



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS  
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA – EST**

**THIAGO ALMEIDA TEIXEIRA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO PARA O MONITORAMENTO  
FÍSICO/QUÍMICO DAS ÁGUAS NA PSICULTURA.**

**Manaus  
2022**

**THIAGO ALMEIDA TEIXEIRA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO PARA O MONITORAMENTO  
FÍSICO/QUÍMICO DAS ÁGUAS NA PSICULTURA.**

Pesquisa desenvolvida durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e apresentada à banca avaliadora do Curso de Engenharia Eletrônica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para obtenção do título de Engenheiro Eletrônico.

Orientador: Daniel Guzmán Del Rio, Dr.



Manaus  
2022

**Universidade do Estado do  
Amazonas – UEA Escola Superior  
de Tecnologia – EST**

Reitor:

**André Luiz Nunes Zogahib**

Vice-Reitor:

**Kátia do nascimento couceiro**

Diretor da Escola Superior de Tecnologia:

**Ingrid Sammyne Gadelha Figueiredo**

Coordenador do Curso de Engenharia Eletrônica:

**Bruno da Gama Monteiro**

Banca Avaliadora composta por:

**Prof. Daniel Guzmán Del Rio, Dr (Orientador)**

**Prof. Fábio de Sousa Cardoso, Dr.**

**Prof. Israel Gondres Torné, Dr.**

Data da defesa: 17 /10/2022.

### **CIP – Catalogação na Publicação**

Teixeira, Thiago Almeida

Desenvolvimento de um protótipo para o monitoramento físico/químico das águas na piscicultura/ Thiago Almeida Teixeira; [orientado por] **Daniel Guzmán Del Rio**. – Manaus: 2022.113 f. p.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Eletrônica). Universidade do Estado do Amazonas, 2022.

1. Piscicultura. 2. pH. 3. Oxigênio Dissolvido. 4. Turbidez. 5. Temperatura da água. I. Gusman Del Rio, Daniel.

**THIAGO ALMEIDA TEIXEIRA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO PARA O MONITORAMENTO FÍSICO/QUÍMICO DAS ÁGUAS NA PSICULTURA.**

Pesquisa desenvolvida durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e apresentada à banca avaliadora do Curso de Engenharia Eletrônica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para a obtenção do título de Engenheiro Eletrônico.

Nota obtida: 9,6 (Nove virgula seis)

Aprovada em 17/10/2022

Área de concentração: Microcontroladores, Análise de circuitos elétricos.

**BANCA EXAMINADORA**

  
\_\_\_\_\_

Orientador: Daniel Guzmán Del Rio, Dr.

  
\_\_\_\_\_

Avaliador: Fábio de Sousa Cardoso, Dr.

  
\_\_\_\_\_

Avaliador: Israel Gondres Torné, Dr.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a todos que utilizam o meio ambiente de forma sustentável para garantir o seu sustento diário e aqueles que utilizam a engenharia de maneira criativa e inovadora para o desenvolvimento de novos produtos.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por me guiar em todas as decisões tomadas por mim ao longo da minha vida. Aos meus pais que sempre acreditaram nas minhas escolhas e me apoiaram em todas elas. Aos amigos de universidade, que compartilhei conhecimentos e bons momentos. A minha família que Deus me deu ao longo da minha formação, a minha filha que foi minha maior motivação nessa etapa final do curso, ao meu orientador pela paciência, bons direcionamentos. Ao professor da disciplina de TCC pelas instruções passadas e incentivo.

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um protótipo que fosse capaz de realizar monitoramento dos dados físicos/químicos, das águas na piscicultura evitando perdas de grande escala durante o desenvolvimento dos animais. O protótipo desenvolvido é capaz de atender os diferentes ambientes de criação. Inicialmente será apresentada a fundamentação teórica para o desenvolvimento deste trabalho: importância da qualidade da água na piscicultura e importância do monitoramento dos parâmetros da água, sendo eles: pH, turbidez, temperatura da água e oxigênio dissolvido, estudo sobre o microcontrolador RAK3272 explicitando suas funcionalidades e aplicações. Além disso, são explorados os protocolos de comunicação LoRa e LoRaWAN. Posteriormente, são apresentadas as etapas e materiais necessários à construção do protótipo, mostrando a arquitetura geral do sistema e as etapas necessárias para a confecção e validação do protótipo desenvolvido, ferramentas utilizadas e implementação do que foi citado anteriormente. Como resultado das experiências descritas ao longo do trabalho, são exibidos os esquemáticos eletrônicos, o *layout* da placa eletrônica, desenho mecânico, leitura dos sensores que irão medir os parâmetros, testes do protótipo em laboratório e em ambiente real de instalação. Por fim, os dados obtidos mostraram que o dispositivo desenvolvido atende aos requisitos inicialmente propostos ao realizar a leitura dos parâmetros da água, otimizando assim o tempo de análise do produtor.

Palavras-chave: Piscicultura. Qualidade. Rak3272. pH. Turbidez. Temperatura da água. Oxigênio Dissolvido. Protótipo. LoRa.

## **ABSTRACT**

The objective of this work is to develop a prototype that is capable of monitoring physical/chemical water data in pisciculture, avoiding large scale losses during the development of animals. The developed prototype is capable of performing in the different creation environments. Firstly, it'll be presented the theoretical foundation related to this project, constituted by: the importance of the water quality regarding the pisciculture, the importance of monitoring water parameters such as pH, turbidity, temperature and dissolved oxygen, and the functions and application of the microcontroller RAK3272. In addition, it'll be presented the communication protocols LoRa and LoRaWAN, followed by the necessary methodological steps and procedures towards the prototype construction, displaying the general system architecture and the necessary procedures towards the validations and construction of the prototype, and also tools and implementation. As a result of the described experiments, it'll be drawn the electronic schematics, the Printed Circuit Board layout, the mechanical project, the parameters acquire by the sensors readings and the prototype tests in lab and in common usage environment. Finally, the obtained data revealed that the developed device meets the initially proposed requirements regarding water parameters reading, therefore optimizing the necessary analysis time for the producer.

**Keywords:** Pisciculture. Quality. Rak3272. pH. Turbidity. Water temperature. Dissolved oxygen. Prototype. LoRa

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Escala de valores de pH.....	10
Figura 2 - Módulo RAK 3172 .....	13
Figura 3 - Arquitetura geral do sistema.....	15
Figura 4 - Arquitetura Geral de Hardware.....	15
Figura 5 - Sensores de leitura dos parâmetros da água.....	16
Figura 6 - Programa Autodesk inventor .....	17
Figura 7 - Requisitos de Hardware do sistema.....	21
Figura 8 - Requisitos de mecânica do protótipo do sistema.....	23
Figura 9 - Bloco de diagrama do RAK3172.....	24
Figura 10 - Pinagem da placa para RAK3172.....	25
Figura 11 - Biblioteca do Altium para novo esquemático.....	25
Figura 12 - Circuito watchdog.....	26
Figura 13 - Diagrama de bloco ADM6316.....	26
Figura 14 - Circuito step-up .....	27
Figura 15 - Circuito regulador 5V .....	28
Figura 16 - Circuito regulador 3v3 .....	28
Figura 17 - Circuito RTC .....	29
Figura 18 - Circuito led externo .....	31
Figura 19 - Circuito RAK3172 – LORA.....	31
Figura 20 - Biblioteca para o desenvolvimento da PCB .....	31
Figura 21 - Desenvolvimento da placa eletrônica .....	32
Figura 22 - Montagem da placa do sistema.....	33
Figura 23 - Testes unitários de resistência do hardware do sistema.....	34
Figura 24 - Testes unitários de alimentação do hardware do sistema .....	34
Figura 25 - Sonda multiparamétrica HANNA HI98194 .....	35
Figura 26 - Nível de turbidez entre 0 NTU e 150 NTU .....	36
Figura 27 - Medição da turbidez na sonda comercial.....	36
Figura 28 - Coleta de dados com sensores do protótipo do sistema.....	37
Figura 29 - Dados da leitura do sensor de pH do protótipo do sistema.....	37
Figura 30 - Leitura dos parâmetros da água com a sonda comercial HANNA HI9819438	

Figura 31 - Código da configuração das portas de entrada e saída .....	39
Figura 32 - Código circuito watchdog.....	39
Figura 33 - Recebimento dos dados dos sensores .....	40
Figura 34 - Criação de peixe em tanque.....	41
Figura 35 - Criação de peixes em açude.....	41
Figura 36 - Criação de peixes em barragens .....	41
Figura 37 - Caixa superior e inferior do protótipo mecânico .....	43
Figura 38 - Protótipo mecânico do sistema .....	43
Figura 39 - Protótipo mecânico com o peso para manter sua estabilidade.....	44
Figura 40 - Protótipo mecânico em ambiente de instalação.....	44
Figura 41 - Controlador de carga MPPT DYKB DC .....	45
Figura 42 - Tensão de entrada da placa solar no LSE .....	46
Figura 43 - Tensão na bateria no LSE .....	46
Figura 44 - Tensão de entrada da placa solar em ambiente externo 20,85 V.....	47
Figura 45 - Tensão de entrada da placa solar em ambiente externo 20,89 V.....	47
Figura 46 - Bateria do sistema sendo carregada pela placa solar .....	48
Figura 47 -Funcionamento do hardware do sistema .....	48
Figura 48 - Dados coletados pela sonda de pH em laboratório .....	49
Figura 49 - Montagem do protótipo mecânico do sistema .....	50
Figura 50 - Vista superior do protótipo mecânico montado.....	50
Figura 51 - Vista inferior do protótipo mecânico .....	51
Figura 52 - Protótipo mecânico em ambiente de teste.....	51
Figura 53 - Protótipo mecânico estável após 30 min na água .....	52
Figura 54 - Protótipo mecânico estável após 1 hora na água .....	52

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>6</b>
<b>1 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>9</b>
1.1 IMPORTÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA NA PSICULTURA .....	9
1.2 IMPORTÂNCIA DO MONITORAMENTO DO PH NA PSICULTURA.....	9
1.3 IMPORTÂNCIA DO MONITORAMENTO DA TURBIDEZ DA ÁGUA .....	10
1.4 IMPORTÂNCIA DA TEMPERATURA DA ÁGUA NA PSICULTURA .....	10
1.5 IMPORTÂNCIA DO OXIGÊNIO DISSOLVIDO NA PSICULTURA.....	11
1.6 INTERNET OG THINGS – IOT.....	11
1.7 COMUNICAÇÃO LORA .....	11
1.8 MÓDULO ESP32.....	12
1.9 PLACA WIFI ESP 32 868 .....	12
1.10 MÓDULO RAK 3172 .....	12
1.11 MQTT.....	13
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>14</b>
2.1 MATERIAS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO DO SISTEMA	17
<b>3 IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO .....</b>	<b>20</b>
3.1 ELABORAÇÃO DOS REQUISITOS DE HARDWARE E MECÂNICA .....	20
3.2 DESENVOLVIMENTO DO ESQUEMÁTICO ELETRÔNICO .....	24
3.2 DESENVOLVIMENTO DO LAYOUT DA PLACA ELETRÔNICA .....	31
3.4 INTEGRAÇÃO ENTRE O HARDWARE E O FIRMWARE DO SISTEMA .....	38
3.5 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO MECÂNICO SISTEMA .....	40
<b>4 RESULTADOS OBTIDOS.....</b>	<b>45</b>
4.1 RESULTADOS DO HARDWARE DO SISTEMA .....	45
4.2 RESULTADOS DO PROTÓTIPO MECÂNICO DO SISTEMA .....	49
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>53</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>54</b>

## INTRODUÇÃO

Uma das maneiras de melhorar os índices de produtividades e eliminar perdas significativas durante o processo de criação na piscicultura é o monitoramento diário das águas do ambiente de produção. No setor da piscicultura o monitoramento adequado da água contribui para minimizar as chances de ocorrência de impactos negativos ao meio ambiente, que por sua vez podem beneficiar a própria piscicultura, além de ser uma ferramenta essencial para os produtores garantirem maior produtividade com menor custo e menor impacto (TODIN, 2021). A criação de peixes funciona como impulsionadora do desenvolvimento socioeconômico ao mesmo tempo que produz alimentos de alto valor nutritivo e ainda pode influenciar na indústria do turismo. Atualmente, a piscicultura gera cerca de 1 milhão de empregos no Brasil, entre diretos e indiretos. A atividade tem um grande potencial de crescimento no País, podendo se tornar uma fonte relevante de proteína diante da crescente demanda por alimentos no mundo. Isso porque, segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), existem mais de 11 mil rios, riachos e córregos registrados no Brasil, sem contar uma das maiores faixas costeiras do mundo, com mais de 7,4 mil quilômetros. A piscicultura é realizada inclusive no semiárido, onde pode estar associada ao cultivo de outros alimentos (SUMMITAGRO, 2021).

Nesse aspecto, a inserção de um protótipo com um sistema de medidores inteligentes irá auxiliar na identificação de potenciais pontos de melhoria na produção das espécies durante seu desenvolvimento até a etapa de consumo.

Como hipótese, foi proposto que seria possível construir um protótipo de sistema para monitoramento de parâmetros físico/químicos, (pH, turbidez da água, temperatura da água e oxigênio dissolvido) que reflete diretamente na captação de dados referente a qualidade da água na piscicultura, auxiliando assim o produtor nas decisões que devem tomadas com relação a antecipação de problemas na sua produção. Nessa hipótese proposta, o sistema seria composto de um microcontrolador em associação com os sensores de leitura de parâmetros da água, responsáveis por fornecer os dados necessários para o acompanhamento dos parâmetros do ambiente de criação dos animais. Objetivou-se, portanto, construir um protótipo capaz de atender os diferentes tipos de ambiente onde se faz a criação de peixes, realizar interconexões entre o microcontrolador e os sensores utilizados,

obter os dados de leitura através do protocolo P2P, e visualizá-las no terminal serial do software Arduino IDE. De posse das informações dos sensores, estas serão validadas com sondas comerciais para validar o funcionamento do protótipo e a veracidade das informações enviadas.

A presente pesquisa justifica-se por disponibilizar uma alternativa de monitoramento ao produtor rural que tem como a piscicultura o seu principal meio de renda, atualmente no Brasil as coletas para o acompanhamento dos parâmetros da água durante a criação dos peixes são realizadas de forma manual, ocasionando demora nas análises e muitas vezes gerando dados errôneos incapacitando os produtores de tomar as providências cabíveis para a regulação da água.

A implementação de um dispositivo embarcado versátil com a capacidade de captar dados dos parâmetros da água, envolve a utilização de vários conceitos estudados nas disciplinas de Engenharia Eletrônica, tais como: Fundamentos de Eletrônica, Análise de Circuitos Elétricos, Técnicas de Programação em Engenharia Eletrônica, Microprocessadores e Microcontroladores, Sensores e Instrumentação Eletrônica e Construção Eletrônica.

