

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**FRANKLIN RONALDO MARTINS TAVARES JUNIOR**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA IOT PARA MEDIÇÃO DE  
NÍVEL DE RIOS**

**CURITIBA**

**2022**

**FRANKLIN RONALDO MARTINS TAVARES JUNIOR**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA IOT PARA MEDIÇÃO DE  
NÍVEL DE RIOS**

**Development of a IoT system for river level measurement**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof. Dr. André Eugênio Lazzaretti.

**CURITIBA**

**2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es).

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**FRANKLIN RONALDO MARTINS TAVARES JUNIOR**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA IOT PARA MEDIÇÃO DE NÍVEL DE RIOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 27/junho/2022

---

André Eugênio Lazzaretti  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Bruno Sens Chang  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Luiz Fernando Copetti  
Mestrado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**CURITIBA**

**2022**

## RESUMO

Neste trabalho foi desenvolvido um sistema de monitoramento de rios com um hardware para sensoriamento e envio de dados pela rede celular e um servidor para recebimento, armazenamento e apresentação dos dados para o usuário sem que ele tenha que ir até o local, servindo para pesquisas sobre o sistema fluvial local.

**Palavras-chave:** IoT, sensoriamento, medição de nível.

## **ABSTRACT**

On this paper a river monitoring system was developed with a hardware for sensing and sending the data through the cellular network to a server for storage and later displaying it to the user so that he doesn't need to go back to the essay location, being useful for research on the local hydraulic system.

**Keywords:** IoT, sensing, level measurement.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Funcionamento do sensor ultrassom.....	11
Figura 2 - Estrutura típica de um sensor de pressão piezo resistivo.....	12
Figura 3 - Carga e descarga de bateria de lítio.....	13
Figura 4 - Modulador <i>GMSK</i> .....	14
Figura 5 - Demodulador <i>GMSK</i> .....	14
Figura 6 - Exemplo de arquitetura MQTT.....	16
Figura 7 - Diagrama do sistema.....	17
Figura 8 - Caixa plástica escolhida.....	18
Figura 9 - Sensor ultrassônico JSN-SR04T.....	19
Figura 10 - Sensor BMP280.....	20
Figura 11 - Placa de desenvolvimento ESP32 DOIT.....	22
Figura 12 - SIM800C.....	23
Figura 13 - Placa com TP4056.....	24
Figura 14 - Diagrama do firmware.....	26
Figura 15 - Diagrama do software.....	27
Figura 16 - Primeira tela de dispositivo.....	28
Figura 17 - Tela de gráficos.....	28

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Especificações JSN-SR04T.....	20
Quadro 2 - Especificações BMP280.....	21
Quadro 3 - Especificações ESP32.....	22
Quadro 4 - Especificações SIM800C.....	24
Quadro 5 - Especificações TP4056.....	25
Quadro 6 - Valores dos materiais.....	29

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>8</b>
<b>1.1</b>	<b>Sistema de medição</b> .....	<b>8</b>
<b>1.2</b>	<b>Torná-los conectados</b> .....	<b>8</b>
<b>1.3</b>	<b>Justificativa, necessidade e relevância</b> .....	<b>8</b>
<b>1.4</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>9</b>
1.4.1	Objetivo geral.....	9
1.4.2	Objetivos específicos.....	9
<b>1.5</b>	<b>Estrutura do trabalho</b> .....	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>Sensores de ultrassom</b> .....	<b>11</b>
<b>2.2</b>	<b>Sensores de pressão</b> .....	<b>11</b>
<b>2.3</b>	<b>Bateria de lítio</b> .....	<b>12</b>
<b>2.4</b>	<b>Comunicação celular</b> .....	<b>13</b>
<b>2.5</b>	<b>Protocolo MQTT</b> .....	<b>14</b>
<b>2.6</b>	<b>Microcontrolador</b> .....	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1</b>	<b>Hardware</b> .....	<b>18</b>
3.1.1	Caixa protetora.....	18
3.1.2	Sensores.....	19
3.1.3	Microcontrolador.....	21
3.1.4	Comunicação.....	23
3.1.5	Gerenciamento de bateria.....	24
<b>3.2</b>	<b>Firmware</b> .....	<b>25</b>
<b>3.3</b>	<b>PC software</b> .....	<b>26</b>
<b>3.4</b>	<b>Análise de custo</b> .....	<b>29</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>35</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>36</b>
	<b>APÊNDICE A – Esquemático com ESP32 soldado</b> .....	<b>39</b>
	<b>APÊNDICE B – Esquemático com placa de desenvolvimento acoplada</b> ..	<b>40</b>



## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Sistema de medição

Um sistema de medição de nível de rios eletrônico será caracterizado para o fim deste trabalho por uma unidade fornecedora de energia, seja ela ligação direto na rede de distribuição, bateria, painel solar, pelo menos um sensor de nível, ultrassom, pressão etc. e um controlador para fazer a interface com o sensor, salvar os dados e fazer a interface seja direta com o usuário usando um *display* ou outra forma de envio dos dados. Este sistema aliado a um *software* de apresentação dos dados e configuração do dispositivo e um servidor de comunicação e armazenamento formam como um todo o projeto para medição de nível de rios.

### 1.2 Torná-los conectados

Os sistemas comerciais de medição de nível de rios são em sua maioria *offline*, ou seja, não possuem conexão com a *Internet* de tal forma que para fazer a leitura dos dados coletados o usuário deve retornar ao local de instalação para fazer a coleta. Esse método tem dois problemas claros: nem sempre o local de instalação é de fácil acesso e existe um atraso significativo até o usuário poder ler os dados, que seria o tempo de ele voltar ao local de instalação.

### 1.3 Justificativa, necessidade e relevância

O sistema proposto neste trabalho busca solucionar esses problemas tornando o dispositivo conectado a *Internet* via rede celular permitindo tanto o envio dos dados quanto a amostragem em um período configurável, dessa forma o usuário não mais precisará voltar ao local de instalação tendo acesso aos dados agora salvos em nuvem usando um aplicativo, entretanto caso o local não tenha conectividade os dados não serão perdidos pois ficarão salvos no dispositivo para que o usuário possa fazer a leitura conectando-o a um computador localmente.

Em Natividad (2018) foi proposto um sistema similar, este não menciona o registro da altura do rio ao longo do tempo mantendo o histórico e nem a precisão deste equipamento, o que para a aplicação de alerta em níveis determinados não é um problema. Em Baldeon-Perez (2021) existem duas desvantagens em relação ao

sistema proposto: A primeira seria que ele é *offline* mantendo todas as informações localmente e a segunda é que o sensor utilizado mede no máximo 4 metros de distância. O sistema proposto por Bhondve (2019) tem a mesma característica em relação ao sensor de nível mencionado anteriormente e neste é usado uma interface Wi-Fi para o envio de dados, o que para locais mais remotos trás algumas dificuldades já que o alcance é bem menor quando comparado a rede celular.

Os dados coletados pelo sistema proposto são relevantes tanto para estudos hidrológicos, permitindo compreender o comportamento de um rio ao longo do tempo, comunicações rio-aquífero, recarga de aquífero etc. quanto para prevenção de enchentes. Com isso, projetos e estudos em temas como gerenciamento de bacias, navegação, irrigação, drenagem, abastecimento de água, controle de cheias, reservatórios e previsão hidrológica serão facilitados tanto pela redução do custo do equipamento quanto pela informação sendo disponibilizada visto a necessidade desses dados (MENEZES, 2009). O comportamento do rio também pode ser usado para caracterizar a vegetação no seu entorno já que a dinâmica da vegetação é influenciada pelo regime de distúrbios hidrológicos (MONSTER, 2021).

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo geral

O objetivo é desenvolver um sistema completo de medição de nível de rios contando com um *hardware* e seu *firmware* para coleta e envio de dados, um servidor de armazenamento das informações e um aplicativo para visualização, configuração e aquisição de dados do dispositivo.

