema na calibração de um sensor de condutividade e teste de medições, no momento de pandemia, acabam sendo a não possibilidade da utilização de laboratórios com os equipamentos necessários, além do alto custo de fluídos de calibração prontos. Com uma prévia experiência no desenvolvimento de sensores de condutividade de baixo custo e em sua calibração nos laboratórios de química analítica da Universidade de Brasília, os seguintes testes deveriam ser aplicados ao protocolo de calibração do sensor que seria realizado, de acordo os seguintes passos:

- Compra da solução de condutividade(1413uS/cm);
- Calibração do condutivímetro de bancada com a utilização da solução de acordo o manual;
- Com o condutivímetro calibrado, se preparam soluções com diferentes condutividades(Uma opção é a adição de pequenas frações de cloreto de sódio em água desmineralizada);
- Após isso, faz-se a comparação de resultados obtidos no condutivímetro de bancada e o sensor de condutividade proposto;
- Com os pontos de medição, desenvolve-se uma curva de calibração, de forma a se entender uma função matemática que calibre o sensor;
- Com essa etapa de projeto, é possível obter a constante do eletrodo o que constitui a caracterização final do sensor.

6.1.3 Subsistema de comunicação

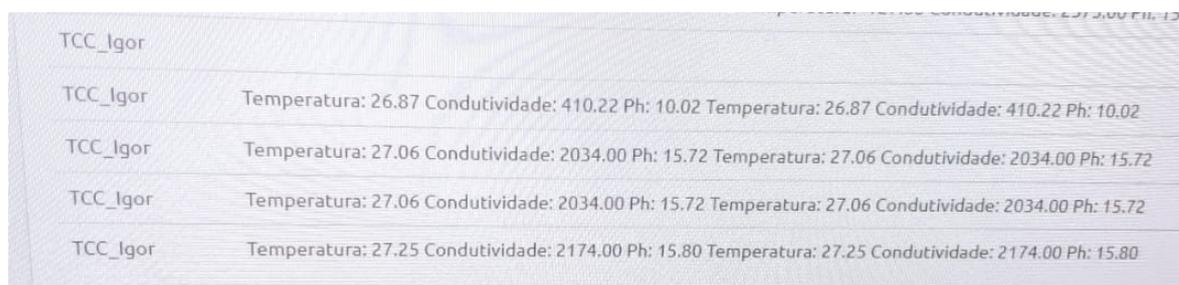
Nos testes de comunicação do projeto, a primeira etapa de verificação foi o envio de dados provenientes da ESP32 para o servidor comprado na CloudMQTT, ocorrendo da seguinte forma:

- Criação de uma *string* na ESP32;
- Conexão à rede *wi-fi* local;
- Acesso ao servidor;

- Envio da mensagem ao servidor(**Publisher**);
- Recebimento da mensagem no servidor(**Broker**);
- Visualização do usuário no servidor(**Subscriber**);

Este teste teve total êxito no envio de informação da ESP32 para o servidor, onde o mesmo também pôde receber os dados de vários outros dispositivos, demonstrando a possibilidade de conexão entre os diferentes equipamentos. Uma outra observação foi a possibilidade de se fazer o envio de mensagem do usuário para o servidor com a leitura do dado pela ESP32, variando parâmetros do equipamento.

O segundo teste foi a transmissão de dados do Arduino Nano para a ESP32 com a utilização de comunicação serial. Portanto, as duas placas foram conectadas de acordo a figura 36, conectando a porta RX(Porta receptora da comunicação serial) de uma placa com a porta TX(Porta transmissora da comunicação serial) da outra. Com essa conexão, é possível o envio e recebimento de dados por ambos os microcontroladores. Assim, testou-se o envio e recebimento de dados nas duas placas, obtendo total êxito.