Este trabalho está dividido em quatro capítulos, quais sejam: referencial teórico, materiais e métodos, implementação do projeto e resultados obtidos.

O primeiro capítulo destina-se ao referencial teórico, responsável por contextualizar o leitor dos assuntos anunciados anteriormente, tal como a importância da qualidade da água na piscicultura e a importância da medida dos parâmetros pH, turbidez, temperatura da água e oxigênio dissolvido, exaltando as características de cada parâmetro e sua importância para o desenvolvimento saudável dos peixes, passando pelas tecnologias e protocolo de comunicação que serão utilizadas no desenvolvimento do protótipo.

O segundo capítulo é a metodologia, nela serão descritas as etapas para a construção do Protótipo do sistema, os materiais que foram utilizados, suas características, quais as etapas foram seguidas para o desenvolvimento da placa e do protótipo mecânico.

No terceiro capítulo encontra-se a implementação, nela descreve-se a execução dos passos da metodologia, além de exibir os esquemáticos eletrônicos, simulações, layout da placa e desenho mecânico do protótipo.

O quarto capítulo está destinado à análise e interpretação dos resultados, onde serão detalhados o desempenho das diversas combinações dos parâmetros

lidos pelos sensores, bem como a comparação com as sondas comerciais de alta precisão.

Por fim, na conclusão retoma-se o que foi proposto como hipótese e objetivo em comparação com os resultados obtidos, mostrando que a construção deste protótipo pode atender a leitura remota dos parâmetros da água em tempo real.

## 1 REFERENCIAL TEÓRICO

Estando o problema e sua proposta de solução bem definidos, é necessário realizar uma extensa pesquisa bibliográfica visando definir as melhores ferramentas e técnicas para o cumprimento dos requisitos do projeto.

Neste capítulo, serão abordados os aspectos teóricos dos assuntos relacionados ao projeto. Inicialmente, será feita uma contextualização sobre a importância da qualidade da água na piscicultura e da medição de seus parâmetros pH, turbidez da água, temperatura da água e oxigênio dissolvido. Em seguida, serão abordados os conceitos introdutórios sobre internet das coisas, comunicação LoRa, ESP32, placa Wifi ESP32 868, Modulo RAK3172 e o protocolo MQTT.

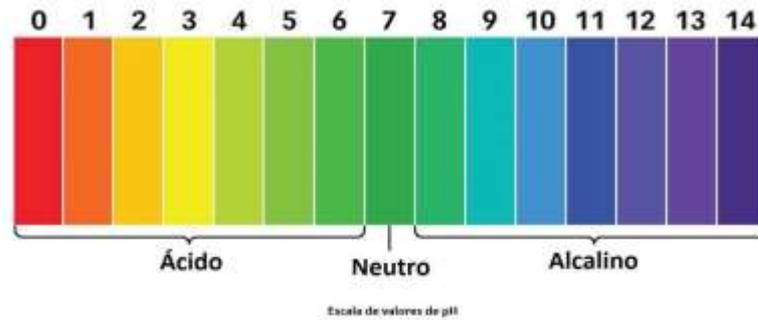
### 1.1 IMPORTÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA NA PSICULTURA

A qualidade da água em qualquer criação é de suma importância para o sucesso da produção, mas em piscicultura ela é a principal matéria prima do processo. As características da água podem afetar de alguma forma a sobrevivência, reprodução, crescimento, produção ou mesmo o manejo dos peixes. Portanto uma avaliação dos recursos hídricos disponíveis para o cultivo vai definir o plano de criação dos peixes (COLPANI, 2018).

### 1.2 IMPORTÂNCIA DO MONITORAMENTO DO PH NA PSICULTURA

A concentração de bases e ácidos presentes na água são determinantes nas alterações do pH, alterado em virtude da respiração, presença de adubo na água, calagem e poluição. Durante o transporte, a diminuição da concentração de Oxigênio Dissolvido, devido à respiração dos peixes, pode também ocasionar diminuição do pH da água. Esta diminuição é um dos fatores gerados de estresse mais comumente associado a aumento da taxa de mortalidade durante o transporte dos peixes. Os níveis ideais de pH se encontram entre 6,0 e 9,0. Quando na faixa entre 4,0 e 6,0 ou 9,0 e 11,0 são aumentados os níveis de estresse das espécies. Fora desses limites, a mortalidade se faz presente, a escala de valores de pH é ilustrada na figura 01 (NATIVA, 2018).

Figura 01: Escala de valores de pH



Fonte:(NATIVA, 2018).

### 1.3 IMPORTÂNCIA DO MONITORAMENTO DA TURBIDEZ DA ÁGUA

A turbidez da água é consequência direta do arraste dos sedimentos vários como sólidos em suspensão (silte, argila, sílica, coloides), matéria orgânica e inorgânica, finamente divididas, organismos microscópicos e algas. A origem desses materiais pode ser o solo, a mineração, as indústrias e o esgoto doméstico lançado no manancial sem tratamento. Esses materiais apresentam tamanhos diferentes, variando desde partículas maiores (1 mm), até as que permanecem em suspensão por muito tempo, como é o caso das partículas coloidais (diam. = $10^{-4}$  a  $10^{-6}$  cm). A turbidez é encontrada em quase todas as águas de superfície, mas está normalmente ausente nas águas subterrâneas. Os sedimentos se depositam no leito dos lagos e reservatórios causando assoreamento e turbidez, são também fonte de alimentos e habitat para fauna. Existe toda uma comunidade bentônica que se alimenta dos detritos (ou sedimentos) aí depositados: peixes, invertebrados aquáticos e outros. Os sedimentos que causam a turbidez impedem a penetração da luz solar dificultando a fotossíntese; recobrem os ovos de peixes e outros animais aquáticos e seus habitats, além de provocar entupimento das brânquias causando a mortalidade nos peixes (SNATURAL, 2022).

### 1.4 IMPORTÂNCIA DA TEMPERATURA DA ÁGUA NA PSICULTURA

A temperatura da água é um dos fatores mais importantes nos fenômenos químicos e biológicos existentes em um viveiro. Através dela são reguladas as atividades fisiológicas dos animais aquáticos como: respiração, digestão, alimentação e reprodução. Cada espécie que se pretende cultivar apresenta uma

faixa de temperatura ótima, na qual aumenta-se sua taxa de crescimento. A temperatura também está diretamente ligada ao oxigênio dissolvido disponível nos tanques de piscicultura: temperaturas mais elevadas diminuem a concentração de Oxigênio Dissolvido. A faixa de temperatura ideal para espécies tropicais se encontra entre 20°C e 28°C e é na faixa entre 24°C e 28°C em que sua alimentação é otimizada. Para temperaturas acima de 32°C aumenta-se o risco de morte das espécies (NATIVA, 2018).

### 1.5 IMPORTÂNCIA DO OXIGÊNIO DISSOLVIDO NA PSICULTURA

O consumo de oxigênio é vital para a manutenção e crescimento das espécies aquáticas. Como geralmente se encontra com baixa solubilidade na água, a concentração de oxigênio se torna um limitante para a vida subaquática. Se de um lado a produção de oxigênio dissolvido pode ser aumentada pela presença de algas nos tanques, o acúmulo de matéria orgânica e sua decomposição levam ao consumo de O.D. disponível para as espécies cultivadas. Concentrações acima de 5 mg/L são ideais para o desenvolvimento dos peixes e crustáceos e a exposição dos animais aquáticos a concentrações abaixo de 1 mg/L podem ser letais (NATIVA, 2018).

### 1.6 INTERNET OF THINGS – IOT

A Internet das Coisas (IoT, pela sigla em inglês) é uma rede global crescente de objetos habilitados para Internet que transferem dados e se comunicam entre si. Todos esses objetos têm identificadores exclusivos e podem variar desde dispositivos móveis até eletrodomésticos e carros. A IoT também pode incluir pessoas, animais ou outros objetos com sensores incorporados, como um monitor de frequência cardíaca para prevenção de ataques cardíacos, coleiras que podem rastrear a localização e a saúde de um cão ou sensores em equipamentos agrícolas para detectar problemas na lavoura (VMWARE, 2022).

### 1.7 COMUNICAÇÃO LORA

O LoRa (Long Range) é uma tecnologia de comunicação sem fio aplicada em redes LPWAM (Low Power Wide Area Network). O LoRa se assemelha ao WiFi e ao Bluetooth, porém permite comunicações em longas distâncias e com um

baixo consumo de energia. Ao utilizar o LoRa, em áreas urbanas é possível atingir uma comunicação sem fio de até 4Km. Considerando áreas rurais, é possível obter comunicação sem fio de até 15Km. Tudo isso utilizando uma potência baixa de 20Dbm ou 100mW (OLIVEIRA, 2019).

## 1.8 MÓDULO ESP32

O LoRa (Long Range) é uma tecnologia de comunicação sem fio aplicada em redes LPWAM (Low Power Wide Area Network). O LoRa se assemelha ao WiFi e ao Bluetooth, porém permite comunicações em longas distâncias e com um baixo consumo de energia. Ao utilizar o LoRa, em áreas urbanas é possível atingir uma comunicação sem fio de até 4Km. Considerando áreas rurais, é possível obter comunicação sem fio de até 15Km. Tudo isso utilizando uma potência baixa de 20dBm ou 100mW (OLIVEIRA, 2019).

## 1.9 PLACA WIFI ESP 32 868

A união entre o LoRa e o ESP32 resultou na Placa WiFi LoRa ESP32. Esta é uma plataforma completa de *hardware* e software voltada para prototipagem IoT, pois conta com WiFi, Bluetooth e o LoRa. A Placa WiFi LoRa ESP32 possui um Display OLED de 0,96" 128X64 que permite exibir em tempo real diversas informações, logo, toda depuração de informações podem ser verificadas sem o uso de uma ferramenta externa (OLIVEIRA, 2019).

## 1.10 MÓDULO RAK 3172

RAK3172 é um módulo transceptor de longo alcance de baixa potência para aplicações LoRa, ilustrado na figura 02, e LoRaWAN baseado em chip de STM32WLE5CC. Seu *firmware* é baseado em RAK wireless Unified interface V3 (RUI3) que lhe permite criar diferentes funcionalidades que utilizam APIs RUI. Ele fornece um pequeno tamanho solução de fácil utilização, de baixa potência para aplicações de longo alcance de dados sem fios. Este módulo está em conformidade com as especificações Classe A, B e C de LoRaWAN. Ele também suporta Lora Point-to-Point modo de comunicação (P2P) que ajuda a implementar a sua própria rede Lora personalizada de longo alcance rapidamente, ele pode funcionar como

um dispositivo autônomo criando *firmware* personalizado via APIs RUI3 ou pode ser implantado como um modem LoRA com um host externo como um microcontrolador ou microprocessador que configura e envia comandos para o módulo usando comandos AT e binários por meio de uma interface UART (RAK, 2022).

Figura 02 – Módulo RAK 3172



Fonte: (RAK, 2022)

### 1.11 MQTT

O MQTT é um protocolo simples e de baixa complexidade de transporte de mensagens que utiliza o modelo publicador/subscritor, do inglês *publisher/subscriber*, através de um gerenciador denominado corretor, ou broker, de forma que um produtor de dados publique uma mensagem para um destino chamado de tópico, e caso haja algum cliente inscrito nesse tópico, este irá receber a mensagem enviada (MESNIL, 2014). Por ser um protocolo de reduzida complexidade, implicando em menor utilização de recursos computacionais, o MQTT é bastante utilizado em aplicações embarcadas utilizando microcontroladores para fazer a interface entre sensores e a rede de Internet, ou seja, a aplicação IoT se torna simplificada ao fazer o uso deste protocolo de transporte de mensagens.

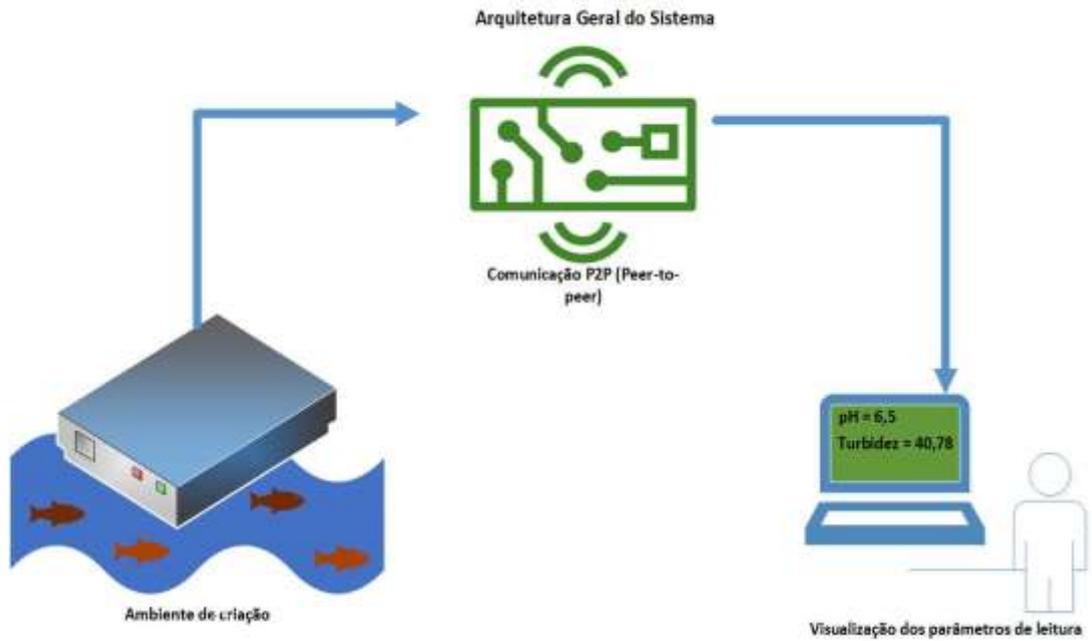
## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo é apresentada a sequência de eventos para a concepção do projeto, tendo como ponto de partida a aquisição de dados dos sensores e como artefato final a comunicação do protótipo com o computador do usuário. O sistema consiste em um dispositivo versátil dotado de sensores, capaz de realizar a leitura dos parâmetros dos dados da água e enviar os dados para um receptor via comunicação P2P. Essa detecção se dar por meio de uma placa eletrônica com o microcontrolador RAK3272, na qual a mesma irá receber por meio de conectores as sondas que fazem a leitura dos parâmetros da água, a placa eletrônica será comportada dentro de um protótipo mecânico, no qual é capaz de atender todos os requisitos necessários para que possa ficar em vários ambientes de criação de peixe sem qualquer tipo de impacto na leitura dos dados e em sua estrutura física.