### 1.4.2 Objetivos específicos

- Avaliar sensores de ultrassom;
- Avaliar sensores de pressão;
- Testar consumo de corrente com rede celular;
- Desenvolver o *hardware*;
- Definir o sistema de armazenamento em nuvem;
- Configurar e implantar o sistema de armazenamento em nuvem;
- Conectar dispositivos a servidor;

- Programar o *firmware*;
- Conectar aplicativo a servidor;
- Implementar a descarga de arquivos do servidor para o aplicativo;
- Desenvolver o aplicativo.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo 2 são abordados alguns conceitos relevantes para o desenvolvimento e funcionamento do sistema, são eles: sensores ultrassônicos, sensores de pressão, bateria de lítio, rede celular, protocolo de comunicação MQTT e microcontroladores. Esses conceitos são importantes para o desenvolvimento do sistema para garantir o correto funcionamento.

No capítulo 3 é apresentado uma visão geral do funcionamento do projeto e seguidamente detalhando as características de cada componente tanto de hardware, quanto de firmware e software. Além disso é feito uma análise de custos tendo uma estimativa do valor necessário para produzir cada dispositivo.

No capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos sobre a montagem do *hardware* e também sobre a precisão e desempenho do sistema. É feito também um comparativo com os equipamentos comerciais e também comparativos com outras tecnologias.

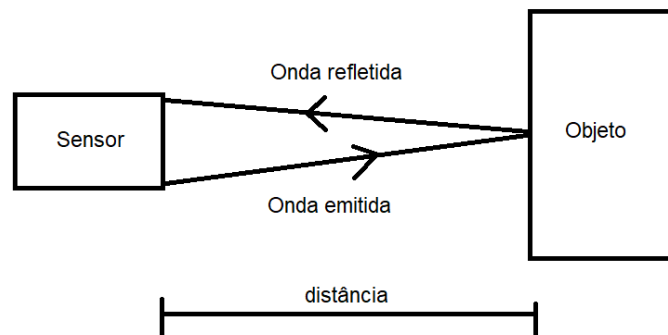
## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é discutida a fundamentação por trás dos componentes do sistema, essa informação é importante para o correto desenvolvimento do projeto tanto a nível de hardware quanto de software, apresentando informações sobre suas grandezas e funcionamento.

### 2.1 Sensores de ultrassom

O sensor de distância baseado em ultrassom utiliza da reflexão de ondas sonoras para medir distâncias. Ele pode conter um ou dois alto falantes que emite uma onda sonora em uma frequência acima do audível pelo ser humano e faz a leitura da reflexão da onda emitida, retornando um sinal elétrico proporcional à distância (LATHA, 2006). Na figura 1 podemos ver o funcionamento deste tipo de sensor.

**Figura 1: Funcionamento do sensor ultrassom**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

Para obter a distância baseada em uma resposta de largura de pulso sendo proporcional à distância multiplicamos a largura do pulso de resposta multiplicado pela velocidade do som no ar dividido por dois (JAHANKIT, s. d.).

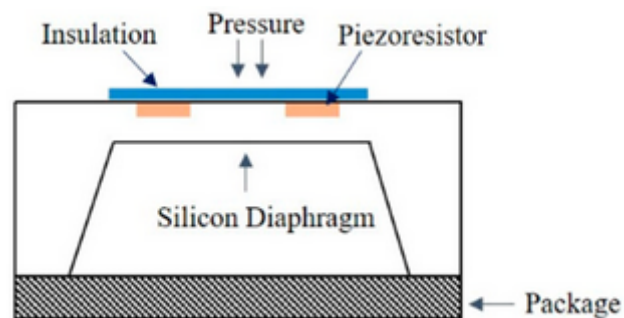
### 2.2 Sensores de pressão

Os sensores de pressão são dispositivos capazes de converter sinais de pressão em sinais elétricos. Eles podem ser divididos em cinco categorias de acordo

com o princípio de funcionamento: Piezo resistivo, capacitivo, fibra óptica, ressonante e piezoelétrico (SONG, 2020).

O sensor usado nesse projeto é do tipo piezo resistivo, o seu funcionamento típico é dado por um diafragma seguido de uma cavidade selada a vácuo e uma camada de silício com os elementos piezo resistivos em uma configuração de ponte de Wheatstone de tal forma que quando uma pressão é aplicada no diafragma ocorre uma diferença de potencial na ponte. Essa estrutura pode ser vista na figura 2 (SONG, 2020).

**Figura 2: Estrutura típica de um sensor de pressão piezo resistivo**

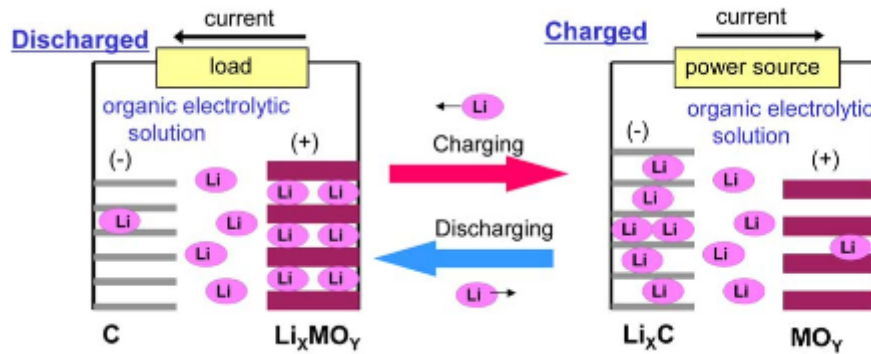


Fonte: Song (2020)

### 2.3 Bateria de lítio

A figura 3 mostra o princípio e as características das baterias de íons de lítio. Durante o processo de carga, o eletrodo positivo (cátodo) libera íons de lítio para o eletrodo negativo (ânodo) e no processo de descarga, o eletrodo negativo fornece íons de lítio ao eletrodo positivo. A maioria das baterias de íons de lítio usa materiais de carbono, como grafite e carbono duro como material ativo do anodo. Alguns óxidos metálicos, como o titanato de lítio e o pentóxido de nióbio também podem ser usados como material ativo anódico. Esses materiais ativos anódicos aceitam íons lítio quando carregados e os liberam durante a descarga, reações que são chamadas de reações de inserção e extração (HORIBA, 2014).

Figura 3: Carga e descarga de bateria de lítio



Fonte: Horiba (2014)

As baterias de íons de lítio são bastante utilizadas em dispositivos IoT devido a sua alta densidade energética, longa vida útil podendo ser recarregáveis (TOOR, 2021).

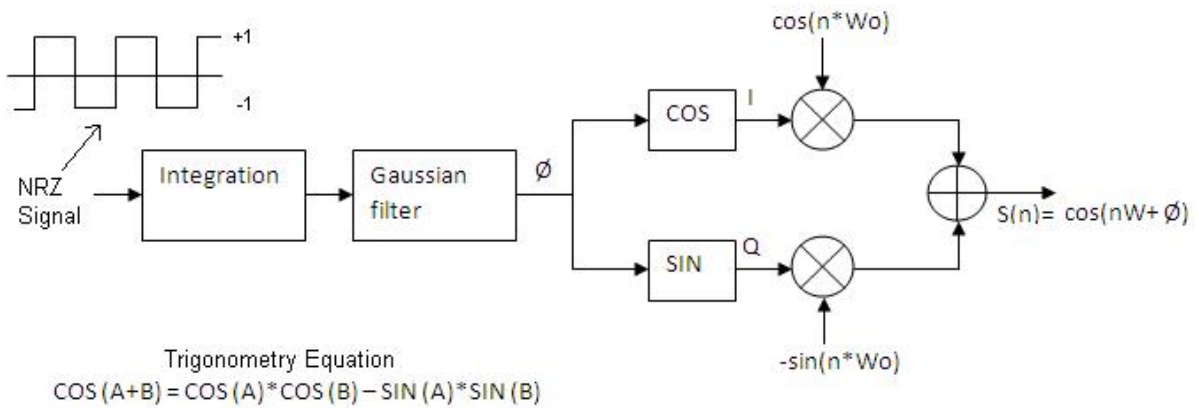
## 2.4 Comunicação celular

O 2G trouxe a mudança do sistema digital para a rede celular que antes era analógica, possibilitando uma melhor integração com sistemas computadorizados, melhorando a transmissão de voz e adicionando novas funcionalidades (SALES, 2016).