TCC_Igor	Temperatura: 26.87 Condutividade: 410.22 Ph: 10.02	Temperatura: 26.87 Condutividade: 410.22 Ph: 10.02
TCC_Igor	Temperatura: 27.06 Condutividade: 2034.00 Ph: 15.72	Temperatura: 27.06 Condutividade: 2034.00 Ph: 15.72
TCC_Igor	Temperatura: 27.06 Condutividade: 2034.00 Ph: 15.72	Temperatura: 27.06 Condutividade: 2034.00 Ph: 15.72
TCC_Igor	Temperatura: 27.25 Condutividade: 2174.00 Ph: 15.80	Temperatura: 27.25 Condutividade: 2174.00 Ph: 15.80

Figura 36 – Teste do servidor

O último teste para este subsistema foi o envio de dados do Arduino Nano para a ESP32, por meio do uso de comunicação serial. Em seguida, a conversão de dados recebidos em uma *string* e, por fim, o envio para o servidor. Neste ponto, notou-se que a sincronia entre o arduino e a ESP poderiam apresentar três situações diferente que poderiam acontecer:

- Estado de total sincronia:

Estado no qual o envio de dados das placas funciona totalmente. Sem atrasos. Mas de acordo com a velocidade de envio, a mensagem pode ser enviada em múltiplos(Sequências de medições);

- Sincronia parcial:

Neste estado, podem acontecer duas situações: a falha no envio do dado o que ocasiona a perda do mesmo, ou uma frequência de envio menor com a velocidade

dos dados apresentados (Sequências de mensagens onde em um grupo predefinido apenas algumas carregam informação);

- Ausência total de sincronia:

Neste estado, todas as mensagens enviadas não carregam nenhum dado, ocorrendo, assim, falha crítica na transmissão de dados.

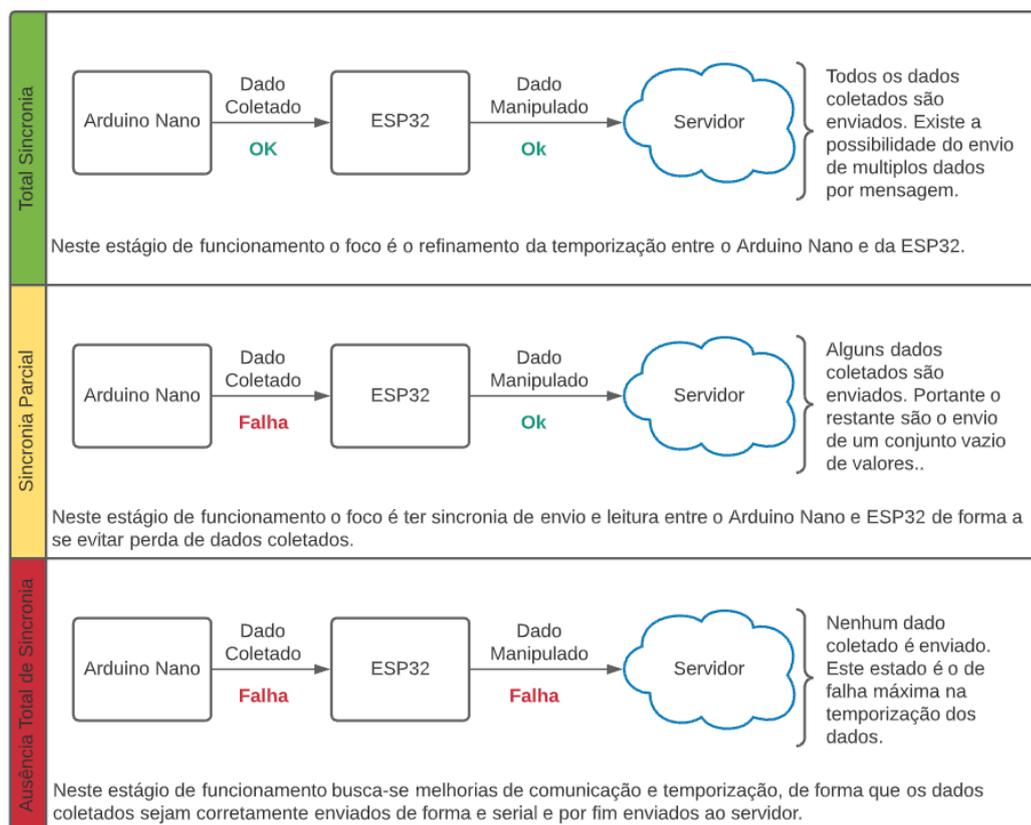


Figura 37 – Estados de funcionamento do subsistema de comunicação.