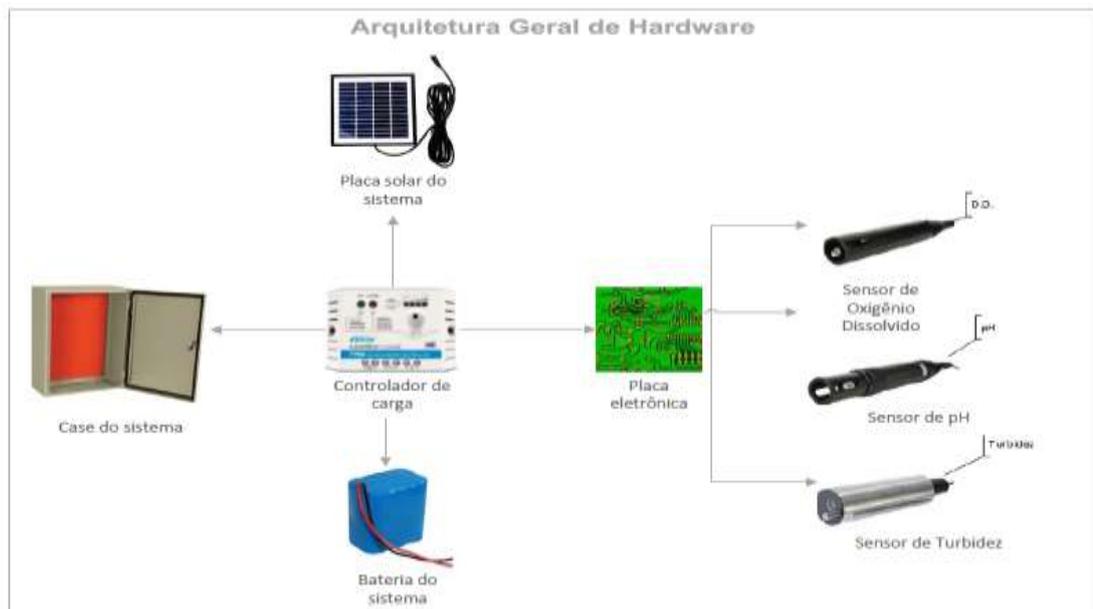
Na primeira etapa foram definidos os requisitos para o desenvolvimento do protótipo nas áreas de *Hardware*, *Mecânica* e *Firmware*, com os requisitos previamente definidos foi realizado um estudo minucioso no datasheet do microcontrolador RAK3272, pois a partir do microcontrolador foi possível realizar as definições de protocolo de comunicação e de sensores de leitura a serem utilizados dentro da implementação. Em seguida foi definido os requisitos quanto ao protótipo mecânico do sistema, bem como: ambientes de instalação, análise da duração do material, estrutura para comportar os sensores, estrutura para comportar o *hardware* do sistema entre outros. A partir das definições iniciais foi possível ter uma visão clara da estrutura do protótipo e do sistema para que se fosse dado *start* ao desenvolvimento.

Na segunda etapa foi elaborada a arquitetura geral do sistema representadas na figura 03 e específica de *hardware* representada na figura 04.

Figura 03 – Arquitetura geral do sistema



Fonte: O próprio autor

Figura 04: Arquitetura Geral de *Hardware*

Fonte: O próprio autor

Na terceira etapa deu-se início à confecção do *hardware* do sistema. Este protótipo é composto de quatro blocos funcionais, a citar: circuito gerenciador de carga de bateria, circuito RTC, circuito *watchdog*, circuito rak3272 e circuito regulador de tensão. O *hardware* é composto por uma placa eletrônica, detalhes sobre arquitetura dos circuitos serão mostrados na seção 3.2. O esquemático e leiaute dos circuitos citados foi elaborado no *software* Altium Design versão 6.4.5, onde é possível desenhar diagramas elétricos e placas de circuito impresso. Para a simulação dos circuitos também foi utilizado o *software* Altium Design.

Na quarta etapa realizou-se a validação de leitura dos sensores que foram utilizados para a leitura dos parâmetros do protótipo, representados na figura 05, os sensores utilizados são da empresa BOQU com as seguintes especificações: BH-485-pH Digital pH sensor, BH-485-DO Digital DO Sensor e o ZDYG-20880-01 Digital Turbidity Sensor, além da sonda comercial HANNA HI98194, os sensores e a sonda para validação e leitura dos dados foram disponibilizados pelo Prof.Água (mestrado de gestão e regulação dos recursos hídricos).

Figura 05 – Sensores de leitura dos parâmetros da água



Fonte: Próprio autor

Na quinta etapa foi realizada a integração entre *hardware* e o *firmware* do sistema, o código desenvolvido para funcionalidade e leitura dos dados a serem

enviados para o usuário final, após a integração do sistema o protótipo foi preparado para os primeiros testes em laboratório e posteriormente os testes em campo.

Na sexta etapa foi realizado o desenvolvimento do protótipo mecânico do sistema no *software* inventor representado na figura 06, com base nos requisitos foi possível desenvolver um protótipo que atendesse os obstáculos que poderiam ser enfrentados durante a leitura dos dados e até mesmos aos agentes externos tais como: chuva e os próprios animais do viveiro. O protótipo mecânico também irá comportar os itens de *hardware* como bateria, controlador de carga, placa eletrônica, placa solar e os sensores de leitura, após essa etapa foi possível realizar os primeiros testes em campo do sistema.

Figura 06- Programa Autodesk inventor



Fonte: (AX4B, 2022)

Na sétima etapa foi realizada os testes em campo e validação dos resultados obtidos pelo protótipo do sistema, também foi realizada a comparação dos dados lidos com a sonda comercial dando assim veracidade a leitura realizada pelo protótipo.

## 2.1 MATERIAS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO DO SISTEMA

Para a confecção da placa eletrônica do sistema, foram utilizados os materiais listados abaixo:

1. 1 modulo transceptor RAK 3172;

2. 1 bateria 12 V li-ti-on;
3. 1 placa solar 10W;
4. 10 resistores 10 k;
5. 01 resistor 68k;
6. 01 resistor 174 k;
7. 01 resistor 20 k;
8. 13 capacitores 0,1 uf;
9. 05 capacitores 10 uf;
10. 02 capacitores 22 uf;
11. capacitor 330 uf;
12. 01 capacitor 100 uf;
13. 01 capacitor 220 uf;
14. 01 indutor 4,7;
15. 01 led verde;
16. 01 Diodo 120mf;
17. 05 resistores 4,7 k;
18. 01 M41t0m6;
19. 01 MIC37101;
20. 01 LM2596;
21. 01 ADM6316;
22. 01 Indutor 150 mohm;
23. 01 resistor 1k;
24. 01 resistor 3,6 k;
25. 01 Sensor de leitura pH;
26. 01 Sensor de leitura Turbidez;
27. 01 Sensor de leitura Oxigênio Dissolvido;
28. 03 conectores fêmea 5 vias;
29. 03 conectores fêmea 5 vias;
30. Placa de circuito impresso;

Para a confecção do protótipo mecânico do sistema, foram utilizados os materiais listados abaixo:

1. Acrílico para a montagem das caixas;

2. Case para comportar a placa eletrônica do sistema;
3. Fita 3M;
4. Parafusos rosca 10MM.

### 3 IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO

Este capítulo apresenta os procedimentos detalhados para a realização do projeto, passando pela elaboração dos requisitos de cada área, validação do protótipo até os testes em campo.

São apresentados neste capítulo os seguintes tópicos:

- a) elaboração dos requisitos de *hardware* e mecânica;
- b) desenvolvimento do esquemático eletrônico;
- c) desenvolvimento do layout da placa eletrônica;
- d) calibração dos sensores de pH, Oxigênio Dissolvido e Turbidez;
- e) integração entre o *firmware* e o *hardware* do sistema;
- f) desenvolvimento do protótipo mecânico sistema.

#### 3.1 ELABORAÇÃO DOS REQUISITOS DE HARDWARE E MECÂNICA

O processo de elaboração dos requisitos é de suma importância para todo e qualquer projeto a ser desenvolvido, pois o documento de requisitos permite que o desenvolvedor faça as escolhas das tecnologias de acordo com a necessidade apresentada.

Neste documento serão descritos, de forma resumida, para desenvolvimento dos elementos gerais, mecânicos e de *hardware*, e materiais empregados conforme as características gerais e específicas definidas. Os requisitos descritos neste documento são classificados em: **Essencial (ESS)**, **Importante (IMP)** e **Desejável (DES)**. O requisito classificado como essencial é aquele que deverá obrigatoriamente ser implementado no projeto pois afeta a sua funcionalidade. O requisito importante é aquele que não afeta o funcionamento do projeto caso não seja implementado e o requisito desejável consiste em um anseio cuja funcionalidade descrita não é obrigatório no projeto.

Durante a elaboração do projeto foram realizadas considerações de desenvolvimento e levantamento de requisitos, dentre esses requisitos alguns foram essenciais no processo de escolha do microcontrolador a ser utilizado, tamanho do protótipo, consumo energético, alimentação do sistema e modo de envio de dados.

Para a elaboração dos requisitos de *hardware* foi levado em consideração durante o planejamento do protótipo todas as funcionalidades que a placa

eletrônica do sistema deveria apresentar, facilitando assim o processo de desenvolvimento e validação das funcionalidades na etapa de testes. Os requisitos de *hardware* do sistema podem ser visualizados na figura 07.

Figura 07 – Requisitos de Hardware do sistema

REQUISITOS DE HARDWARE				
CÓDIGO	NOME	ESS	IMP	DES
HW-01	Interface RS-485	■		
HW-02	Alimentação da PCI de controle	■		
HW-03	Alimentação dos sensores	■		
HW-04	Colheita de energia	■		
HW-05	Verificação de estado do módulo de energia		■	
HW-06	Sistema de armazenamento de energia por bateria	■		
HW-07	Real time Clock	■		
HW-08	Leds de sinalização		■	
HW-09	Interface para gravação e depuração	■		
HW-10	Interface de comunicação via rádio LoRa	■		
HW-11	Circuito de detecção de sonda		■	
HW-12	Circuito de watchdog externo		■	
HW-13	Condições físicas que PCI deve suportar		■	

Fonte: próprio autor.

Cada requisito definido possui sua descrição detalhada e com um objetivo específico da placa eletrônica do sistema.

**HW-01** - A placa eletrônica deve possuir circuito de *tranceiver* para o padrão RS-485 que é uma interface padrão da camada física de comunicação, um método de transmissão de sinal, o primeiro nível do modelo OSI (Interconexão de Sistema Aberto), para se comunicar com os sensores e sondas.

**HW-02** - O módulo de alimentação deve possuir um circuito para receber, filtrar e condicionar uma alimentação externa AC para níveis de tensão CC de operação.

**HW-03** – A placa eletrônica deve disponibilizar alimentação elétrica para os sensores e sondas em tensão contínua de 12V e 24V.

**HW-04** – A placa eletrônica deve possuir um circuito para realizar o gerenciamento da energia recebida externa fotovoltaica.

**HW-05** – A placa eletrônica deve possuir um circuito que verifique falha na alimentação oriunda do sistema fotovoltaico.

**HW-06** – A placa eletrônica deve possuir um sistema de armazenamento de

energia por baterias. O dimensionamento da autonomia da bateria será feito com base na condição de alimentação disponibilizada, sendo necessária uma vida útil de 5 dias da bateria sem nenhuma alimentação.

**HW-07-** A placa eletrônica deve possuir circuito externo de *Real Time Clock* (RTC) com alimentação dedicada. O circuito deverá ser configurável por meio de microcontrolador.

**HW-08 -** A placa eletrônica deve possuir Leds de sinalização, verde se a placa estiver em seu pleno funcionamento e vermelho para informar se a mesma parou de funcionar ou se está com algum problema de periféricos.

**HW-09–** A placa eletrônica deve comportar uma interface de gravação compatível com o microcontrolador adotado, deve comportar uma interface de comunicação para eventuais depurações de *firmware*.

**HW-10 –** O *Hardware* da PCI de controle deve ser dotado de um *transceiver* LoRa 915MHz, a antena superior ou igual à 3 dBi com certificação IP67, o alcance da comunicação: 1 km em campo aberto independente das condições climáticas

**HW-11-** Deve conter na placa eletrônica um circuito para detecção da presença da sonda conectado ao microcontrolador.

**HW-12 -** Deve conter na PCI de controle um circuito de *watchdog* timer com temporizador maior ou igual a 5s.

**HW-13 –** A placa eletrônica deve suportar temperatura de no mínimo 60 °C e umidade relativa de até 90%.

Para a elaboração dos requisitos de mecânica representado na figura 08, foi levado em consideração durante o planejamento do protótipo todas as dificuldades que o protótipo do sistema poderia enfrentar em ambiente real de operação, facilitando assim o processo de desenvolvimento e validação das funcionalidades na etapa de testes.

Figura 08 -Requisitos de mecânica do protótipo do sistema.

REQUISITOS MECÂNICOS				
CÓDIGO	NOME	ESS	IMP	DES
MEC-01	Receber todos os sensores.	■		
MEC-02	Suportar todos os ambientes de criação	■		
MEC-03	Deve ser de fácil instalação	■		
MEC-04	Troca interna de fluido continua.	■		
MEC-05	O ambiente de leitura limpo	■		
MEC-06	Ambiente seguro para os sensores	■		
MEC-07	Suporte para placa solar	■		
MEC-08	O material deve atender o ambiente de instalação		■	
MEC-09	Case para os componentes de hardware.	■		

Fonte: O próprio autor

Cada requisito definido possui sua descrição detalhada e com um objetivo específico do protótipo mecânico do sistema.

**MEC-01** - Todos os sensores precisam de um posicionamento para a fixação e melhor leitura, deve-se observar segundo o datasheet o posicionamento de cada sensor e suas dimensões para que seja dimensionado o protótipo.

**MEC-02**- O protótipo precisa ser capaz de ser instalado em todos os ambientes utilizados para criação de peixes.

**MEC-03**- O protótipo precisar ser de fácil manutenção e montagem, além de possuir uma fácil instalação do local onde o mesmo irá realizar a leitura.

**MEC-04**- É essencial que o fluido tenha troca contínua e sem perturbação de modo que não haja interferência na leitura dos sensores.

**MEC-05**- Materiais de suspensão podem ser os principais causadores de erros de leitura, haja vista que podem, principalmente em sondas ópticas, fechar a linha de visão usada para leitura.

**MEC-06**- Como se trata de um ambiente aberto à natureza pode ocorrer que animais de maior ou menor porte interfiram na estrutura ou na leitura diretamente.

**MEC-07**- O protótipo deve ser capaz de receber uma placa solar, sem que a leitura dos dados pelos sensores seja impactada, e até mesmo sua funcionalidade.