A modulação usada no GSM é a GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) em que a modulação em frequência é o resultado de uma modulação em fase com sinais adequados e amplitude constante (CLEMENTE, 2010).

O algoritmo de modulação é bem similar ao de um modulador MSK, a diferença é a adição de um filtro gaussiano. Dado um sinal NRZ (non return to zero) este é passado por um integrador e um filtro gaussiano, a partir daí é obtido o sinal phi, que é aplicado separadamente aos blocos de seno e cosseno, que geram os sinais Q e I. Estes são mixados e somados para obter o sinal transmitido. É possível ver um diagrama da modulação na figura 4.

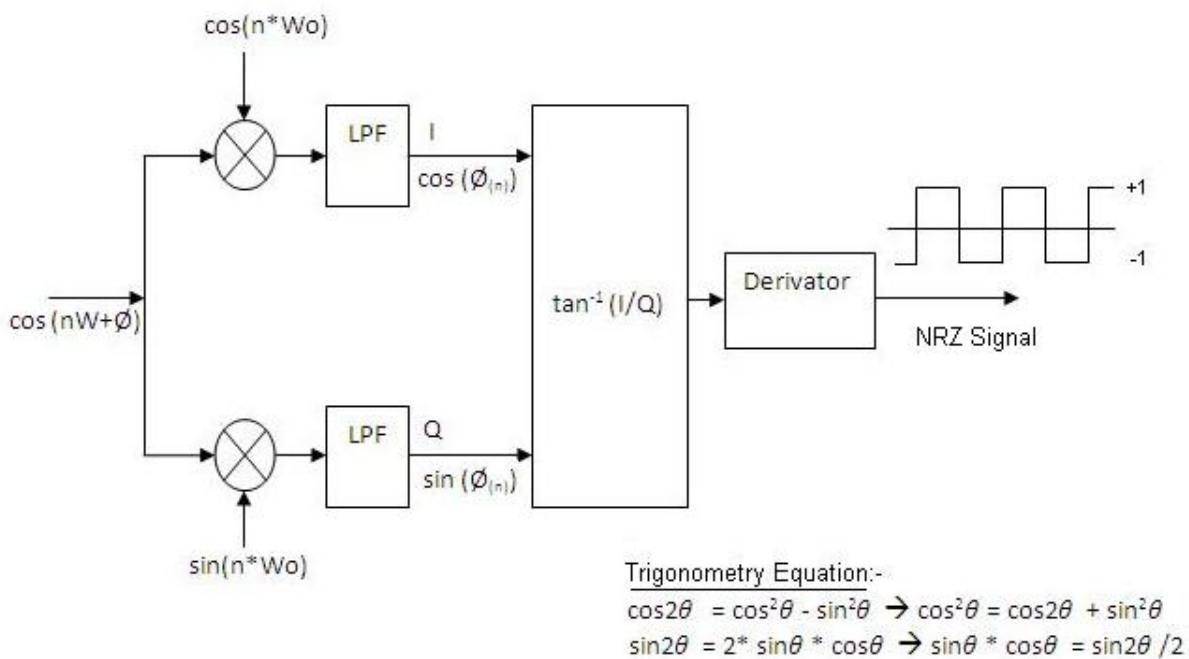
Figura 4: Modulador GMSK



Fonte: RFwireless world (s.d.)

Para o demodulador o processo reverso é realizado, fazendo uma mixagem inicial, filtrando e usado um bloco de arctan para extrair o valor de phi antes de passar por um derivador como visto na figura 5.

Figura 5: Demodulador GMSK



Fonte: RFwireless world (s.d.)

Além da tecnologia GSM o GPRS (General Packet Radio Services) também foi incorporado ao 2G, cuja essência é possibilitar o tráfego de dados por pacotes para que a rede de telefonia celular possa ser integrada à internet. O sistema GSM com o

*GPRS* integrado recebeu o nome de geração 2.5G, que foi uma evolução essencial nas telecomunicações. A principal diferença entre as tecnologias está na comutação, o *GSM* usa a comunicação através de comutação de circuitos que é feita da seguinte forma: uma conexão entre as duas entidades comunicantes é alocada, de forma a estar sempre disponível; a comunicação é feita de forma ininterrupta. A comunicação por comutação de pacotes é diferente: a origem envia uma informação para a rede dentro de um pacote, que leva o endereço de destino no seu cabeçalho. O pacote é então transmitido pela rede, que é responsável por escolher o melhor caminho até o destino (SANTOS, 2008).

## 2.5 Protocolo MQTT

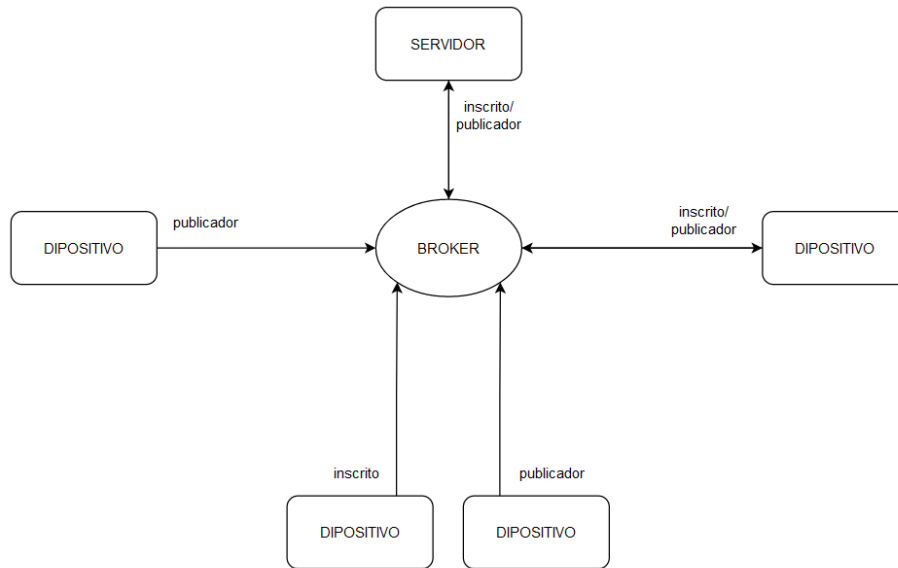
O *MQTT* é um protocolo padrão de mensagens para *IoT* desenvolvido pela OASIS. Foi feito com o objetivo de ser um sistema de transporte inscrição/publicação extremamente leve, sendo ideal para conectar dispositivos remotos sem necessitar de muito espaço de código e com banda de rede mínima. O *MQTT* atualmente é usado em uma vasta gama de aplicações industriais, como automotiva, produção, telecomunicações, óleo e gás etc (OASIS, s. d.).

O princípio do modelo de comunicação inscrição/publicação é que os dispositivos interessados em consumir certa informação devem registrar esse interesse para que quando essa informação seja gerada ele seja notificado. Esse processo de interesse é chamado de inscrição e assim o dispositivo é chamado de inscrito. Já os dispositivos que geram a informação o fazem publicando a mesma, dessa forma eles são chamados de publicadores. Para garantir que a informação gerada pelos publicadores seja entregue aos inscritos existe um sistema entre os dois chamado de *broker*. O *broker* coordena as inscrições e, geralmente, os inscritos devem notificar explicitamente o *broker* do interesse naquela informação (HUNKELER, 2008).

Podemos então exemplificar uma arquitetura do sistema MQTT com os dispositivos geradores e consumidores de informação se conectando ao broker e este fazendo a interface entre um servidor de banco de dados para a retenção a longo prazo das informações como mostrado na figura 6.



**Figura 6: Exemplo de arquitetura MQTT**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

## 2.6 Microcontrolador

De acordo com Yadav (2004), um microcontrolador pode ser definido como um *chip* altamente integrado incluindo no mesmo encapsulamento CPU, RAM, ROM, IO, portas seriais e paralelas e temporizadores. O microcontrolador permitiu a miniaturização e sistemas controladores reduzindo também os custos e complexidade de desenvolvimento, além da praticidade de poder programar-los para diversas funções sem precisar mudar o circuito.