Para este ponto, optou-se por fazer o envio de dados em pares. Desse modo, não houve perda de dados na etapa de prototipação. Foi uma forma de se evitar falhas na comunicação. Mesmo não sendo a opção mais ideal, foi a única que garantiu que erros de comunicação não ocorressem nesta etapa.

6.1.4 Alimentação do projeto

Com a mudança da utilização do ATmega328p para o Arduino Nano, observa-se que a energia necessária para o funcionamento da central é de valores entre 7 a 12V. Dessa forma, dois fatos podem ser notados: a possibilidade de utilização de baterias 9V para o funcionamento do sistema em conjunto com um sistema de fonte e carregamento em 9V.

Nessa etapa, fez-se teste utilizando uma fonte de 9V e também uma bateria de 9V. Assim, estas duas possíveis fontes podem ser compradas com certa facilidade. Ambas apresentam ótimos resultados e total capacidade de funcionamento do arduino nano, ESP32 e dos sensores.



Figura 38 – Fonte Utilizada no projeto

6.1.5 Integração

A integração do protótipo foi o último passo de montagem. Em um primeiro momento, com todo o sistema em uma protoboard. Isto apresentou total funcionamento. Entretanto, principalmente, para o sensor de condutividade, a existência de capacitância parasita é um fator a se considerar nas medições. Portanto, em uma segunda etapa de projeto, optou-se pela utilização de uma placa perfurada, constituindo a versão final deste protótipo.

Na versão final, pelo menos em protótipo, foi escolhido a não utilização do *display*, devido o maior consumo energético e pela possibilidade de se visualizar os dados tanto em nuvem como pelo monitor serial do Arduino IDE utilizando comunicação serial no computador.

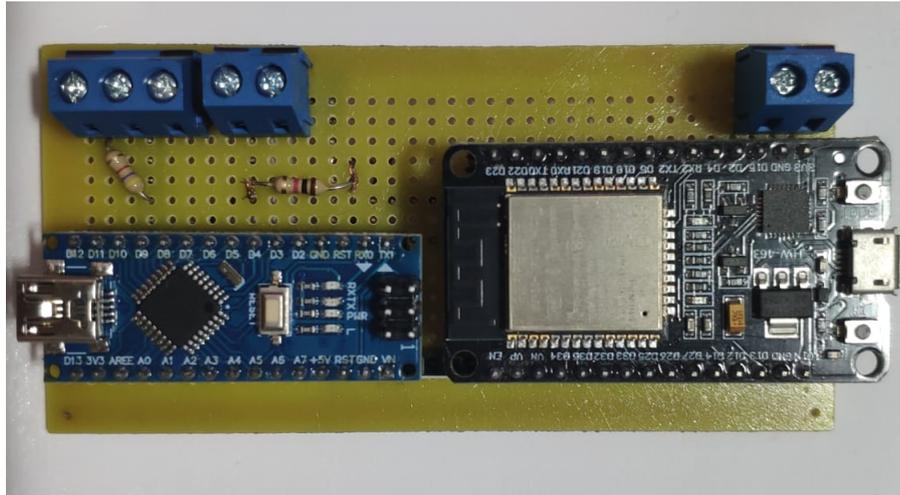


Figura 39 – Placa com o sistema integrado(Vista superior)