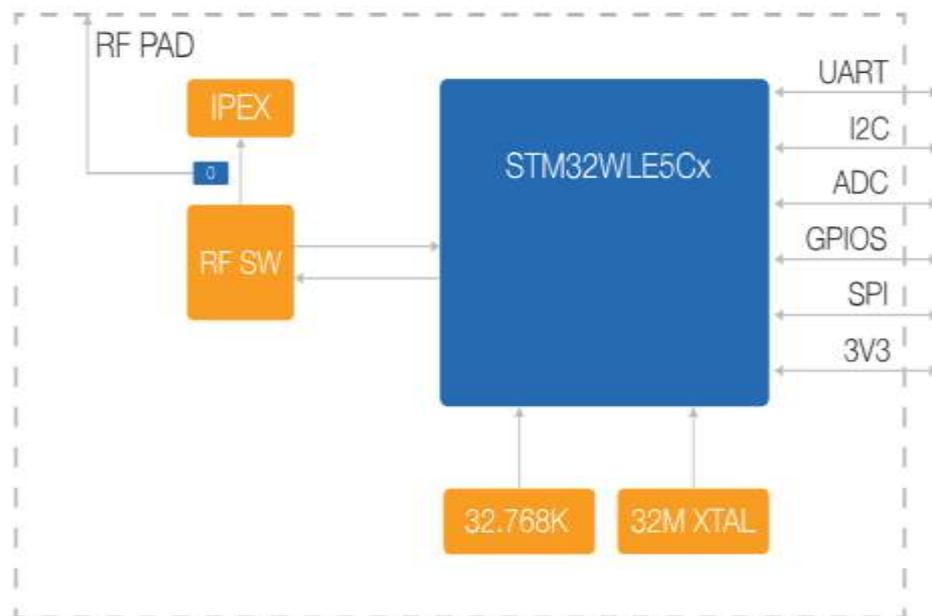
**MEC-08**- O material que será utilizado para a confecção do protótipo não deve ser composto por itens que possam degradar o meio ambiente.

**MEC-09** – Case para receber os itens de *hardware* que não podem receber água em sua superfície, pois os mesmos podem danificar.

### 3.2 DESENVOLVIMENTO DO ESQUEMÁTICO ELETRÔNICO

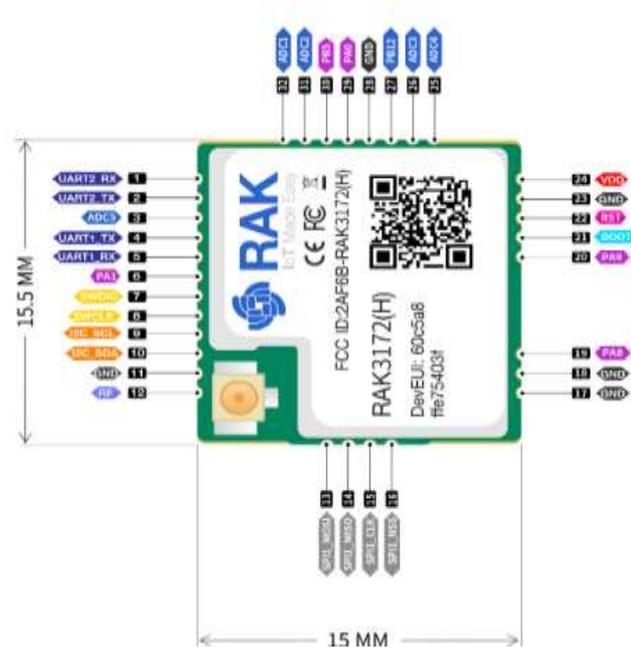
Com os requisitos definidos foi possível iniciar o desenvolvimento do esquemático eletrônico, primeiramente foi realizado o estudo detalhando do RAK3172, para que os circuitos da placa fossem desenvolvidos de acordo com as suas especificações, de acordo com a folha de dados do fabricante o RAK3172 é um transceptor baseado no STM32WLE5CC, é requerida uma alimentação que esteja entre 2,0V a 3,6V, o RAK3172 também oferece recursos de baixo consumo que é em média 1.69  $\mu\text{A}$ , com isso é o mais indicado para aplicações com exigem alimentação por bateria, que é o caso do protótipo do sistema, na figura 09 pode ser visualizado o bloco de diagrama e na figura 10 a pinagem da placa para o RAK3172.

Figura 09 – Bloco de diagrama do RAK3172



Fonte: (RAK, 2022)

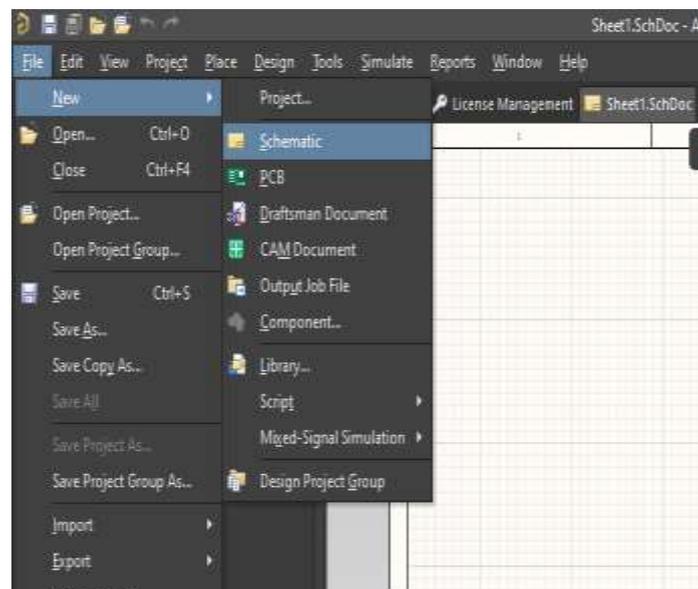
Figura 10 – Pinagem da placa para RAK3172



Fonte: (RAK, 2022)

Com as especificações definidas quanto a capacidade de alimentação e parâmetros que são suportados para a comunicação do módulo, foi realizado o desenvolvimento dos esquemas elétricos de acordo com os requisitos, e para o desenvolvimento dos esquemas foi utilizado o *Software* Altium Design representado na figura 11.

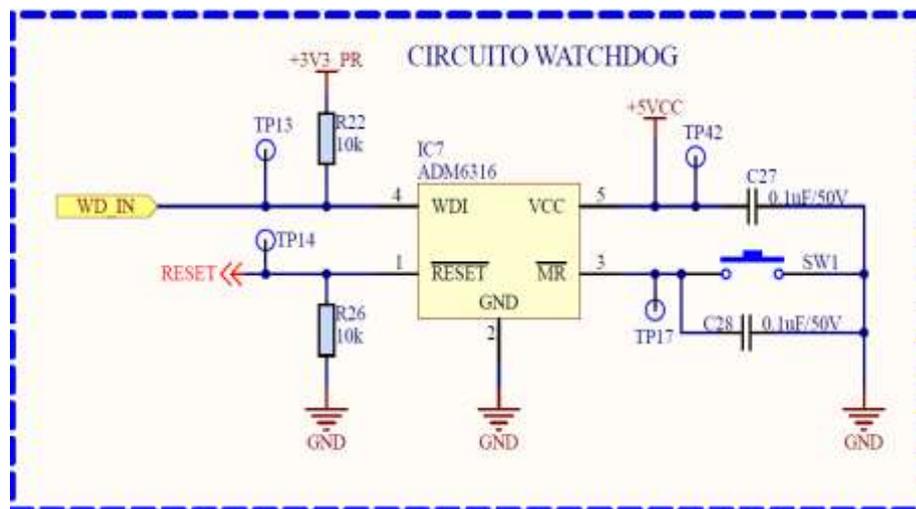
Figura 11: Biblioteca do *Altium* para novo esquemático



Fonte: Próprio autor

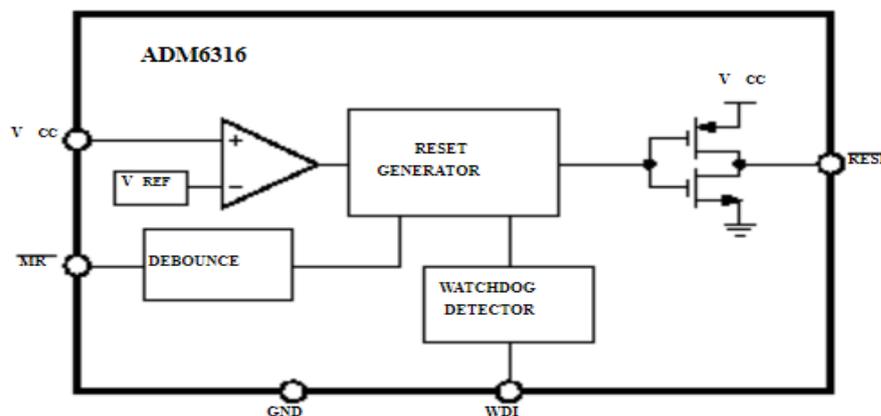
O primeiro circuito desenvolvido foi o *watchdog* representado na figura 12, é um circuito que terá a função de proteger o sistema, o circuito conta pulsos de entrada normalmente de uma fonte altamente confiável relógio, como o principal gerador de relógio do sistema até um certo limite. Quando o limite for atingido, o circuito de proteção gera um sinal de saída, que é usado para iniciar a recuperação. Se o sistema operacional trava por causa de conflitos entre os programas ou problemas de gerenciamento de memória, o circuito pode ser programado para reiniciar o sistema depois de um determinado número de segundos, fazendo com que o circuito volte a funcionar normalmente. Foi utilizado o microprocessador ADM6316 com seu diagrama de bloco representando na figura 13, na concepção do circuito *watchdog*.

Figura 12- Circuito watchdog



Fonte: Próprio autor

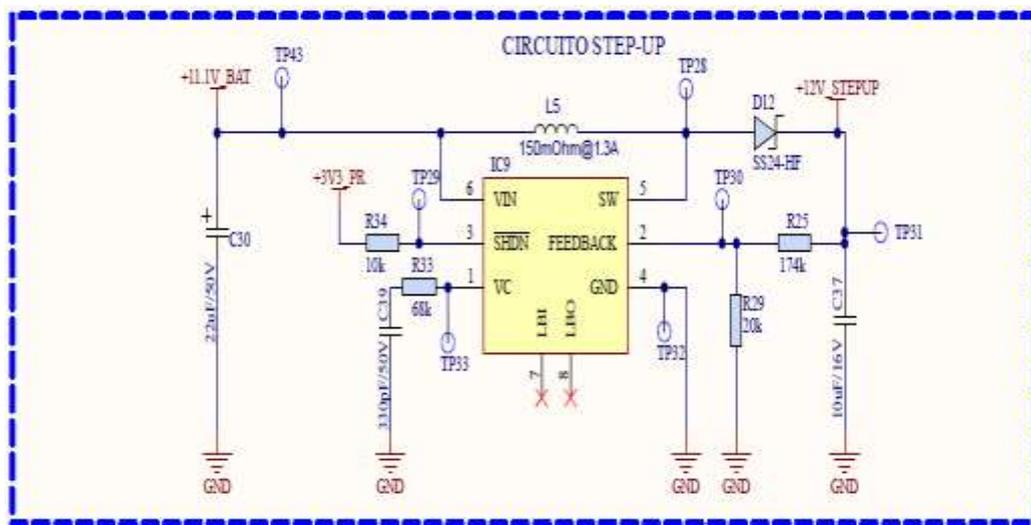
Figura 13 – Diagrama de bloco ADM6316



Fonte: (ALLDATASHEET, 2022)

O circuito *step-up* representado na figura 14, é um regulador de tensão DC que tem como objetivo elevar tensão, o módulo irá receber uma tensão na entrada e faz com que na sua saída a tensão seja elevada. Por mais que a tensão da bateria esteja baixa ou alimentação da placa solar também esteja com baixa tensão, o circuito *step-up* sempre manterá a saída do circuito com tensão de 12 V, pois o mesmo precisa manter essa tensão de saída por causa da alimentação dos sensores.

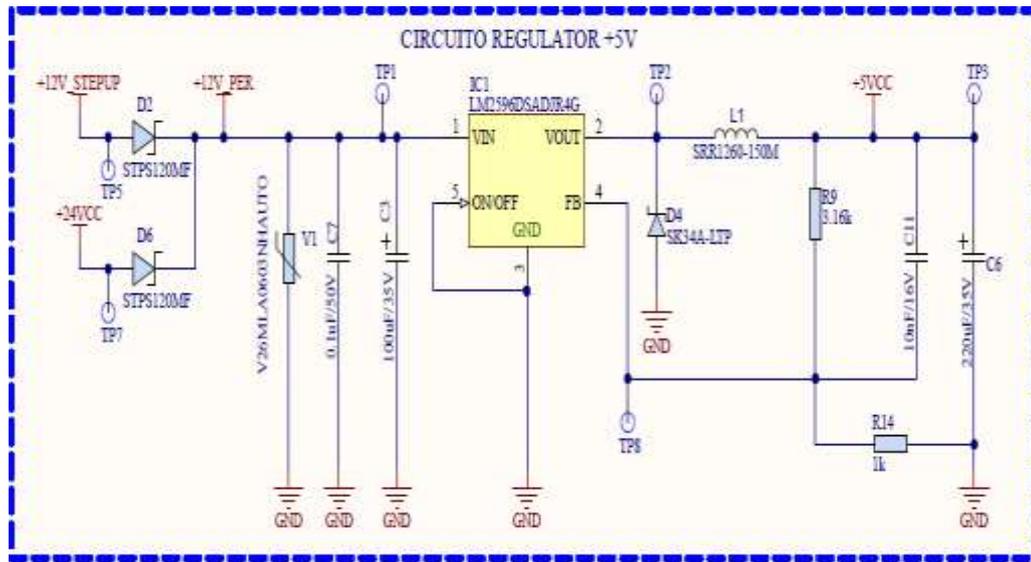
Figura 14- Circuito *step-up*



Fonte- Próprio autor

Logo em seguida o circuito *step-up* passa sua corrente para o circuito regulador de 5V representado na figura 15, no qual o mesmo vai oferecer uma queda de tensão de 12V para 5V. Para a concepção do circuito foi utilizado o regulador LM2596, o funcionamento do mesmo trabalha em dois períodos distintos, a primeira ocorre quando a chave de serie está ligada e a tensão de entrada passa pelo indutor, logo a saída do indutor é a tensão de saída, ou seja, é polarizado inversamente. Para essa aplicação uma escolha viável é os diodos Schottky pois oferecem o melhor desempenho devido à sua velocidade de comutação rápida e baixa queda de tensão direta. Eles fornecem a melhor eficiência especialmente em aplicações de baixa tensão de saída 5,0 V e inferior.

