

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA

GABRIEL LIDO AMARAL
GIOVANNI DE ROSSO UNRUH
MATEUS MELLO DE OLIVEIRA

**ENERGY IO: SISTEMA DE MONITORAMENTO DE GASTOS
RESIDENCIAIS - ÁGUA E LUZ**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2021

GABRIEL LIDO AMARAL
GIOVANNI DE ROSSO UNRUH
MATEUS MELLO DE OLIVEIRA

**ENERGY IO: SISTEMA DE MONITORAMENTO DE GASTOS
RESIDENCIAIS - ÁGUA E LUZ**

Energy IO: Residential Expenses Monitoring System - Water and Energy

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR Campus Curitiba, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Orientador: Prof. Guilherme de Santi Peron, D.Sc.

CURITIBA
2021

**GABRIEL LIDO AMARAL
GIOVANNI DE ROSSO UNRUH
MATEUS MELLO DE OLIVEIRA**

**ENERGY IO: SISTEMA DE MONITORAMENTO DE GASTOS RESIDENCIAIS –
ÁGUA E LUZ**

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: 02/dezembro/2021

Guilherme de Santi Peron
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Gustavo Benvenuto Borba
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Ronnier Frates Rohrich
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**CURITIBA
2021**

Dedicamos este trabalho a todo o curso de Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, aos colegas e professores, a quem agradecemos as bases que deram para nos tornarmos as pessoas que somos hoje.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos em especial nossos familiares e amigos pelo apoio, dedicação e compreensão nos momentos de dificuldades e incertezas, pois se fizeram presentes nos momentos de dificuldade. Agradecemos também ao nosso professor orientador Guilherme Peron pelo auxílio e orientação que tornou possível este trabalho. Agradecemos a todas as pessoas que de uma maneira ou outra contribuíram de forma significativa para a apresentação deste trabalho de conclusão de curso.

*"A tecnologia ensinou uma lição a humanidade:
Nada é impossível."*

Lewis Mumford

RESUMO

O uso sustentável dos recursos naturais tem sido cada vez mais necessário devido a escassez dos mesmos, uma vez que a cada ano o consumo por parte da população aumenta e a renovação natural destes recursos diminui devido a mudanças climáticas provenientes da ação do ser humano. Devido à esta problemática, novas tecnologias têm surgido para estimular e auxiliar o consumo consciente. O projeto tem como objetivo desenvolver um sistema capaz de realizar o monitoramento do consumo de água e energia elétrica em uma residência. Através de sensores instalados na caixa d'água e em tomadas, os dados são medidos e enviados para um módulo central que possui conexão *Wi-Fi*. Os mesmos são processados e agregados em um banco de dados presente em um servidor na nuvem. Os dados são utilizados para elaborar relatórios de consumo e gráficos que são apresentados em uma página na internet, auxiliando o usuário a controlar seus gastos e evitar desperdícios, atendendo ao público geral. Ao final da implementação deste projeto, foi alcançado um conjunto composto por três placas distintas que juntas compõem o sistema de monitoramento, que se comprovou capaz de medir com precisão e transmitir esses dados. Com a análise dos dados obtidos, foi possível tomar consciência de que o consumo energético através de diversos dispositivos em uma residência pode ter um custo monetário significativo, muito além do que se imagina por serem aparelhos comuns do dia a dia, e também, em relação ao consumo de água ficou perceptível que é possível gastar um grande volume em pouco tempo caso não seja feito um uso consciente deste recurso.

Palavras-chave: Monitoramento. Sustentabilidade. Internet das Coisas. Água. Energia elétrica

ABSTRACT

The sustainable use of natural resources has been increasingly necessary due to their scarcity, since each year, consumption by population increases and its natural renovation decreases, due to climate changes caused by human activity. Due to this problem, new technologies have emerged to encourage and assist conscious consumption. The project aims to develop a system capable of monitoring water and electricity consumption in a home. Data are measured and sent to a central module with a Wi-Fi connection through sensors installed in the water tank and outlets. They are processed and aggregated in a database on a cloud server. The data are used to elaborate consumption reports and charts. It is presented on a website to help the user control their expenses and avoid waste, serving the general public. At the end of the implementation of this project, a set of three different boards that together make up the monitoring system was reached, which proved to be capable of accurately measuring and transmitting these data. With the analysis of the obtained data, it was possible to obtain consciousness that the energy consumption, through multiple devices in a household, may have a significant cost, beyond what is imagined, since they are common daily devices, and it was noticeable that is possible to have a high water consumption, if this resource is not used with responsibility.