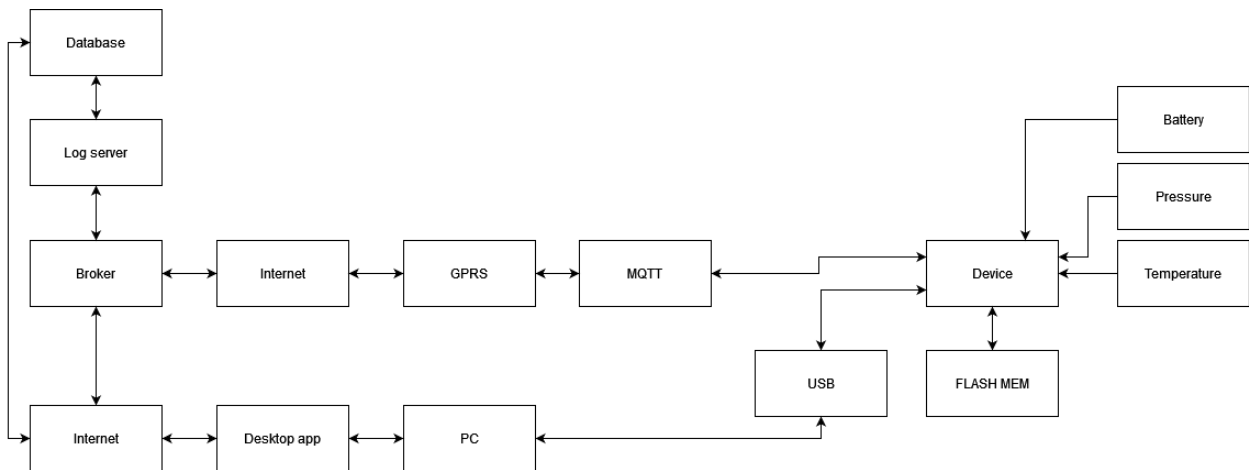
Em aplicações de IoT os microcontroladores são considerados uma parte essencial permitindo a interface com diversos sensores, fazer um pré-processamento dos dados, operar atuadores, interagir com chips que permitem conexão à Internet para trocar dados com um servidor remoto etc. (PANTEL, 2016).

### 3 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo são apresentadas informações de como os componentes estão interligados e as características específicas sobre o desenvolvimento do sistema proposto neste trabalho, o que permite saber a limitação das partes.

O sistema como um todo, que é constituído por *hardware*, *firmware* e *software*, tem a seguinte arquitetura

**Figura 7: Diagrama do sistema**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

De acordo com a figura 7 pode-se ver como os componentes de hardware interagem diretamente com o microcontrolador, onde em caso de falha na comunicação com a Internet este salva os dados na memória retentiva, mas em funcionamento normal este faz uso do protocolo de serialização para comunicar seja com o computador pessoal diretamente ou com o servidor pela Internet para enviar os dados ou receber novas configurações de operação. De maneira independente, caso o usuário deseje consultar as informações salvas no servidor ele pode usar o software e ler os dados tanto com apresentação gráfica como para um formato de planilha que possa ser usado por outros softwares.

### 3.1 Hardware

#### 3.1.1 Caixa protetora

De acordo com a norma IEC 60529 definida pela ABNT o grau de proteção mínimo necessário para o dispositivo proposto neste trabalho é IP66, já que este será exposto ao ambiente com poeira e possivelmente chuva. Este grau implica em um equipamento totalmente protegido contra poeira sem a possibilidade de entrada e protegido contra a projeção de jatos fortes de água.

Considerando o tamanho da placa e o tamanho do case da bateria a área mínima necessária para alojar o equipamento seria de 120 por 75 milímetros, com uma altura mínima de 20 milímetros, entretanto devemos considerar também que o usuário irá inserir um cabo para carregar e trocar dados com o dispositivo necessitando de um espaço interno a mais para a movimentação. Tendo estes pontos a caixa escolhida foi a caixa de passagem hermética branca 190 por 140 por 70 milímetros IP66 da marca Brum como da figura 8.

**Figura 8: Caixa plástica escolhida**



**Fonte: Madeiramadeira (s.d.)**

### 3.1.2 Sensores

Neste sistema o principal sensor é o de distância com ultrassom, devido as especificações de altura de coluna d'água, resistência a água, custo e disponibilidade no mercado foi utilizado JSN-SR04T desenvolvido pela Jahankit ilustrado na figura 9. Este, que é na verdade um sistema por si, é composto pelo alto falante e uma interface GPIO com saída PWM para a leitura.

**Figura 9: Sensor ultrassônico JSN-SR04T**



**Fonte: Jahankit (s.d.)**

Este sensor possui as características expostas no quadro 1

**Quadro 1: Especificações JSN-SR04T**

<b>Atributo</b>	<b>Valor</b>
Tensão de operação	3.0-5.5 VDC
Corrente de operação	< 8 mA
Frequência do pulso	40 kHz
Distância máxima	600 cm
Distância mínima	20 cm
Acurácia	±1 cm
Resolução	1 mm
Ângulo de medição	75 graus
Tamanho da placa	42 x 29 x 12 mm
Temperatura de operação	-20 °C a 70 °C

Fonte: Jahankit (s.d.)

Para complementar o sensoriamento foi utilizado também um sensor digital de pressão. O escolhido foi o BMP280, mostrado na figura 10, devido a disponibilidade e custo, as especificações de pressão e temperatura medidas não são tão críticas já que serão apenas para medir o ambiente.

**Figura 10: Sensor BMP280**

Fonte: Bosch (s.d.)

Este sensor possui as características expostas no quadro 2

**Quadro 2: Especificações BMP280**

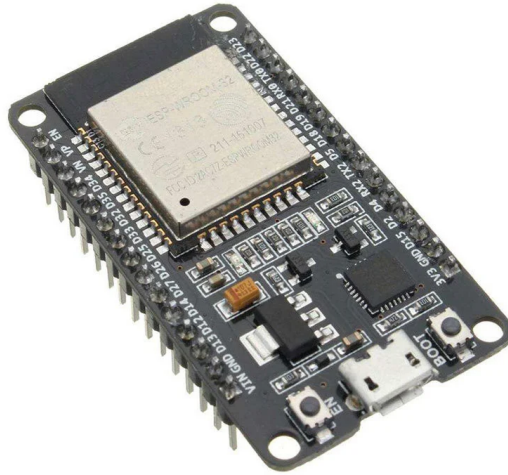
<b>Atributo</b>	<b>Valor</b>
Pressão	300 hPa a 1100 hPa
Escapsulamento	LGA 8 pinos 2 x 2.5 x 0.95 mm
Acurácia relativa	±0.12 hPa
Acurácia absoluta	1.5 Pa/K
Interfaces	I2C e SPI
Consumo de corrente	2.7 µA a 1 Hz de amostragem
Temperatura	-40 °C a 85 °C

**Fonte: Bosch (s.d.)**

### 3.1.3 Microcontrolador

Os requisitos para o microcontrolador neste projeto são bem simplórios, já que o controlador terá que ler os dois sensores, salvar na memória retentiva e transmiti-los pelo modem GPRS, entretanto ele precisa de memória RAM e processamento o suficiente para manter uma conexão SSL com o servidor. Outra funcionalidade que foi considerada para uma versão futura é a de transmissão local de dados sem fio, de tal forma que o usuário para configurar ou coletar os dados do dispositivo não precise ligá-lo ao computador pela porta USB. Levando estes pontos em consideração o microcontrolador escolhido foi o ESP32, visto na figura 11, já que além desses pontos a experiência com o mesmo tornou o desenvolvimento mais rápido e para facilitar a montagem foi utilizada a placa de desenvolvimento feita pela DOIT que conta com o circuito básico para o funcionamento do microcontrolador, interface USB para gravação e depuração além de expor os pinos restantes para uso. Foi desenvolvida também uma versão do sistema onde o módulo do ESP32 pode ser soldado diretamente, já que a placa de desenvolvimento tem partes e consumo de energia desnecessários, o que para o sistema ligado à bateria é um recurso crítico.