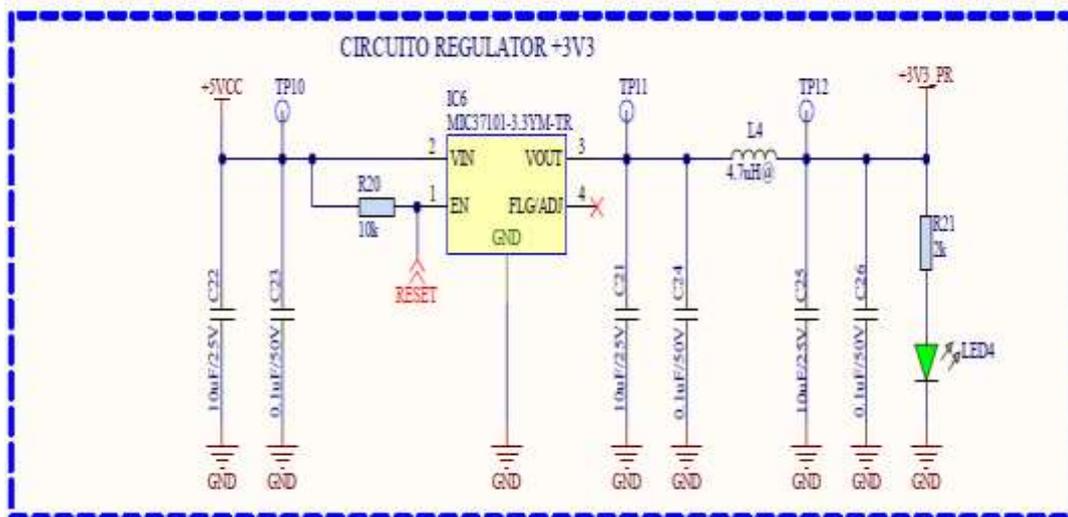
Figura 15- Circuito regulador 5V



Fonte: Próprio autor

Logo após a tensão do circuito cair para 5V, a mesma passa para o circuito regulador 3V3 que pode ser visualizado na figura 16, a mesma vai alimentar o restante da placa bem como: o circuito RTC, verificação do nível de bateria e a alimentação do próprio microcontrolador. Para a concepção do circuito foi utilizado o MIC37101 em virtude de sua baixa tensão de queda, este dispositivo não satura em queda tão prontamente quanto projetos semelhantes baseados em NPN. Ao converter de 5 V para 3,3 V ou 2,8 V.

Figura 16 – Circuito regulador 3v3



Fonte: Próprio autor



O circuito do RAK3172 representado na figura 19, é o principal circuito da placa eletrônica e é baseado no chip STM32WLE5CC e foi projetado para simplificar a comunicação ponto a ponto (P2P) LoRaWAN e LoRa. Para que a tecnologia LoRa fosse integrada, o RAK3172 é implementado com uma interface de comunicação UART fácil de usar, onde é possível enviar comandos AT. Através destes comandos AT, pode-se definir os parâmetros necessários para a comunicação LoRa P2P e LoRaWAN. Também pode usar qualquer microcontrolador com interface UART para controlar o módulo RAK3172.

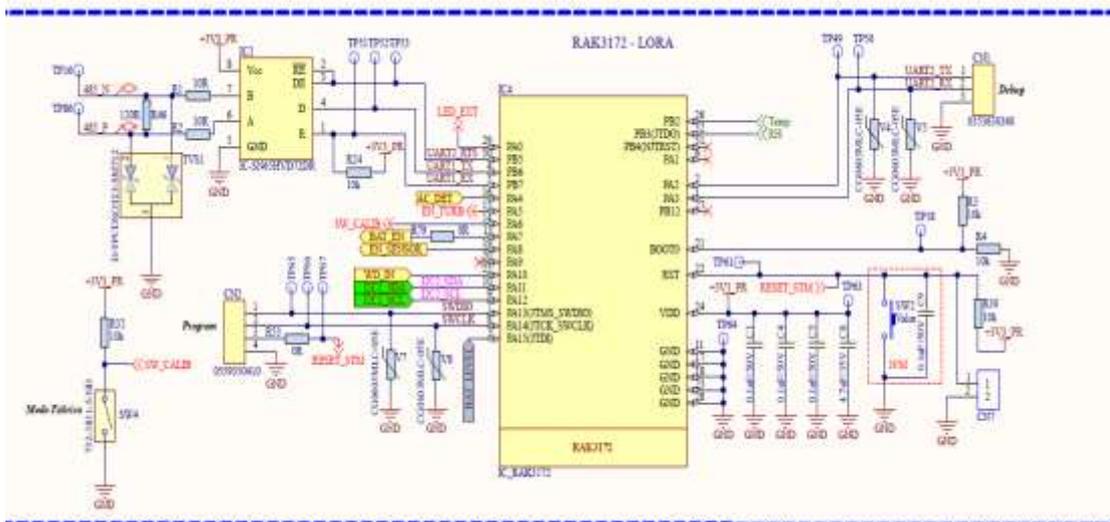
Dentro do circuito o módulo é responsável por receber as informações dos sensores definidos e enviar esses dados ao receptor para que o mesmo possa visualizar os dados e realizar uma análise criteriosa dos parâmetros.

Para que a leitura dos sensores fosse possível também foi utilizado o transceptor SN65HVD11 que utiliza a comunicação RS-485 utilizada para transmissão de dados assíncronas, os pinos de habilitação do driver e do receptor permitem a configuração de diferentes modos de operação.

O RS-485 (atualmente conhecido como EIA/TIA-485) é uma interface padrão da camada física de comunicação, um método de transmissão de sinal, o primeiro nível do modelo OSI (Interconexão de Sistema Aberto). A interface RS-485 foi criada com o objetivo de expandir as capacidades físicas da interface RS-232 (OLGA WEIS, 2021).

Dentro do circuito também foram inseridos o CN2 que será a conector para seja embarcado o primeiro código da placa e o CN1 que será responsável por toda configuração e resolução de problemas durante a etapa de testes da placa, o chamado Debug.

Figura 19- Circuito RAK3172 – LORA

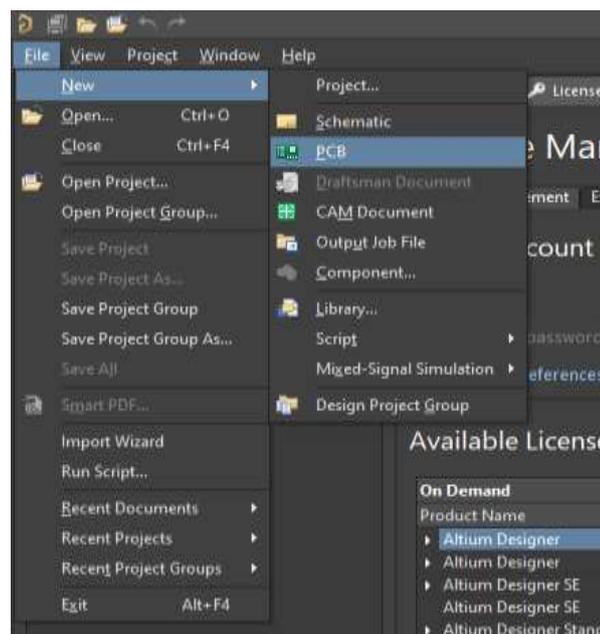


Fonte: Próprio autor

### 3.2 DESENVOLVIMENTO DO LAYOUT DA PLACA ELETRÔNICA

Após o desenvolvimento dos esquemáticos elétricos deu-se início a etapa de desenvolvimento da PCB (placa de circuito impresso), dentro do *software* altium design, com isso dentro do arquivo precisou criar um novo arquivo para o desenvolvimento da PCB, como mostra a figura 20.

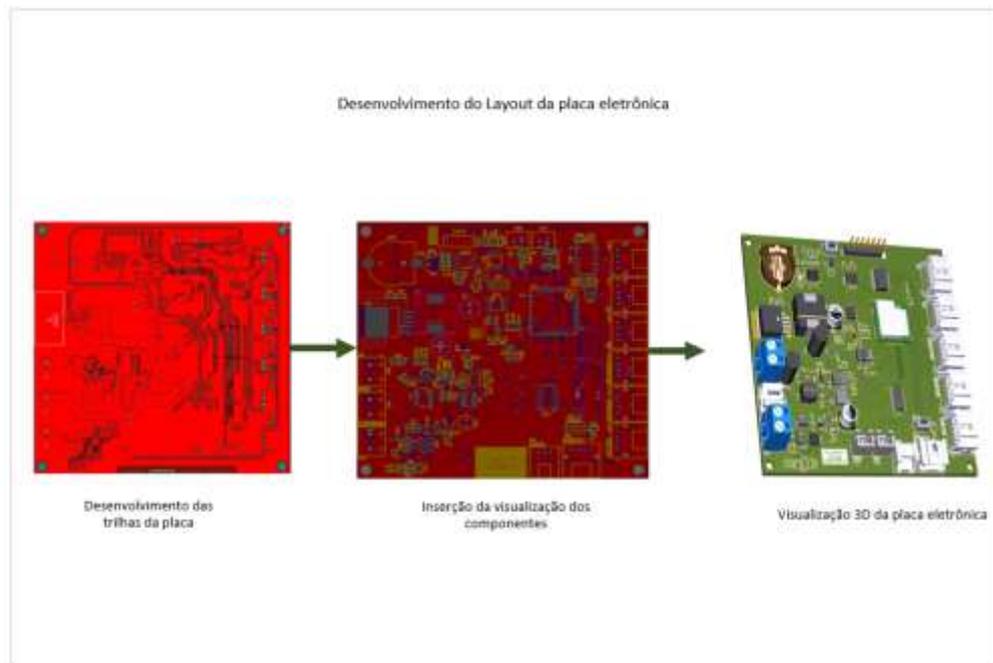
Figura 20 - Biblioteca para o desenvolvimento da PCB.



Fonte: Próprio autor

Para a elaboração do layout da placa foi realizada uma revisão detalhada do esquemático, foi feita ligação dos circuitos dentro do arquivo e foi realizada o trilhamento entre os componentes e por fim criado o arquivo em 3d da placa eletrônica, as etapas do desenvolvimento podem ser visualizadas na figura 21.

Figura 21- Desenvolvimento da placa eletrônica

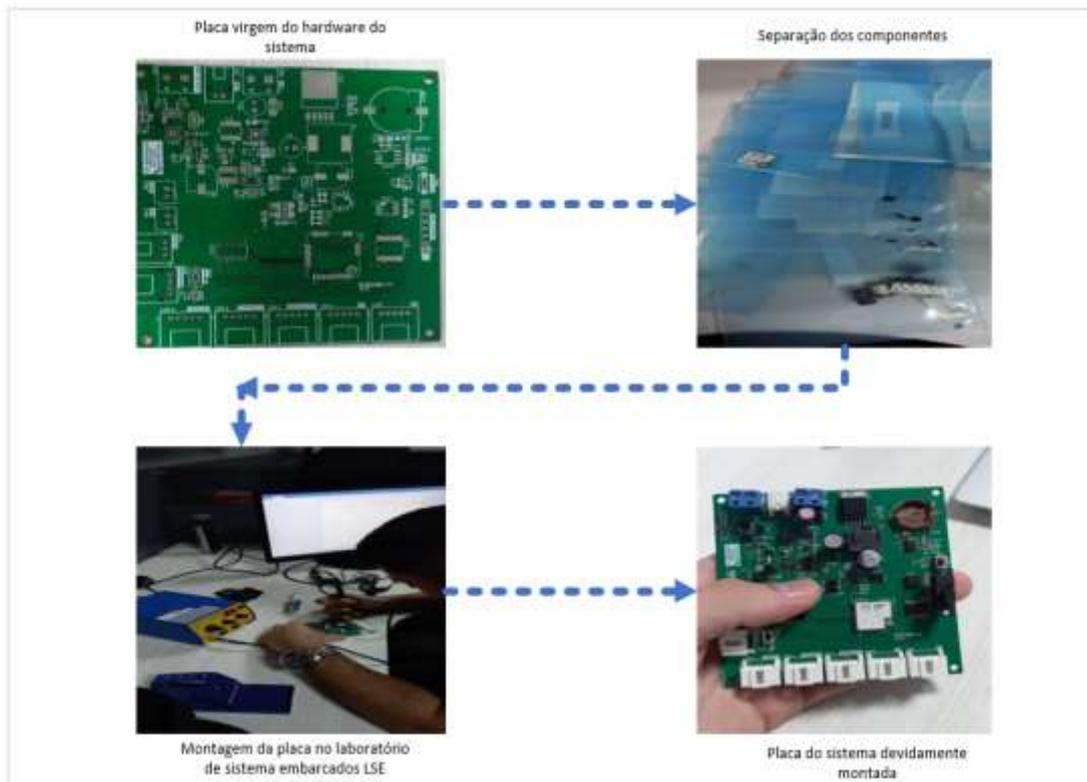


Fonte: Próprio autor.

Após a confecção da placa deu-se início a montagem da placa representada na figura 22, para a sua montagem foram seguidos os seguintes passos:

1. Separação dos componentes selecionados e adquiridos;
2. Separação dos equipamentos necessários para que se fosse possível realizar a montagem bem como: Ferro de solda, fluxo pastoso, estanho em fio e multímetro para medições de grandezas física. Todos os materiais disponibilizados pelo LSE, onde foi realizada toda a concepção e montagem do protótipo do sistema.;
3. Montagem da placa inserindo cada componentes em sua devida nomenclatura dentro da placa, a montagem realizada foi acompanhando o esquemático já desenvolvido para evitar erros de montagem.