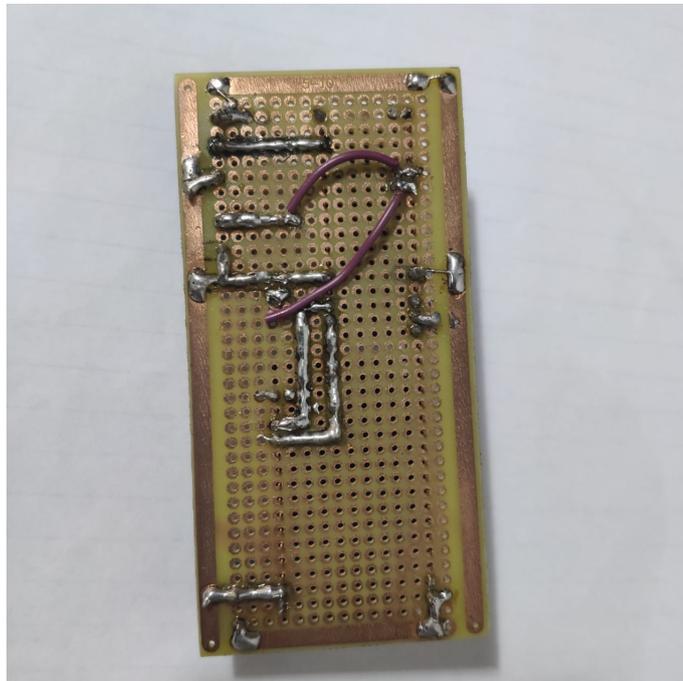


Figura 40 – Placa com o sistema integrado(Vista Inferior)

6.1.6 Custos

No conjunto de características existentes do projeto, uma que se destaca na viabilidade do projeto é o seu custo, entendendo que, em proposta, a utilização de uma grande quantidade de equipamentos seriam necessária para se equiparar a atual quantidade de pontos de medição já utilizados. Nos custos representados pela tabela 6 não foram adicionados valores de componentes comprados como reservas ou mesmo componentes que não foram mantidos presentes no modelo final do projeto. É importante mencionar que o valor de cada componente não foi o ideal devido às necessidades de construção e validação

em tempo de produção. Portanto, é um fato que o projeto, em todos os seus subsistemas, pode possuir um menor valor.

A compra de maiores quantidades de componentes ou mesmo a importação dos mesmos pode, de fato, minimizar seu custo final o que é um fator a ser considerado na produção em maior escala desse equipamento. Por exemplo, a troca da placa perfurada por uma PCB pela empresa JLCPCB no dia 25/01/2021 apresentou valores de \$2 dólares por um conjunto de 5 placas de mesmo tamanho (O que possui um valor semelhante a uma placa perfurada). Assim, é importante frisar que o desenvolvimento de um layout de PCB, além de ser um passo necessário para a evolução do projeto quanto ao seu estado de produto, deve proporcionar uma melhor montagem e segurança para o dispositivo.

Componente	Quantidade	Preço
Arduino Nano	1	R\$65,00
ESP32	1	R\$50,00
Placa Perfurada 5x10 fenolite/cobre	1	R\$15,00
Sensor DS18B20	1	R\$20,00
Resistor 1000 Ω	1	R\$0,05
Resistor 4700 Ω	1	R\$0,05
Cabo de força tipo 8	1	R\$7,00
Conector Borne 2 vias	2	R\$1,50
Conector Borne 3 vias	1	R\$1,75
Servidor	2 meses de uso	\$10 aproximadamente R\$70
Total		R\$230,35

Tabela 7 – Custos dos componentes

7 Considerações Finais

Diante do exposto alguns fatos foram notados durante a prototipação e documentação deste trabalho de conclusão de curso. A viabilidade de construção de um produto com a demanda já existente no Brasil como um mercado em crescimento principalmente ligado as medições de água. A necessidade de equipamentos semelhantes é notada em órgãos públicos e mesmo em investimentos privados em áreas como agricultura, piscicultura e também nos ramos alimentícios que demandam de observações periódicas para sua produção.

Após toda as coletas de dados e observações decorrentes a partir dos testes, verifica-se que a existência de sistemas de monitoramento da água podem ter utilidades em diversos ambientes instalados. No entanto, apenas em uma etapa de prototipação de baixo custo, é notável que diversas questões apresentadas e respondidas evidenciam que, principalmente, o Brasil, atualmente, utiliza uma grande gama de sensores importados. Nota-se que o Brasil pode diminuir os custos, ter um próprio sistema de monitoramento com equipamentos e mão de obra qualificada.