**Figura 11: Placa de desenvolvimento ESP32 DOIT**



**Fonte: Baudaeletronica (s.d)**

Em relação as principais características do ESP32 para este projeto temos o quadro 3 apresentando suas especificações

**Quadro 3: Especificações ESP32**

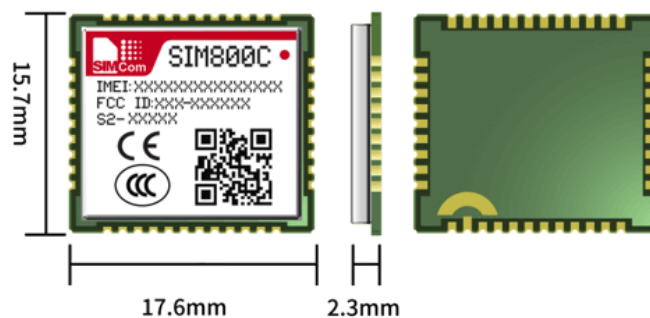
<b>Atributo</b>	<b>Valor</b>
Processador	Xtensa 32 bits Dual Core
Clock	80 MHz a 160 MHz
Memória RAM	520 kB
Tensão de operação	3.3 V
Corrente de operação	80 mA
Corrente máxima	500 mA
GPIO	36
Protocolos sem fio	802.11 b/g/n e Bluetooth 4.2
Temperatura de operação	-40 °C a 85 °C

**Fonte: Espressif (2022)**

### 3.1.4 Comunicação

Como o local de coleta dos dados provavelmente será em ambientes de difícil acesso e sem conexão Wi-Fi foi escolhido como principal método de conexão o GPRS já que o alcance pode chegar a até 30 km e caso ainda assim o local não tenha acesso a rede os dados serão salvos na memória retentiva. O ideal seria usar um modem de tecnologia 4G já que esta tem um consumo de energia bem reduzido quando comparado ao GPRS, porém o custo inviabiliza o uso neste projeto, com isso foi escolhido um modem 2G da SIMCOM o SIM800C, mostrado na figura 12, que já tem boas bibliotecas e é bem disseminado no mercado, este possui interface UART com o microcontrolador e pinos de controle para desligar o modem. Para facilitar a montagem foi usado um módulo THD já que originalmente o SIM800C tem soldagem SMD.

**Figura 12: SIM800C**



Fonte: Simcom (2020)

No quadro 4 temos as principais características do modem



**Quadro 4: Especificações SIM800C**

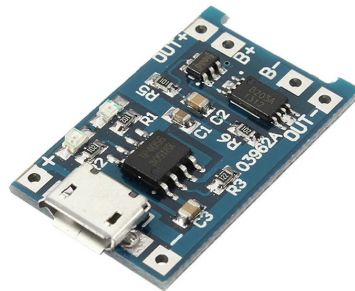
<b>Atributo</b>	<b>Valor</b>
Bandas de operação	850/900/1800/1900 MHz
Tensão de operação	3.4 V a 4.4 V
Temperatura de operação	-40 °C a 85 °C
Interface SIM	1.8 V e 3 V
Potência máxima de transmissão	2W
Taxa de transferência máxima	85.6 kbps

Fonte: Simcom (2020)

### 3.1.5 Gerenciamento de bateria

Como o sistema proposto foi projetado para operar em ambientes isolados e de maneira autônoma então um circuito para controle de bateria é necessário. Para a bateria utilizada uma das opções mais viáveis é utilizar o CI TP4056, mostrado na figura 13, que supri as necessidades de carga, descarga e proteção de bateria de lítio de célula única além de ter um baixo custo e alta disponibilidade no mercado.

**Figura 13: Placa com TP4056**



Fonte: Baudaeletrônica (s.d.)

No quadro 5 temos as especificações do TP4056

**Quadro 5: Especificações TP4056**

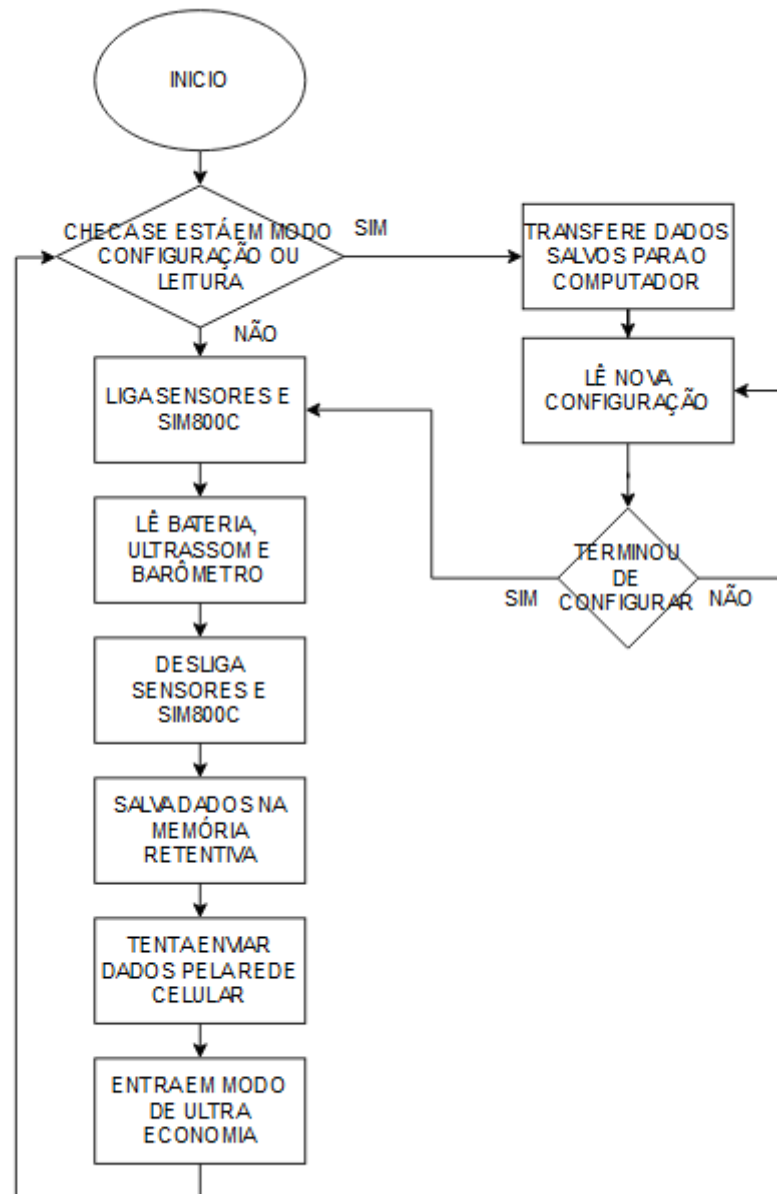
<b>Atributo</b>	<b>Valor</b>
Tensão de entrada	4 V a 8 V
Corrente de operação máxima	500 $\mu$ A
Corrente de carga máxima	1000 mA
Temperatura de junção máxima	145 °C

Fonte: Nanjing (s.d.)

### 3.2 Firmware

O programa que irá rodar no sistema embarcado terá um laço principal onde o este verifica se deve entrar no modo configuração, seguido de fazer a leitura dos sensores, salvar na memória retentiva e finalmente tentar enviar os dados pela rede celular, além deste existe também um laço do modo de configuração que pode ocorrer apenas quando o dispositivo é ligado estando conectado a um computador, onde irá enviar os dados armazenados em sua memória retentiva assim como sua configuração atual e fica esperando o computador enviar uma nova configuração. Este ciclo pode ser visto na figura 14.