Figura 22 - Montagem da placa do sistema

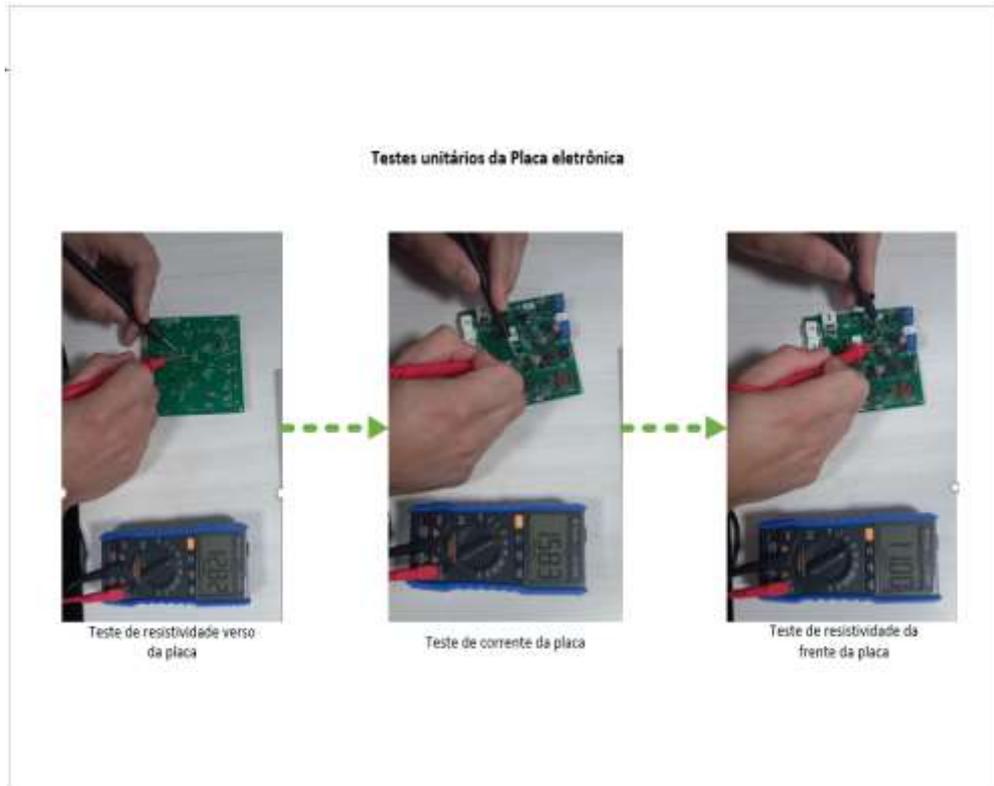


Fonte: Próprio autor

Com a montagem da placa concluída foi realizado os testes unitários representados na figura 23 e 24, os mesmos são realizados para que seja verificado se a montagem foi realizada de forma correta, os testes unitários seguiram os seguintes passos:

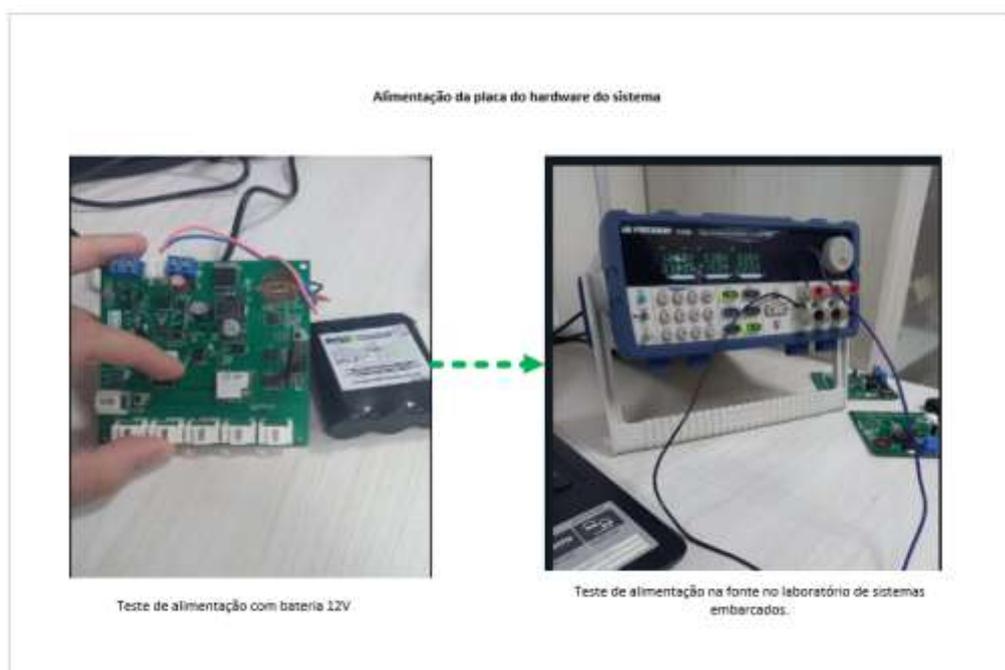
1. Testes de resistência em todos os resistores e capacitores do circuito;
2. Verificação no fluxo de corrente do circuito;
3. Validação com relação a alimentação da placa, tensão de entrada 12 V e saída 3V3, estando de acordo com o projetado inicialmente;
4. Testes unitários dos circuitos da placa do sistema bem como: Regulador de tensão, circuito *watchdog*, circuito RTC, circuito *step-up* e o circuito RAK3172;
5. Com os testes unitários validados a placa foi preparada para receber o código desenvolvido.

Figura 23- Testes unitários de resistência do hardware do sistema.



Fonte: Próprio autor

Figura 24- Testes unitários de alimentação do hardware do sistema.



Fonte: Próprio autor

### 3.3 CALIBRAÇÃO DOS SENSORES DO PROTÓTIPO.

Com os testes unitários da placa e de alimentação realizados com êxito, tem-se a necessidade de validar a leitura dos sensores que serão utilizados no protótipo do sistema, a calibração permitirá a validação dos dados durante a etapa de testes.

Para a realização da calibração foi utilizado a sonda multiparamétrica HI98194 que pode visualizada na figura 25, que faz a leitura da quantidade de oxigênio dissolvido, pH e turbidímetro que realiza a leitura do nível de turbidez da água, além dos sensores de leitura de turbidez, Oxigênio Dissolvido e pH do protótipo do sistema, essa calibração teve como objetivo realizar um mapa comparativo de leitura entre a sonda e os sensores.

Primeiro foi colocado a sonda comercial dentro de sua respectiva solução para que fosse possível ter a leitura da sonda comercial multiparamétrica.

Figura 25 - Sonda multiparamétrica HANNA HI98194



Fonte: Próprio autor

Na figura 26 é possível observar os diferentes frascos com níveis de turbidez entre 0 NTU e 150 NTU, onde o valor 0 representa uma água cristalina e o valor de 150 representa uma água na qual a visualização interna é um pouco difícil sendo essa uma água turva.

Figura 26 - Nível de turbidez entre 0 NTU e 150 NTU



Fonte: Próprio autor

No primeiro teste para validação do nível de turbidez o resultado foi de acordo com o esperado como mostra a figura 27, tanto para sonda comercial quanto para o sensor de turbidez a ser utilizado do protótipo do sistema, o primeiro valor a ser medido foi o de 0 NTU e a variação ficou entre 0 NTU e 0,61 NTU na medida realizada pela sonda comercial, um parâmetro aceitável para validação.

Figura 27 – Medição da turbidez na sonda comercial



Fonte: Próprio autor

Logo após foi realizada a leitura com os sensores do protótipo do sistema, de pH e de Oxigênio Dissolvido, para realizar a leitura foi colocado água em um recipiente de plástico e os sensores foram inseridos no mesmo como mostra a figura 28, a partir desse momento os sensores registraram a leitura e as mesmas foram capturadas pelo software VScode.

Figura 28 – coleta de dados com sensores do protótipo do sistema.



Fonte: Próprio autor.

Os dados coletados pelos sensores foram enviados ao *software* VScode representado na figura 29, com isso foi possível realizar uma análise dos dados coletados, o primeiro dado coletado foi o de pH e o mesmo apresentou o valor 7. O segundo dado coletado foi o de Oxigênio Dissolvido que apresentou o valor de 3.7.

Figura 29 - Dados da leitura do sensor de pH do protótipo do sistema.

```
samp-ph
457s959:>>> command_listener <<<
PH - valor em HEX: 2bc   PH: 700
```

Fonte: Próprio autor.

Logo após foi realizada a leitura dos parâmetros com a sonda comercial HANNA HI98194, a mesma fez a medição dos seguintes parâmetros com os seguintes valores:

1. pH, apresentou o valor de 7,69;
2. Oxigênio Dissolvido, apresentou o valor de 3,4;
3. Temperatura da água, apresentou o valor de 21,99;
4. Turbidez da água, apresentou o valor de 0,29.

Os Valores coletados pela sonda comercial HANNA HI98194 mostrados na figura 30, são valores próximos dos sensores do protótipo do sistema, com isso os sensores foram calibrados e estão preparados para leitura dos parâmetros da água no ambiente de criação de peixes.

Figura 30- Leitura dos parâmetros da água com a sonda comercial HANNA HI98194



Fonte: Próprio autor.

### 3.4 INTEGRAÇÃO ENTRE O HARDWARE E O FIRMWARE DO SISTEMA

O *firmware* no dispositivo de *hardware* que executa funções como tarefas básicas de entrada/saída e oferece as instruções necessárias para que o dispositivo se comunique com outros. Com isso foi necessário escrever códigos de baixo nível ilustrado nas figuras 31 e 32, os códigos validam a funcionalidade dos circuitos bem como: circuito RTC, circuito *watchdog* além da configuração das portas de entrada e saída da placa do sistema, com isso foi possível realizar a leitura dos

sensores e enviar esses dados ao receptor ou usuário final. Com a calibração dos sensores realizados, foi feita a integração entre a placa e o *firmware* representado na figura 33, para a leitura dos dados.

Figura 31: Código da configuração das portas de entrada e saída

```

... .. // -52,8 +52,8 // void M_GPIO_Init(void)
52 52 //Configurar o nível de saída do pino GPIO V/
53 53 HAL_GPIO_WritePin ( GPIOB , LED3_Pin | PROBI_Pin | PROBI_Pin | LED3_Pin , GPIO_PIN_RESET );
54 54
55 + //Configurar o nível de saída do pino GPIO V/
56 + HAL_GPIO_WritePin ( WDT_IN_GPIO_Port , WDT_IN_Pin , GPIO_PIN_RESET );
57 +
58 58 //Configurar o nível de saída do pino GPIO V/
59 59 HAL_GPIO_WritePin ( GPIOC , RF_CTRL3_Pin | GPIO_PIN_5 | RF_CTRL1_Pin , GPIO_PIN_RESET );
60 60
... .. // -62,28 +62,28 // void M_GPIO_Init(void)
61 61 HAL_GPIO_Init ( GPIOB , & GPIO_InitStruct );
62 62
63 63 //Configurar pino GPIO: PCPin V/
64 - GPIO_InitStruct . Pin = MCF_INTERRUPT_Pin ;
65 - GPIO_InitStruct . Modo = GPIO_MODE_IT_FALLING ;
66 - GPIO_InitStruct . Puxar = GPIO_PULLUP ;
67 - HAL_GPIO_Init ( MCF_INTERRUPT_GPIO_Port , & GPIO_InitStruct );
68 +
69 + GPIO_InitStruct . Pin = WDT_IN_Pin ;
70 + GPIO_InitStruct . Modo = GPIO_MODE_OUTPUT_PP ;
71 + GPIO_InitStruct . Puxar = GPIO_NOPULL ;
72 + GPIO_InitStruct . Velocidade = GPIO_SPEED_FREQ_LDM ;
73 + HAL_GPIO_Init ( WDT_IN_GPIO_Port , & GPIO_InitStruct );
74 74
75 75 //Configurar pino GPIO : PCPin PCS PCPin V/
76 76 GPIO_InitStruct . Pin = RF_CTRL3_Pin | GPIO_PIN_5 | RF_CTRL1_Pin ;
... .. // -79,13 +79,13 // void M_GPIO_Init(void)
77 77 GPIO_InitStruct . Velocidade = GPIO_SPEED_FREQ_LDM ;
78 78 HAL_GPIO_Init ( GPIOC , & GPIO_InitStruct );

```

Fonte: Próprio autor

Figura 32: Código circuito watchdog

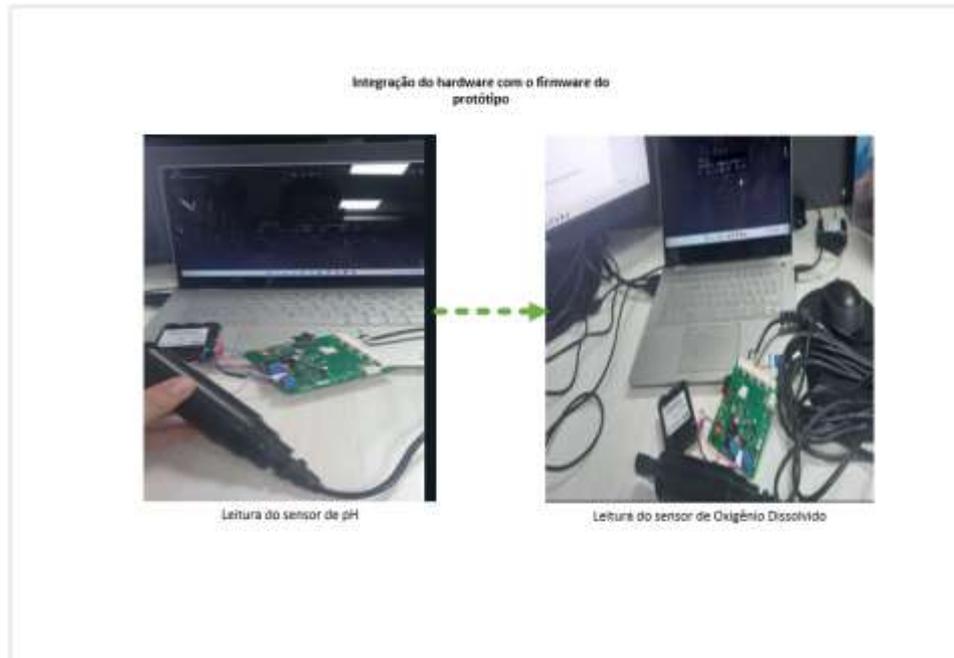
```

... .. // -59,12 +59,12 //
59 59 // em que o keep alive não está emulado
60 60 #define KEEP_ALIVE_BLOCK_MEMEND_M5 (M5_IN_M5 / 2)
61 61
62 + #define WATCHDOG_CYCLE_TIME_M5 1000
63 +
64 64 // ===== ESTRUTURAS PRIVADAS ===== //
65 65 // ===== VARIAVEIS PRIVADAS ===== //
66 66 operação_configs_op_configs ;
67 67 estático UTIL_TIMER_Object_t measurement_timer ;
68 68 estático UTIL_TIMER_Object_t keep_alive_timer ;
69 + estático UTIL_TIMER_Object_t watchdog_timer ;
70 70
71 71 // ===== FUNÇÕES PRIVADAS ===== //
72 72
... .. // -128,0 +128,11 // void status_c_init_perifericos()
129 129 estado de retorno ;
130 130 }
131 131
132 + void watchdogFeeder ( void )
133 + {
134 + // HAL_GPIO_TogglePin();
135 +
136 + }
137 137
138 138 /* Intervalo as temporizadores de tarefas */
139 139 estático void onMeasurementTimerEvent ( void * context )
140 140 {
... .. // -203,0 +203,11 // estático void onKeepAliveTimerEvent(void *context)
201 201 UTIL_TIMER_Start ( & keep_alive_timer );
202 202

```

Fonte: Próprio autor

Figura 33 – Recebimento dos dados dos sensores



Fonte: Próprio autor

### 3.5 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO MECÂNICO SISTEMA

Com a leitura dos sensores e o *hardware* do sistema funcionando, foi necessário realizar o desenvolvimento e a confecção do protótipo mecânico. Para isso foi realizada uma análise dos requisitos de mecânica descritos na seção 3, e a partir dessa análise foi utilizado o *software* inventor, que é um programa exclusivo para o desenvolvimento de peças e estruturas mecânicas.