Atualmente, há uma grande necessidade de equipamentos com custo extremamente elevados e que são vendidos ao governo por uma única empresa. Também tem sido alto o custo das expedições periódicas ao governo. Além disso, há o mau gerenciamento e armazenamento dos servidores como o da ANA. Mas isso, de fato, pode se tornar uma nova realidade que pode trazer grandes benefícios, especialmente, para o Brasil. Para isso, é necessário um olhar mais atento a este setor. Há que se pensar, principalmente, na proteção da água do solo brasileiro. Um dos recursos, se não o mais importante, para a manutenção da vida.

As possibilidade de aplicação de sistemas semelhantes nos mais variados ambientes, expõe, ainda mais, o quanto a água é um elemento importante, mesmo este trabalho tendo um foco em sistemas limitados em fase de produção de prototipação. Isto pode ser constatado até mesmo em hobbies como o aquarismos, plantações hidropônicas e, até mesmo, em níveis mais refinados de um sistema onde seja possível indicar se a água é propícia ao consumo. Análises por imagem e o uso de inteligências artificiais podem, ainda, proporcionar dinâmicas de análise da água onde o refinamento do processamento do software e hardware proporcionem equipamentos que mudem, ainda mais, a dinâmica existente dos sistemas que analisem a água.

7.1 Trabalhos futuros

- Necessidade da escolha entre a utilização de apenas um tipo de central ou versões diferentes:

Com os critérios observados, procurar um microcontrolador e utilizar este para todas as situações como forma inicial e, por fim, ter algumas linhas de produtos de forma a se obter a maior versatilidade possível o que tornaria um processo com maior necessidade de tempo e até mesmo combinações de sensores diferentes para cada conjunto de equipamento disponíveis.

- Escolha do conjunto de sensores:

Com a possibilidade da utilização de diferentes plataformas como central do projeto, o conjunto de sensores utilizados faz total diferença no projeto. Opções de sensores com funcionamento entre 3.3 a 5V, sensores analógicos ou digitais também possuem importância no sistema, já que alguns controladores não possuem portas ADC. Outro ponto é a possibilidade da implementação do conceito de fusão de sensores para uma maior segurança e precisão dos dados coletados. Por fim, a escolha de sensores que tenham maior durabilidade submersos na água o que fará com que os mesmos possam ter um menor custo para eventuais trocas.

- Desenvolvimento de uma PCI para o projeto:

Com a presença de uma placa para o projeto, torna-se mais fácil sua construção além de ser a solução ideal para o projeto final. Uma placa com um desenho otimizado reduz o tamanho ocupado e ainda fornece melhor acesso às portas disponíveis pelo controlador.

- Desenvolvimento de um layout para parte externa:

A parte externa do projeto em ambiente onde o aparelho possa estar mais exposto, necessitará de um tipo de case que possa proteger os circuitos e que, principalmente, seja resistente à água. Lembrando, também, de outras intempéries que podem acontecer no ponto de medição, como fortes fluxos de vento, água, e até mesmo a presença de alguns animais.

- Conjunto de sensores em forma de sonda:

Com o conjunto de sensores escolhidos, pode ser desenvolvido uma sonda de forma que maiores tamanhos do cabo podem existir para medições mais profundas na água e que essa estrutura seja mais resistente de forma a aumentar a durabilidade do conjunto.

- Implementação de outras formas de comunicação:

Com essa característica, o equipamento pode ser instalado em diversos locais. Isso é necessário, especialmente, para pontos de medição isolados e com pouco contato humano.