Figura 14: Diagrama do firmware



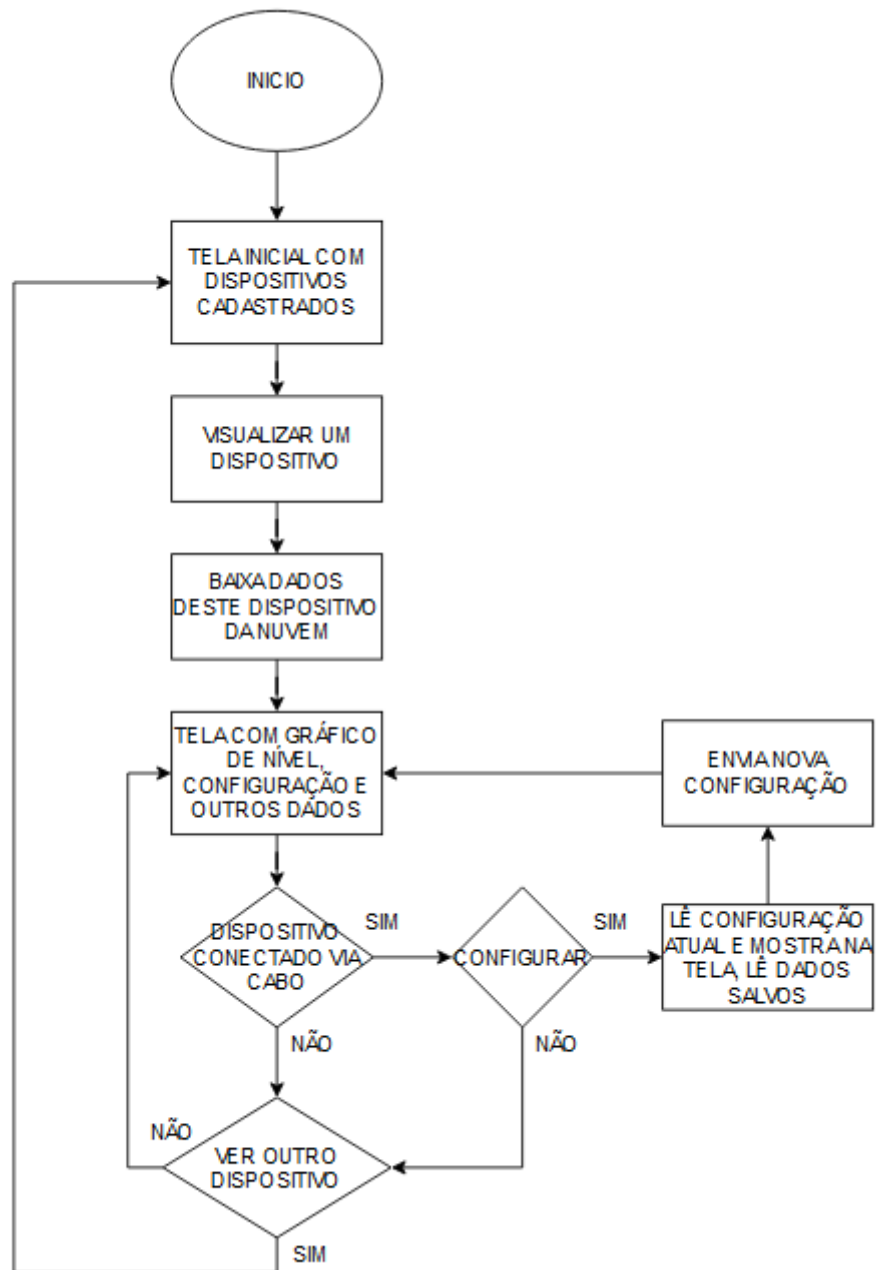
Fonte: Autoria própria (2022)

### 3.3 PC software

O programa que o usuário irá interagir com os dispositivos têm 3 funções principais: Apresentação dos dados, baixar dados para o PC tanto da nuvem quanto do dispositivo caso esteja conectado e configuração. Para isso foi desenvolvido um software utilizando a linguagem de programação Python devido a sua velocidade de desenvolvimento, bibliotecas disponíveis e familiaridade com a linguagem. Na figura 15

é apresentado um diagrama de funcionamento e nas figuras 16 e 17 são apresentadas algumas imagens do software desenvolvido.

**Figura 15: Diagrama do software**



Fonte: Autoria própria (2022)

**Figura 16: Primeira tela de dispositivo**

Fonte: Autoria própria (2022)

**Figura 17: Tela de gráficos**



Fonte: Autoria própria (2022)

### 3.4 Análise de custo

Como uma das ideias deste projeto é tentar reduzir o custo de dispositivos de monitoramento de nível de rios, este capítulo irá abordar uma estimativa de quanto esse produto custaria para ser produzido e não o custo de venda. Vale ressaltar que os valores mencionados aqui não estão incluindo frete e possíveis taxas de importação, além disso são para baixa escala e podem ser reduzidos ainda mais caso aumentasse o número de peças e fazendo uma placa com os CIs soldados diretamente, entretanto com a montagem manual esse processo se torna bem mais difícil.

A cotação para cada parte do projeto pode ser vista no quadro 6

**Quadro 6: Valores dos materiais**

<b>Atributo</b>	<b>Valor</b>
Caixa de plástico	R\$43,29
JSN-SR04T	R\$26,64
BMP280	R\$03,76
ESP32	R\$19,07
SIM800C	R\$11,64
TP4056	R\$00,90
Bateria de lítio	R\$21,50
Componentes básicos	R\$02,14
Fabricação da placa	R\$02,75

**Fonte: Autoria própria (2022)**

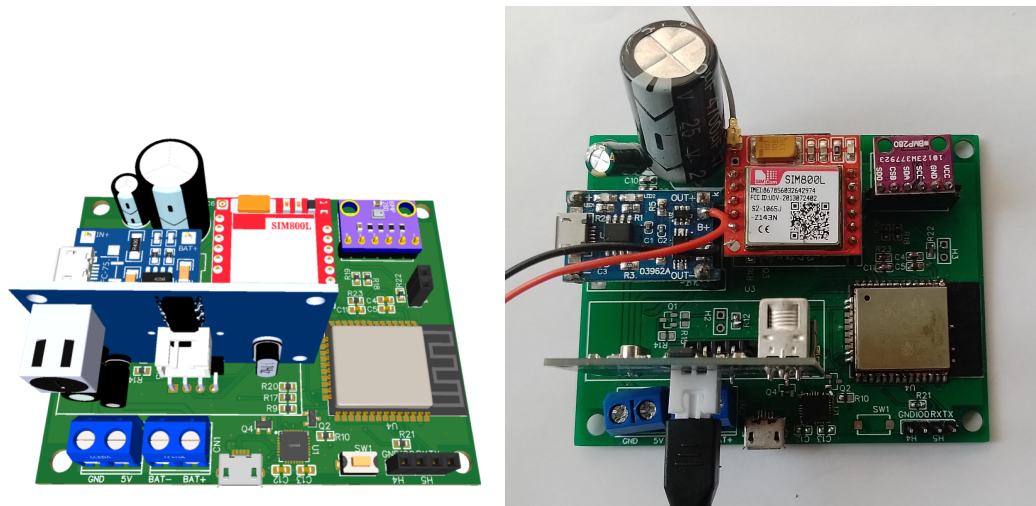
Existem também outros custos que podem ser adicionados dependendo da situação. Durante o desenvolvimento foi usado o plano gratuito do servidor Azure que serve para até 8 mil mensagens diárias, o que até para uma pequena escala de dispositivos é suficiente já que cada um reporta apenas uma vez por dia. Outro ponto é o custo de recarga do cartão SIM usado para conectar a rede celular que seria em

torno de R\$40,00 por mês, mas esse valor pode ser reduzido utilizando planos específicos para dispositivos IoT. Por fim se fossemos considerar o custo de venda teríamos de considerar os valores de envio, marketing, montagem, testes, lucros etc, por esse motivo foi abordado apenas o custo de produção.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