Um dos grandes desafios para a confecção do protótipo mecânico é que o mesmo precisava atender todos os ambientes de criação na piscicultura, vale ressaltar que a piscicultura poder ser praticada em: tanques, barragens e açudes, representados respectivamente nas figuras 34, 35 e 36.

Figura 34- Criação de peixe em tanque



Fonte: (RODRIGUES, 2018)

Figura 35: Criação de peixes em açude.



Fonte: (ENGEPECA, 2017)

Figura 36 – Criação de peixes em barragens.



Fonte: (RODRIGUES, 2019)

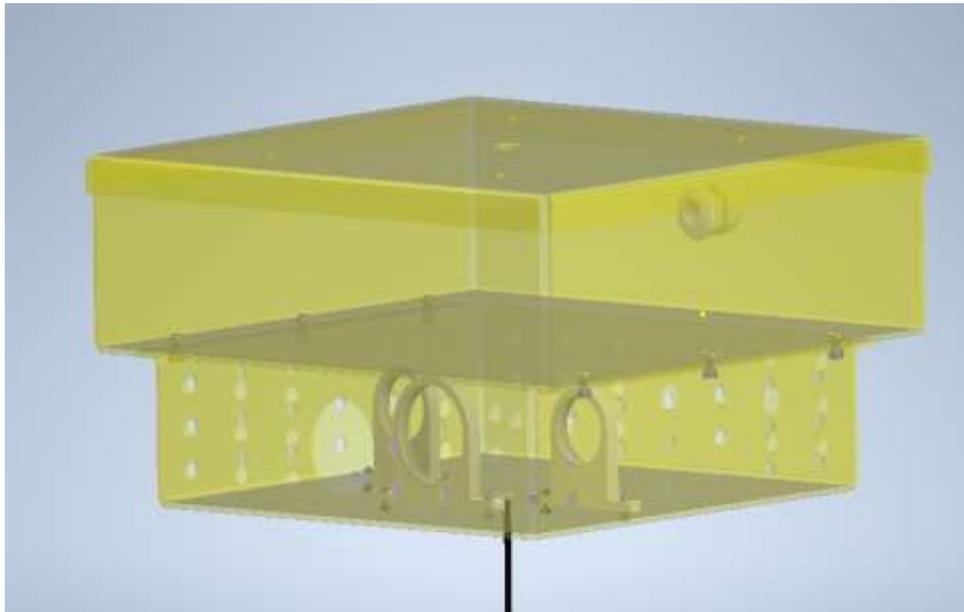
Diante dos ambientes avaliados foi desenvolvido uma solução prática e que cumprisse os requisitos de instalação, foi pensado em um sistema que pudesse boiar e realizar a leitura dos parâmetros da água sem afetar as partes sensíveis do protótipo do sistema que é o conjunto de *hardware*, esse sistema em contato com a água pode danificar e ocasionar um curto no sistema, por isso o protótipo mecânico precisa proteger esse conjunto.

Inicialmente foi desenvolvido um sistema de caixa com dois andares representado na figura 37, onde o primeiro irá comportar os sensores, por conta disso a caixa inferior possui furos para que o fluxo de água possa passar entre os sensores e também os mesmos possam ficar submersos a todo instante. A parte inferior pode ser removida da parte superior, pois a caixa não foi desenvolvida para que as duas partes permanecessem juntas, esse sistema de separação irá facilitar em futuras manutenções do protótipo mecânico, o protótipo também pode comportar diferentes tipos de sensores de leitura, pois cada produtor possui suas particularidades quanto a marca e modelo de sensores de leitura.

Na parte superior do protótipo está a segunda caixa, essa será responsável por proteger o conjunto de *hardware* do sistema representado pela figura 38, internamente ela vai comportar a placa, bateria e o controlador de carga do protótipo, na parte externa ela possui como tampa a placa solar, pois a mesma precisa estar exposta ao sol para que possa recarregar a bateria do sistema constantemente. Os cabos dos sensores que ficarão conectados com a placa eletrônica, passarão por cima da caixa superior para evitar infiltrações de água.

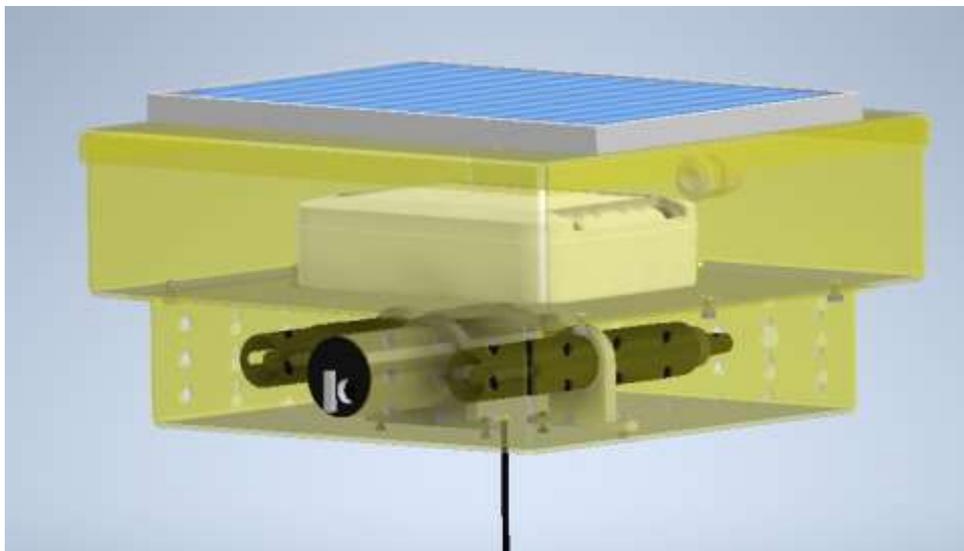
Para que o protótipo mecânico se mantenha instável em apenas um local de leitura, foi inserido uma espécie de peso representado pela figura 39, para que o mesmo não tenha o risco de perder no ambiente ou ficar mudando de posições constantemente, e na figura 40 pode ser visualizado o protótipo mecânico em ambiente de instalação.

Figura 37 – Caixa superior e inferior do protótipo mecânico



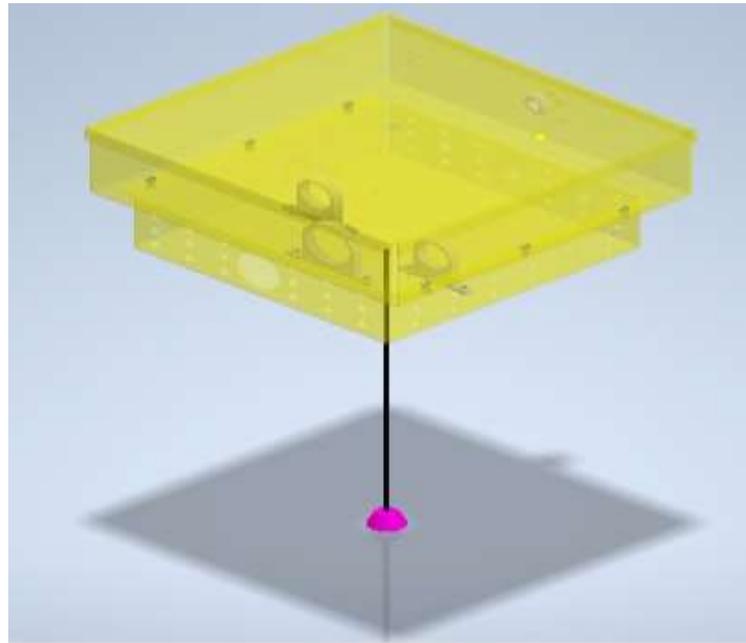
Fonte: Próprio autor

Figura 38 - Protótipo mecânico do sistema



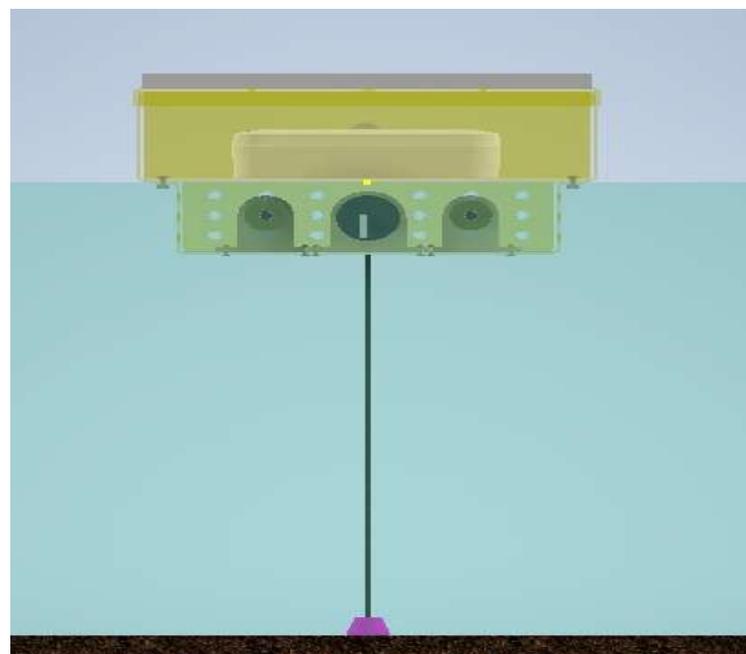
Fonte: Próprio autor

Figura 39 – Protótipo mecânico com o peso para manter sua estabilidade



Fonte: Próprio autor

Figura 40- Protótipo mecânico em ambiente de instalação



Fonte: Próprio autor

## 4 RESULTADOS OBTIDOS

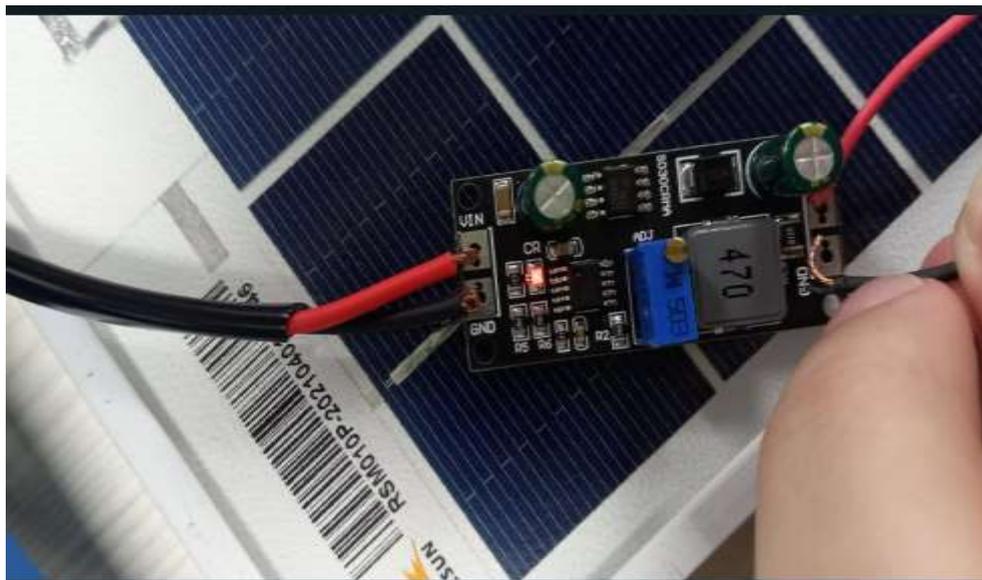
Este capítulo está separado em duas sessões para mostrar os resultados referentes aos testes realizados em campo com a placa do sistema e com o protótipo mecânico do sistema.

### 4.1 RESULTADOS DO HARDWARE DO SISTEMA

Para validar o *hardware* do sistema o mesmo passou por uma etapa de teste, com isso foi possível analisar o funcionamento dos circuitos desenvolvidos.

Na figura 41 está o controlador de carga no qual a mesma faz todo o gerenciamento de toda alimentação que vem da placa solar passa pela bateria e vai até a placa eletrônica do sistema.

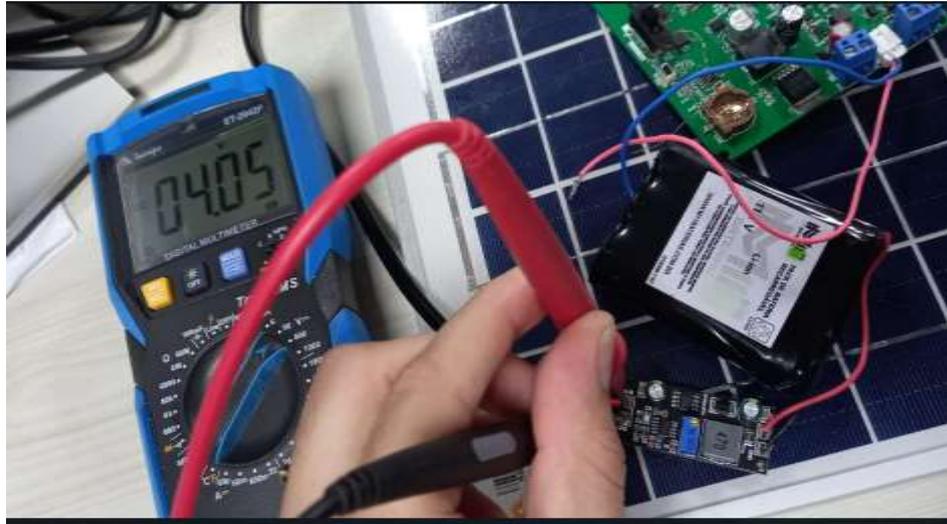
Figura 41 – Controlador de carga MPPT DYKB DC



Fonte: Próprio autor

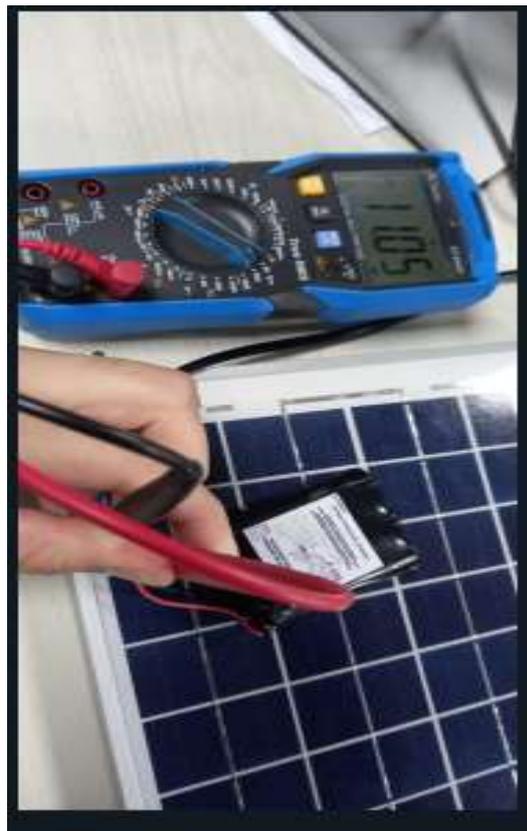
Logo após foi realizada a medição da alimentação recebida pela bateria enviada pela placa solar no LSE, representado na figura 42, pode-se observar que a alimentação de saída da placa solar é de 4.05 V e a alimentação da bateria é de 11.05 V representado na figura 43.