Referências

- A ÁGUA. *Só Biologia*. <<https://www.sobiologia.com.br/conteudos/Agua/>>, Acesso em: 02/11/2019. Citado na página 16.
- AGÊNCIA EXPLICA COMO é FEITO MONITORAMENTO DE RIOS. *Agência Nacional das Águas*. <<https://www.ana.gov.br/noticias-antigas/agaancia-explica-como-a-c-feito-monitoramento-de.2019-03-15.3285844819>>, Acesso em: 07/10/2019. Citado na página 18.
- ANALOG TO DIGITAL CONVERTER. *Espressif Systems*. <<https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/api-reference/peripherals/adc.html>>, Acessado: 15/11/2019. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 59.
- ANKIT SHAHI. *What are current sinks and sources?* <<https://www.quora.com/What-are-current-sinks-and-sources>>, Acesso em: 05/12/2020. Citado na página 52.
- ATMEL. *ATmega328p 8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash Datasheet*. Califórnia, Estados Unidos, 2013. 294 p. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 53.
- CARTA EUROPEIA DA ÁGUA. *Tradução de R. Silveira*: Cesp. São Paulo, 1984. Citado na página 16.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo*: Apêndice d - Índices de qualidade das Águas. São Paulo, 2017. 32 p. Citado 4 vezes nas páginas 10, 11, 23 e 77.
- CONDUTIVIDADE. *Embrapa*. <<http://www.cnpma.embrapa.br/projetos/ecoagua/eco/condu.html>>, Acesso em: 01/11/2019. Citado na página 24.
- DERISIO, J. C. Recurso água. In: *Introdução ao controle de poluição ambiental*. São Paulo, Brasil: [s.n.], 2012. p. 228. Citado 3 vezes nas páginas 24, 25 e 31.
- DOEBELIN, E. O. Measurement systems application and design. In: . Estados Unidos: [s.n.], 2012. p. 984. ISBN 0-07-017338-9. Citado na página 31.
- FOUDANTION, R. P. *Datasheet Raspberry Pi Compute Module*. Reino Unido, 2019. 23 p. Citado na página 29.
- FREITAS, C. M. d. et al. Da Samarco em Mariana à Vale em Brumadinho: desastres em barragens de mineração e Saúde Coletiva. *Cadernos de Saúde Pública*, scielo, v. 35, 00 2019. ISSN 0102-311X. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2019000600502&nrm=iso>. Citado na página 17.
- GAMARO, P. E. M. *MEDIÇÃO DE VAZÃO PELO MÉTODO ACÚSTICO DOPPLER (ADCP) - AVANÇADO*[Apostila de aula]. São Paulo, Brasil, 2007. 44 p. Citado na página 26.
- HORIBA. *Multi Water Quality Checker U-50 Series Instruction Manual*. Quioto, Japão, 2009. 129 p. Citado na página 26.

INSTRUMENTS, T. *MSP430G2x53, MSP430G2x13 Mixed Signal Microcontroller datasheet (Rev. J)*. Texas, Estados Unidos, 2011. 76 p. Citado na página 30.

MICHAEL RATCLIFFE. *Three Dollar EC - PPM Meter [Arduino]*. <<https://hackaday.io/project/7008-fly-wars-a-hackers-solution-to-world-hunger/log/24646-three-dollar-ec-ppm-meter-arduino>>, Acesso em: 02/11/2020. Citado na página 54.

PEDRO REIS. *Qual o preço das baterias para um sistema solar fotovoltaico?* <<https://www.portal-energia.com/preco-baterias-sistema-solar-fotovoltaico-147012/>>, Acesso em: 02/11/2020. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 38.

PRODUCTS, i. M. I. *DS18B20 - Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer*. Califórnia, Estados Unidos, 2019. 20 p. Citado na página 55.

SONTEK. *RiverSurveyor DISCHARGE, BATHYMETRY AND CURRENT PROFILING*. Califórnia, Estados Unidos, 2015. 4 p. Citado na página 27.

STANLEY. *Stanley STHT0-77364 User Manual*. Stanley Europe, Egide Walschaertsstraat 14-16, 2800 Mechelen, Belgium, 2015. 208 p. Citado na página 64.

SYSTEMS, E. *ESP32 Datasheet*. Xangai, China, 2016. 61 p. Citado na página 29.