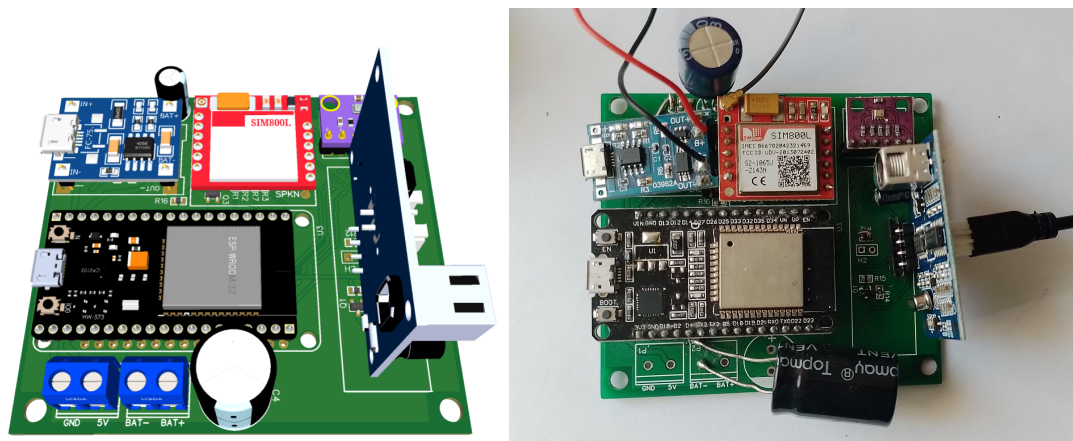
A PCB foi produzida profissionalmente para garantir um melhor desempenho, sendo a montagem feita a mão. Foram desenvolvidos dois designs, um com a placa de desenvolvimento do ESP32 sendo acoplada visto na figura 18 e outro apenas com o microcontrolador soldado visto na figura 17, o motivo para tal foi que a placa de desenvolvimento consome alguns mAh desnecessários que inviabilizam o uso do sistema por bateria, mas em contrapartida facilita a montagem e testes, dessa forma a placa com o ESP32 soldado é usada na produção.

**Figura 17: Modelo 3D e placa real com ESP32 soldado**



Fonte: Autoria própria (2022)

**Figura 18: Modelo 3D e placa real com placa de desenvolvimento**



Fonte: Autoria própria (2022)



Foram realizados ensaios com o sensor de ultrassom fixado paralelo ao chão com um anteparo de 290 por 185 milímetros de área a cada 500 milímetros do sensor com até 3,5 metros, os resultados estão apresentados nos quadros 7 e 8. Com esses ensaios foi obtido um erro relativo médio de 0,015 podendo medir até 6m, o que quando comparado com a sonda comercial SHT-240 o dispositivo proposto é 1,33 vezes menos preciso. Já comparando com a sonda Level Troll 700, que pode medir 11m, neste caso o sistema proposto é 40 vezes menos preciso. Os resultados dos ensaios podem ser vistos nos dois quadros abaixo, onde as distâncias e o erro absoluto estão em milímetros.

**Quadro 7: Ensaio de diversas distâncias**

Distância real	Distância medida	Erro absoluto	Erro relativo
500	481	19	0,038
1000	979	21	0,021
1500	1476	24	0,016
2000	1974	26	0,013
2500	2477	23	0,009
3000	2984	16	0,005
3500	3486	14	0,004
	Média	20,428	0,015

Fonte: Autoria própria (2022)

**Quadro 8: Ensaio a 1 metro**

Distância real	Distância medida	Erro absoluto	Erro relativo
1000	980	20	0,020
1000	980	20	0,020
1000	980	20	0,020
1000	980	20	0,020
1000	980	20	0,020
	Média	20	0,020

Fonte: Autoria própria (2022)

Em relação a duração de bateria, considerando o caso de uma bateria com 2200 mAh, enviando uma vez por dia e tempo de envio máximo de 30 segundos, o sistema proposto terá a duração máxima estimada de 378 dias, para mais envios a duração pode ser vista no quadro 9. As estimativas de consumo de cada componente usado neste cálculo foram retiradas de seus respectivos datasheets. A duração é bastante inferior a sonda Level Troll 700 que possui 10 anos de bateria, entretanto essa diferença se dá devido a conectividade e a escolha do microcontrolador usado, vale ressaltar que essa duração poderia ser facilmente dobrada com uma bateria a mais em paralelo. Não foi possível obter informações sobre a duração da sonda SHT-240.

**Quadro 9: Estimativa de duração de bateria**

Número de envios em 24h	mAh gasto por dia	Dias de bateria
1	6	378
2	8	288
4	11	195
8	19	119
12	26	85
24	48	46
48	91	24

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Utilizando a rede GPRS o sistema proposto é capaz de informar em tempo real os dados coletados, porém para um melhor desempenho de bateria e devido o tipo de uso a configuração padrão é de um envio por dia. Ambas as sondas em si não possuem conectividade, mas a empresa In-Situ fornece um produto adicional que conecta a sonda e é capaz de enviar os dados pela rede 2G ou por satélite.

Com os valores expostos no quadro 6 temos que o valor de produção do dispositivo pode ser estimado em R\$131,69, novamente vale ressaltar que esse não é o valor de venda, ainda assim ao compararmos com o valor apenas da sonda Level Troll 700 na figura 19 vemos uma discrepância significativa. Não foi obtido o orçamento para a sonda SHT-240.

**Figura 19: Cotação da Insitu**

Level Troll 700					
Item	Descrição do produto	Código	Preço Unit.	Quantidade	Preço total
1	Level Troll 700 ventilado	89550	R\$ 10.942,70	1	R\$ 10.942,70
2	Cabo Ventilado (10 mts + Conectores em Titânio)	52000-01	R\$ 185,50 / m	10	R\$ 1.855,00
3	Dissecante grande com conector em ABS	53550	R\$ 595,00	1	R\$ 595,00
<b>TOTAL DO ORÇAMENTO</b>					<b>R\$ 13.392,70</b>

Itens Opcionais para Level Troll 700					
Item	Descrição do produto	Código	Preço Unit.	Quantidade	Preço total
1	Wireless Troll Com (BlueTooth para Android)	31240	R\$ 3.613,00	1	R\$ 3.613,00

**Fonte: Insitu (s.d.)**

Sobre a conectividade do dispositivo com a Internet, seria bastante vantajoso no ponto de vista de funcionalidades utilizar a rede 4G devido às várias vantagens tecnológicas em relação ao 2G (KHAN, 2009), entretanto se considerarmos os custos, a disponibilidade da rede 2G no Brasil e a aplicação do sistema proposto, a tecnologia 2G pode ser até mais eficiente energeticamente, pois para um pequeno volume de dados é possível utilizar menos energia principalmente considerando uma aplicação que tipicamente irá enviar dados no máximo algumas dezenas de vezes ao dia (BECOÑA, 2017).

Uma outra opção de conexão a Internet seria utilizar a tecnologia LoRaWAN, onde suas principais vantagens em relação ao uso do 2G seriam o alcance na ordem de dezenas de quilômetros e uma maior eficiência energética, garantindo maior duração da bateria (LAVRIC, 2018). O maior problema seria o custo inicial do equipamento já que seria necessário um *gateway* LoRaWAN para transmitir os dados coletados para o servidor na Internet.

## 5 CONCLUSÃO

O sistema proposto tinha inicialmente o objetivo de trazer conectividade aos sistemas de medição de nível, tornando mais prática a instalação e facilitando a coleta dos ensaios. Este objetivo foi cumprido com sucesso com todas as partes de *hardware*, *firmware* e *software* funcionais, sendo viável em aplicações que meçam diferenças de nível de até 6 metros. Além do sistema desenvolvido também foram obtidos resultados quantitativos sobre o uso de sensores de ultrassom para medição de distância e uso de bateria em sistemas IoT com rede celular.

Outro ponto relevante foi o custo de produção do dispositivo, sendo relativamente baixo quando comparado aos produtos comerciais, entretanto vale ressaltar novamente que não estão sendo considerados valores de certificação, marketing etc. que outros estes produtos devem ter para serem vendidos.

Para trabalhos ou projetos futuros seriam interessantes usar diferentes tecnologias como as já mencionadas rede 4G e LoRaWAN, outros microcontroladores que possam ser mais eficientes energeticamente e outros métodos de medição de nível, como utilizar sensores de pressão submersos e LiDAR.

## REFERÊNCIAS

BALDEON-PEREZ, Christian; MENESES-CLAUDIO, Brian; DELGADO, Alexi. **Water Level Monitoring and Control System in Elevated Tanks to Prevent Water Leaks**. 2021.

Baudaeletronica. **Esp32 DOIT**. s.d. Disponível em: <https://www.baudaeletronica.com.br/placa-doit-esp32-bluetooth-e-wifi.html>. Acesso em: 24 jun. 2021.