Keywords: Monitoring. Sustainability. Internet of things. Water. Electricity

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Área ocupada por tipologia de massa d'água.	17
Figura 2 – Diferença percentual das vazões médias ocorridas em 2018.	18
Figura 3 – Demanda de água por finalidade.	19
Figura 4 – Evolução da retirada de água no Brasil.	20
Figura 5 – Evolução da Matriz Elétrica Brasileira.	21
Figura 6 – Tensão CC e CA	24
Figura 7 – Corrente elétrica	25
Figura 8 – Resistência elétrica	26
Figura 9 – Frequência Senoidal	28
Figura 10 – Efeito <i>Hall</i>	29
Figura 11 – Medidor ultrassônico de nível	30
Figura 12 – Sensor JSN-SR04	31
Figura 13 – Medidor de nível tipo boia magnética	31
Figura 14 – Sensor Boia	32
Figura 15 – Medição de fluxo com sensor hall	33
Figura 16 – Sensor YF-S201	33
Figura 17 – Reta Fluxo x Frequência YF-S201	34
Figura 18 – Módulo ZMPT101B	35
Figura 19 – Exemplo de aplicação sensor ACS712	35
Figura 20 – Curva característica ACS712ELCTR-20A-T	36
Figura 21 – Arquitetura de 3 camadas IoT	37
Figura 22 – STM32 Blue Pill	43
Figura 23 – Módulo ESP32	44
Figura 24 – NRF24I01 com antena	46
Figura 25 – Fonte módulo central	47
Figura 26 – Placa do módulo central roteada	48
Figura 27 – Visualização 3D e Placa Soldada	48
Figura 28 – Placa do sensor de Consumo de Água	49
Figura 29 – Visualização 3D e Placa Soldada	49
Figura 30 – Placa do sensor de Energia	50
Figura 31 – Visualização 3D e Placa Soldada	50
Figura 32 – Amostragem e Conversão Analógico-digital	51
Figura 33 – Medição de Frequência	52
Figura 34 – Amostragem em um ciclo de rede	53
Figura 35 – Rede de NRF24I01	54
Figura 36 – Demonstrando a serialização de uma mensagem	55

Figura 37 – Forma de onda de saída do módulo ZMPT101B	56
Figura 38 – Multímetro Minipa ET-1002	56
Figura 39 – Hioki 3283	57
Figura 40 – Sensor de fluxo e balde graduado	58
Figura 41 – Arquitetura do sistema aplicada no modelo de 3 camadas para IoT	59
Figura 42 – Modelo relacional do Banco de Dados	60
Figura 43 – Diagrama de funcionamento do <i>broker</i> MQTT	61
Figura 44 – Captura de tela do <i>dashboard</i>	62
Figura 45 – Consumo de energia	63
Figura 46 – Quadro de Preço da energia	64
Figura 47 – Média da tensão pelo tempo	65
Figura 48 – Figura (a) à esquerda, valor em reais estimado. Na Figura (b) à direita, consumo estimado em litros	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo entre os Sensores estudados	41
Tabela 2 – Comparativo entre as Comunicações estudadas	41
Tabela 3 – Leitura Tensão Elétrica - Multímetro x Módulo.	67
Tabela 4 – Leitura Corrente Elétrica - Multímetro x Módulo.	67
Tabela 5 – Tabela de custos para desenvolvimento	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACK	<i>Acknowledgement</i>
AC-DC	<i>Alternating current (AC) and Direct current (DC)</i>
ADC	<i>Analog-to-digital Converter</i>
ANA	<i>Agência Nacional de Águas</i>
AMQP	<i>Advanced Message Queuing Protocol</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
BLE	<i>Bluetooth low energy</i>
ANATEL	<i>Agência Nacional de Telecomunicações</i>
CA-CC	<i>Corrente Elétrica Contínua e Alternada</i>
COAP	<i>Constrained Application Protocol</i>
CRC	<i>Cyclic redundancy check</i>
DAC	<i>Digital-to-analog converter</i>
DHCP	<i>Dynamic Host Configuration Protocol</i>
ESB	<i>Enterprise Service Bus</i>
FSK	<i>Frequency Shift Keying</i>
FW	<i>Firmware</i>
GFSK	<i>Gaussian Frequency Shift Keying</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
HTML	<i>Hypertext Markup Language</i>
HW	<i>Hardware</i>
IDE	<i>Integrated development environment</i>
INMETRO	<i>Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia</i>
IoT	<i>Internet Of Things</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>