Figura 42 – Tensão de entrada da placa solar no LSE



Fonte: Próprio autor

Figura 43 – tensão na bateria no LSE



Fonte: Próprio autor

Com os testes dentro do laboratório realizados foram realizados os testes de alimentação na área externa para que a alimentação da placa solar e da bateria

fossem analisadas. Nos testes foram observados que a alimentação enviada pela placa solar exposta ao sol a bateria teve uma variação de tensão entre 20V e 21V, que podem ser visualizados na figura 44 e figura 45.

Figura 44 – Tensão de entrada da placa solar em ambiente externo 20,85 V



Fonte: Próprio autor.

Figura 45 - Tensão de entrada da placa solar em ambiente externo 20,89 V



Fonte: Próprio autor

Conseqüentemente com o aumento de carga entrando na bateria a mesma começou a carregar depois de alguns minutos, passando de 11.05 V para 11.22 V, validando assim o sistema de auto alimentação e de autonomia do protótipo do sistema, o carregamento pode ser observado na figura 46.

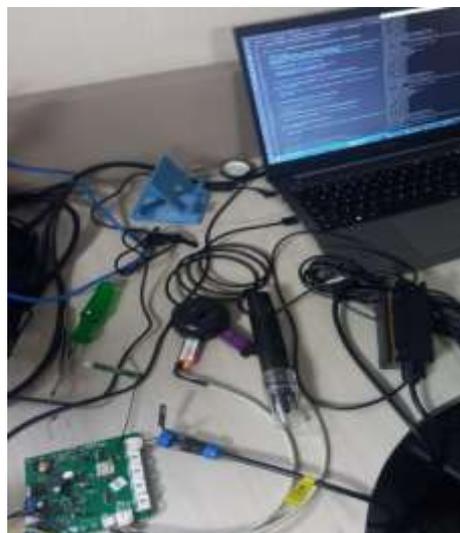
Figura 46- Bateria do sistema sendo carregada pela placa solar.



Fonte: Próprio autor

Validação do envio de mensagem coletada pela placa eletrônica foi realizada com a leitura do parâmetro de pH, os dados foram enviados ao receptor, foi escolhido o notebook do usuário e os dados foram recebidos, a comunicação P2P foi validada como representada na figura 47, por não estar dentro da água onde se realiza a criação dos peixes os valores variaram rapidamente como mostra a figura 48.

Figura 47- Funcionamento do hardware do sistema



Fonte: Próprio autor

Figura 48- Dados coletados pela sonda de pH em laboratório

```

COM6 - PuTTY
435s782:>>> command_listener <<<
PH - valor em HEX: 25f   PH: 607
samp-ph
438s869:>>> command_listener <<<
PH - valor em HEX: 25f   PH: 607
samp-ph
442s125:>>> command_listener <<<
PH - valor em HEX: 25e   PH: 606
samp-ph
445s825:>>> command_listener <<<
PH - valor em HEX: 25e   PH: 606
calib-ph 1
453s937:>>> command_listener <<<
PH - estagio selecionado: 1
PH - sonda calibrada em estagio 1!
samp-ph
457s959:>>> command_listener <<<
PH - valor em HEX: 2bc   PH: 700
samp-ph
462s120:>>> command_listener <<<
PH - valor em HEX: 2bc   PH: 700
samp-ph
501s164:>>> command_listener <<<
PH - valor em HEX: 1ae   PH: 430
samp-ph
504s210:>>> command_listener <<<
PH - valor em HEX: 1a9   PH: 425
samp-ph
508s267:>>> command_listener <<<
PH - valor em HEX: 1a4   PH: 420
samp-ph
511s121:>>> command_listener <<<
PH - valor em HEX: 1a2   PH: 418
samp-ph
514s067:>>> command_listener <<<
PH - valor em HEX: 1a0   PH: 416
samp-ph
516s740:>>> command_listener <<<
PH - valor em HEX: 19f   PH: 415
samp-ph
519s708:>>> command_listener <<<
PH - valor em HEX: 19e   PH: 414
samp-ph
522s396:>>> command_listener <<<

```

Fonte: Próprio autor

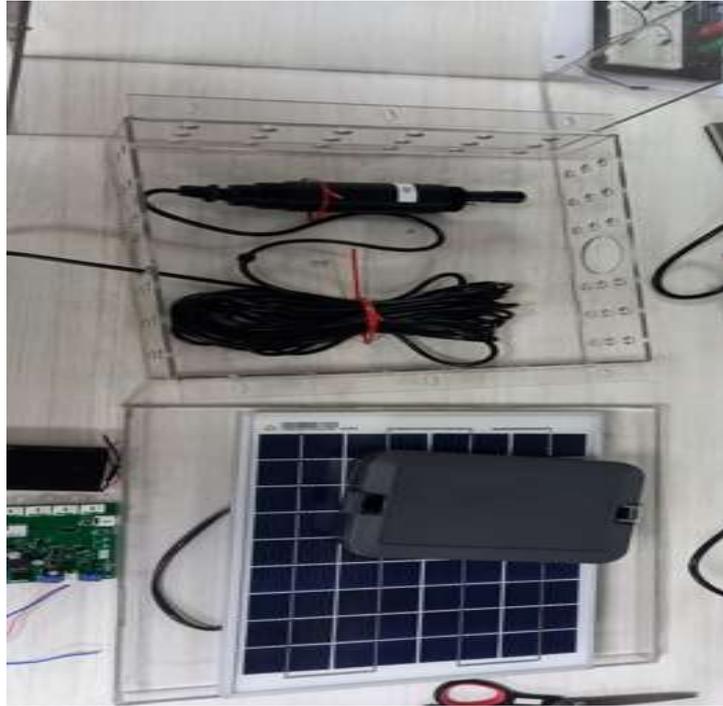
## 4.2 RESULTADOS DO PROTÓTIPO MECÂNICO DO SISTEMA

Após a confecção do protótipo mecânico foi realizada a montagem com os componentes de *hardware* como mostra a figura 49, 50 e 51, a montagem seguiu os seguintes passos:

1. Revisão da caixa do protótipo para validar se as dimensões estavam de acordo com o projetado;
2. Após validação das dimensões, foi colocado os sensores da parte

- inferior do protótipo;
3. Foi montado o *hardware* do sistema na parte superior da caixa do protótipo, foi inserido a bateria, controlador de carga, placa eletrônica e na tampa a placa solar do sistema.

Figura 49 – Montagem do protótipo mecânico do sistema.



Fonte: Próprio autor.

Figura 50: Vista superior do protótipo mecânico montado.



Fonte: Próprio autor.

Figura 51: Vista inferior do protótipo mecânico



Fonte: próprio autor

O protótipo se comportou como esperado dentro do laboratório, com isso o protótipo mecânico foi preparado para os primeiros testes em campo.

Durante a etapa de testes em campo o protótipo apresentou uma boa resposta durante 1 hora tempo que foi submetido ao ambiente aquático, não apresentou infiltração na parte superior do protótipo e se manteve estável no intervalo de tempo que esteve na água. O teste em campo pode ser visualizado nas figuras 52, 53 e 54. Com isso a funcionalidade do protótipo mecânico foi validada em ambiente aquático.

Figura 52: Protótipo mecânico em ambiente de teste.



Fonte: Próprio autor

Figura 53: Protótipo mecânico estável após 30 min na água



Fonte: Próprio autor

Figura 54: Protótipo mecânico estável após 1 hora na água



Fonte: Próprio autor

## CONCLUSÃO

No desenvolvimento da presente pesquisa foram feitas revisões dos assuntos relacionados a criação de peixes em diferentes ambientes e de que elementos esses animais precisam para que possam ter um desenvolvimento saudável, pesquisa aplicada sobre o funcionamento da tecnologia LoRa e seus parâmetros de configuração. Foram abordados em seguida, o modulo transceptor RAK3172 e sua comunicação direta via p2p, pois estes foram utilizados para fazer o teste de envio de mensagem dos dados coletados. Também consta uma apresentação sobre os softwares *altium designer* e *inventor* para o desenvolvimento da placa da eletrônica e do protótipo mecânico do sistema.

Com os testes realizados com do sistema foi observado que o consumo da placa como um todo foi de 192 miliamperes para cada requisição enviada, de forma geral esse consumo atende as necessidades do protótipo para que o mesmo possa trabalhar de forma independente quanto a sua alimentação, pois com a capacidade de 12 V da bateria, o protótipo possui uma vida útil media sem precisar de alimentação de cerca de 14 dias gerando uma coleta de dados por dia ao produtor, além de atender as funcionalidades dos circuitos desenvolvidos bem como o regulador de tensão ao receber as sondas que possuem alimentação mínima de 12 V para que possa ser realizada as leituras.

Com os testes realizados com o protótipo mecânico do sistema o mesmo atendeu os requisitos definidos inicial bem como, comportar o *hardware* do sistema e se manter estável no ambiente aquático possibilitando a leitura dos sensores.

Com base nos resultados obtidos, verificar-se que, por meio da utilização da tecnologia LoRaWan é possível solucionar a problemática apresentada neste trabalho, que foi monitorar os parâmetros da água nos diferentes ambientes que se faz a criação de peixes. Desta forma, a hipótese apresentada na introdução teve sua veracidade comprovada.

Como alternativas para trabalhos futuros tem-se a possibilidade de desenvolver uma placa capaz de atender parâmetros biológicos e de nutrientes para monitorar o ambiente de criação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**ALLDATASHEET. FOLHA DE DADOS ADM6316.** Grupo alldatasheet. Disponível em: < <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/83649/AD/ADM6316.html> >. Acesso em 02.ago.2022.

**AX4B. AUTODESK INVENTOR. Grupo ax4b.** Disponível em: < <https://ax4b.com/autodesk/>>. Acesso em: 17 set. 2022.

**COLPANI. ÁGUA, UM DOS FATORES PRINCIPAIS NA PSICULTURA.** Grupo águas claras. Disponível em: < <https://www.grupoaguasclaras.com.br/aguas-um-dos-fatores-principais-napiscicultura#:~:text=A%20qualidade%20da%20C3%A1gua%20em,mesmo%20o%20manejo%20dos%20peixes.> >. Acesso em: 12 mar. 2022.

**ENGEPECA. TUDO O QUE VOCE PRECISA SABER SOBRE CRIAÇÃO DE PEIXES.** Disponível em < <https://www.engepesca.com.br/post/piscicultura-tudo-que-voce-precisa-saber-sobre-criacao-de-peixes>>. Acesso em: 02.out.2022

**MESNIL, J. Mobile and Web Messaging: Messaging Protocols for Web and Mobile Devices.** Sebastopol: O' Reilly Media, 2014

**NATIVA, Acqua. Como os parâmetros de qualidade água influenciam a piscicultura?** Acqua Nativa. Disponível em: < <https://www.acquanativa.com.br/aplicacoes/monitoramento-piscicultura-tempo-real.html> >. Acesso em: 13 mar. 2022.

**OLGA, WEIS. GUIA DA COMUNICAÇÃO RS485.** Electronic Team, Inc. Disponível em: < [https://www.eltima.com/pt/article/rs485-communication-guide/#:~:text=O%20RS%2D485%20\(atualmente%20conhecido,f%C3%ADsicas%20da%20interface%20RS%2D232.](https://www.eltima.com/pt/article/rs485-communication-guide/#:~:text=O%20RS%2D485%20(atualmente%20conhecido,f%C3%ADsicas%20da%20interface%20RS%2D232.) >. Acesso em 09.ago.2022.

**OLIVEIRA, Euler. Conhecendo a Placa wifi LoRa ESP32 (433MHz / 868 MHz / 915 MHz).** MasterWalker. Disponível em: < <https://blogmasterwalkershop.com.br/embarcados/esp32/conhecendo-a-placa-wifi-lora-esp32-433mhz-868mhz-915mhz>>. Acesso em: 26 abr. 2022.

**RAK. Module RAK3172.** Rakwireless . Disponível em: < <https://store.rakwireless.com/products/wisduo-lpwan-module-rak3172?variant=40014759297222>>. Acesso em: 28 abr. 2022.

**RODRIGUES. COMECE AGORA COM A SUA PSICULTURA.** Grupo cpt. Disponível em: < <https://www.criacaodepeixes.com.br/comece-agora-com-a-sua-piscicultura>>. Acesso em 01.10.2022.

**RODRIGUES, Yriá. IMAC VAI REFORÇAR FISCALIZAÇÃO DAS MAIS DE 1,6 MIL BARRAGENS NO ESTADO,** Disponível em : < <https://g1.globo.com/ac/acre/noticia/2019/02/03/imac-vai-reforçar-fiscalização-das-mais-de-16-mil-barragens-no-estado.ghtml>> Acesso em: 02.10.2022

**SNATURAL AMBIENTE. Controle da água em aquicultura: Cor, Transparência e Turbidez.** Snatural. Disponível em: < <https://www.snatural.com.br/controle-qualidade-agua-turbidez/> >. Acesso em: 13 mar. 2022.

**SUMMITAGRO. Conheça a história da piscicultura e sua importância para o Brasil. Summitagro.** Disponível em: < <https://summitagro.estado.com.br/noticias-do-campo/conheca-a-historia-da-piscicultura-e-sua-importancia-para-o-brasil/#:~:text=A%20cria%C3%A7%C3%A3o%20de%20peixes%20funciona,Brasil%2C%20entre%20diretos%20e%20indiretos.>>. Acesso em: 12 mar. 2022.

**TODIN, Cristina. Estudo revela limitações e novas abordagens para o monitoramento da qualidade de água em pisciculturas no Brasil.** Embrapa. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/63343504/estudo-revela-limitacoes-e-novas-abordagens-para-o-monitoramento-da-qualidade-de-agua-em-pisciculturas-no-brasil>>. Acesso em: 10 mar. 2022.

**VMWAREware, Inc. O que é internet das coisas (IoT)?** Vmware. Disponível em: < <https://www.vmware.com/br/topics/glossary/content/internet-things-iot.html>>. Acesso em: 15 mar. 2022.