Anexos

ANEXO A – Curvas de qualidade IQA

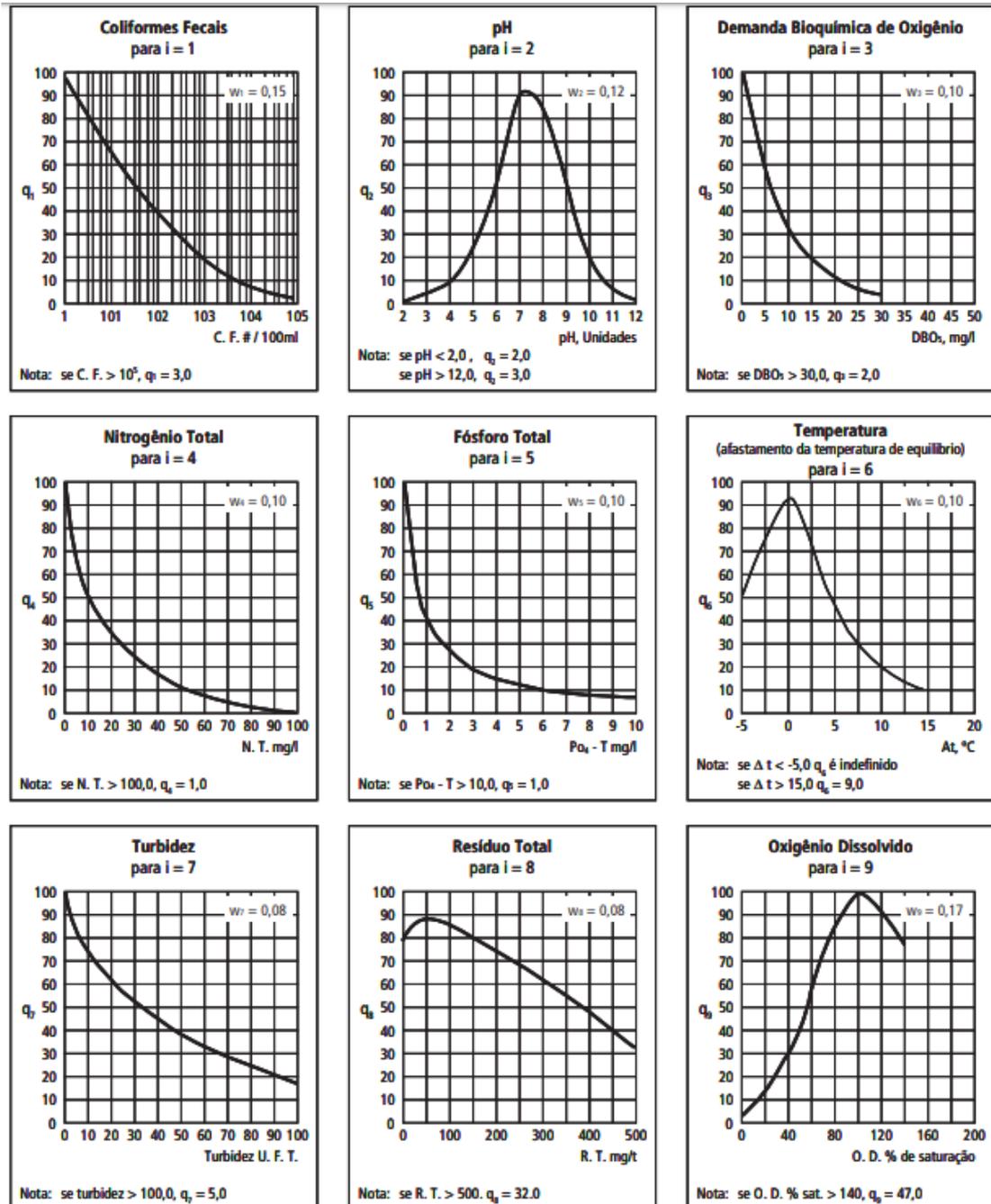


Figura 41 – Curvas de qualidade IQA - fonte:(CETESB, 2017)