Baudaeletronica. **Carregador de Bateria de Lítio TP4056**. s.d. Disponível em: <https://www.baudaeletronica.com.br/carregador-de-bateria-de-litio-tp4056.html>. Acesso em: 24 jun. 2022

BECOÑA, Juan Pablo et al. **A battery powered RTU: GPRS vs 3G comparison**. IEEE, 2017.

Bosch. **BMP280**. s. d. Disponível em: [https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/product\\_flyer/bst-bmp280-fl000.pdf](https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/product_flyer/bst-bmp280-fl000.pdf). Acesso em: 24 jun. 2022.

BHONDVE, Pratika; CHAUDHARI, Nikita; THAKUR, Saloni. **IoT Based Water Management System Using Arduino**. 2019.

CLEMENTE, D. H. **Rede GSM I: Caracterização de Ambiente Celular**, 2010. Disponível em: <https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialalambcel1/default.asp>. Acesso em: 30 ago. 2021.

Espressif. **Esp32 series datasheet**. 2022. Disponível em: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf). Acesso em: 24 jun. 2022.

HORIBA, Tatsuo. **Lithium-ion battery systems**. 2014.

HUNKELER, Urs; TRUONG, Hong Linh; STANFORD-CLARK, Andy. **MQTT-S—A publish/subscribe protocol for Wireless Sensor Networks**. 2008.

Insitu. **Sonda troll level 700**. s.d. Disponível em: <https://in-situdobrasil.com.br/produtos/sonda-level-troll-700-para-medicao-de-nivel-de-aqua>. Acesso em: 24 jun. 2022.

JAHANKIT. **JSN-SR04T Datasheet**. Acesso em: 05. nov. 2021. Disponível em: [https://www.usinainfo.com.br/index.php?controller=attachment&id\\_attachment=723](https://www.usinainfo.com.br/index.php?controller=attachment&id_attachment=723).

KHAN, Afaq H. et al. **4G as a next generation wireless network**. IEEE, 2009.

LATHA, N. Anju; MURTHY, B. Rama; KUMAR, K. Bharat. **Distance sensing with ultrasonic sensor and Arduino**. 2016.

LAVRIC, Alexandru; PETRARIU, Adrian Ioan. **LoRaWAN communication protocol: The new era of IoT**. 2018.

MENEZES, MD de et al. **Dinâmica hidrológica de duas nascentes, associada ao uso do solo, características pedológicas e atributos físico-hídricos na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Lavrinha-Serra da Mantiqueira (MG)**. 2009.

MOSTER, Claudia. **A dinâmica hidrológica da zona ripária monitorada pelo nível do lençol freático**. 2021.

MadeiraMadeira. **BRBO 06 CAIXA DE PASSAGEM HERMÉTICA BRANCA 240X190X125MM IP66**. s.d. Disponível em: <https://www.madeiramadeira.com.br/brbo-06-caixa-de-passagem-hermetica-branca-240x190x125mm-ip66-2672653.html>. Acesso em: 24 jun. 2022.

Nanjing. **TP4056 datasheet**. s.d. Disponível em: <https://storage.googleapis.com/baudaeletronicadatasheet/TP4056.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2022.

NATIVIDAD, J. G.; MENDEZ, J. M. **Flood monitoring and early warning system using ultrasonic sensor**. 2018.

OASIS. **MQTT**. Disponível em: <https://mqtt.org/>. Acesso em: 13 nov. 2021.

PATEL, Keyur K. et al. **Internet of things-IOT: definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application & future challenges**. 2016.

RFWireless World. **MSK-GMSK**. s.d. Disponível em: <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/MSK-GMSK.html>. Acessado em: 30 ago. 2021.

SALES, P. H. D. **Redes 5G I: Rede Móvel Celular**, 2016. Disponível em: [https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredes5g/pagina\\_2.asp](https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredes5g/pagina_2.asp). Acesso em: 30 ago. 2021.

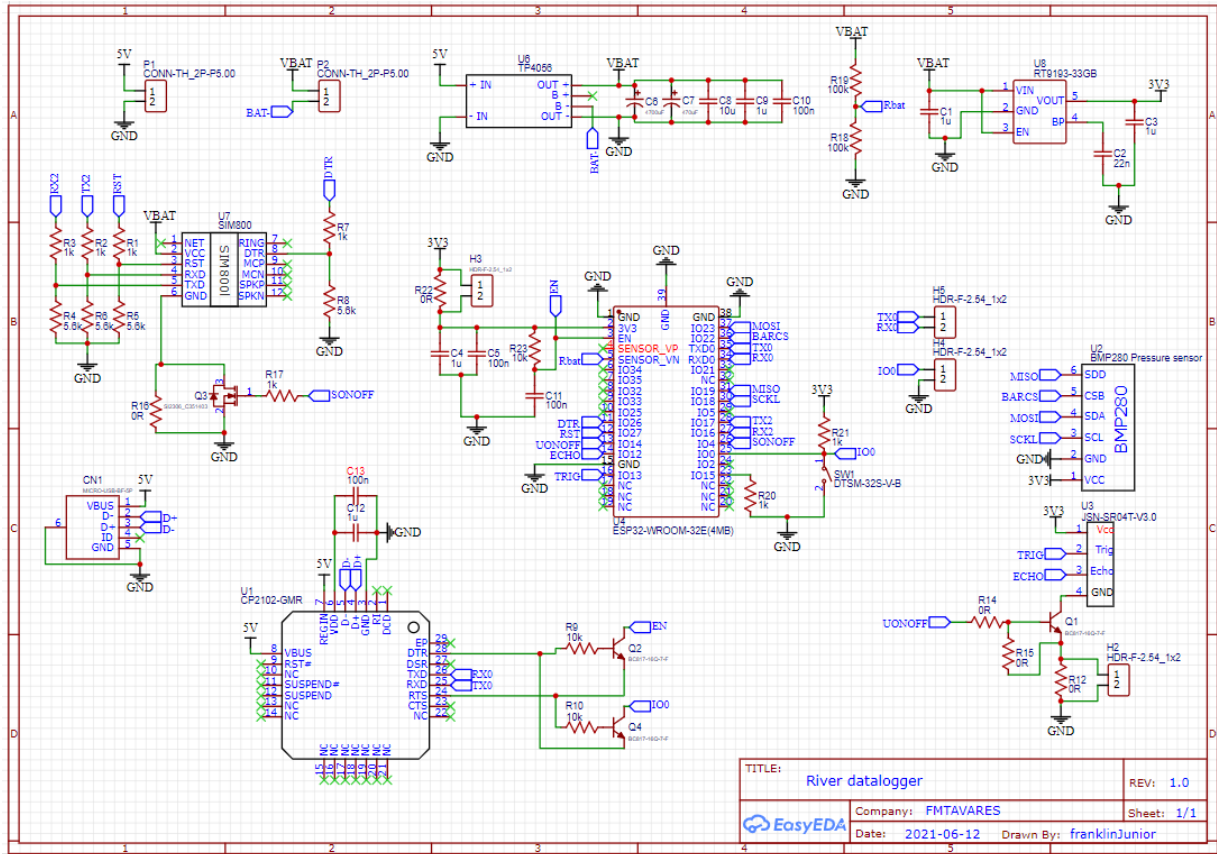
SANTOS, R. L. **Redes GSM, GPRS, EDGE e UMTS**, 2008. Disponível em: [http://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos\\_vf\\_2008\\_2/ricardo/4.html](http://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2008_2/ricardo/4.html). Acesso em: 24 jun. 2021.

SONG, Peishuai et al. **Recent progress of miniature MEMS pressure sensors**. 2020.  
TOOR, Anju et al. **Stencil-printed Lithium-ion micro batteries for IoT applications**. 2021.

SIMCOM. **SIM800C**. 2020. Disponível em: <https://www.simcom.com/product/SIM800C.html>. Acesso em: 24 jun. 2022.

YADAV, D. S. **Microcontroller: Features and Applications**. 2004.

## APÊNDICE A – Esquemático com ESP32 soldado





## APÊNDICE B – Esquemático com placa de desenvolvimento acoplada