ISM	<i>Industrial Scientific and Medical</i>
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
ONG	<i>Organização Não Governamental</i>
ONU	<i>Organização das Nações Unidas</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RF	<i>Radio Frequency</i>
RMS	<i>Root mean Square</i>
SDIO	<i>Secure Digital Input Output</i>
SMD	<i>Surface mounting Device</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
SQL	<i>Structured Query Language</i>
SSL	<i>Secure Socket Layer</i>
SW	<i>Software</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TLS	<i>Transport Layer Security</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
URI	<i>Uniform Resource Identifier</i>
URL	<i>Uniform Resource Locator</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
VA	<i>Volt Ampère</i>
XML	<i>eXtensible Markup Language</i>
WPA	<i>Wi-Fi Protected Access</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	RECURSOS HÍDRICOS DISPONÍVEIS NO BRASIL E ESCASSEZ DE ÁGUA	16
1.2	CONSUMO MÉDIO E UTILIZAÇÃO DE ÁGUA NO BRASIL	19
1.3	MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA	20
1.4	INTERNET DAS COISAS E OS BENEFÍCIOS PARA A SOCIEDADE	21
1.5	OBJETIVOS	22
1.5.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
1.6	JUSTIFICATIVA	22
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO	23
2	REFERENCIAL TEÓRICO	24
2.1	GRANDEZAS ASSOCIADAS A ENERGIA ELÉTRICA	24
2.1.1	TENSÃO ELÉTRICA	24
2.1.2	CORRENTE ELÉTRICA	25
2.1.3	RESISTÊNCIA ELÉTRICA	25
2.1.4	POTÊNCIA ELÉTRICA	26
2.1.5	VALOR EFICAZ OU RMS	27
2.2	REDE ELÉTRICA BRASILEIRA	27
2.3	MEDIÇÃO E AQUISIÇÃO DE DADOS	28
2.3.1	EFEITO <i>HALL</i>	28
2.3.2	MEDIÇÃO DE ÁGUA	29
2.3.2.1	MEDIÇÃO DE NÍVEL	29
2.3.2.1.1	MEDIDOR ULTRASSÔNICO	29
2.3.2.1.2	MEDIDOR BOIA	30
2.3.2.2	MEDIÇÃO DE VAZÃO	32
2.3.3	MEDIÇÃO DE TENSÃO ELÉTRICA	34
2.3.3.1	TRANSFORMADOR DE TENSÃO	34
2.3.4	MEDIÇÃO DE CORRENTE ELÉTRICA	34
2.3.4.1	EFEITO <i>HALL</i>	35
2.4	SISTEMA MICROCONTROLADO	36
2.5	APLICAÇÃO	37
2.5.1	BANCO DE DADOS	38
2.5.1.1	POSTGRESQL	38
2.5.2	PROTOCOLOS DE MENSAGENS	38
2.5.2.1	MQTT	38
2.5.2.2	HTTP	39

2.5.3	PROTOCOLOS DE SERIALIZAÇÃO	39
2.5.3.1	PROTOBUF	39
2.5.3.2	JSON	40
2.5.4	TLS	40
3	DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA	41
3.1	DEFINIÇÃO DOS SENSORES UTILIZADOS	41
3.1.1	SENSOR DE VAZÃO	41
3.1.2	SENSOR DE TENSÃO ELÉTRICA	42
3.1.3	SENSOR DE CORRENTE ELÉTRICA	42
3.2	DEFINIÇÃO DOS MICROCONTROLADORES	42
3.2.1	MICROCONTROLADOR DOS MÓDULOS MEDIDORES	42
3.2.1.1	STM32F103	42
3.2.2	MICROCONTROLADOR DO MÓDULO CENTRAL	43
3.2.2.1	ESP32	43
3.3	DEFINIÇÃO DO MÉTODO DE COMUNICAÇÃO	44
3.3.1	NRF24L01	45
3.4	DESENVOLVIMENTO DO <i>HARDWARE</i>	45
3.4.1	<i>HUB</i> CENTRAL	46
3.4.2	SENSORES	47
3.4.2.1	SENSOR DE CONSUMO DE ÁGUA	48
3.4.2.2	SENSOR DE ENERGIA	49
3.5	IMPLEMENTAÇÃO DO <i>FIRMWARE</i>	50
3.5.1	AQUISIÇÃO DE DADOS NOS SENSORES	51
3.5.1.1	AMOSTRAGEM DE VOLUME	51
3.5.1.2	AMOSTRAGEM DE TENSÃO E CORRENTE	52
3.5.1.3	CÁLCULO DE VALORES RMS E POTÊNCIAS	53
3.5.2	TROCA DE DADOS VIA NRF24L01	54
3.5.3	PROTOBUF	55
3.6	AJUSTE DOS SENSORES	55
3.6.1	TENSÃO	55
3.6.2	CORRENTE	57
3.6.3	FLUXO	57
3.7	IMPLEMENTAÇÃO DO SERVIDOR	58
3.7.1	BANCO DE DADOS	58
3.7.2	APLICAÇÃO JAVASCRIPT	60
3.7.3	<i>BROKER</i> MQTT	61
3.7.4	GRAFANA	61
3.8	APRESENTAÇÃO DOS DADOS	62
3.8.1	PAINÉIS	62

3.8.2	GRÁFICOS	62
3.8.2.1	ENERGIA CONSUMIDA	63
3.8.2.2	GASTOS DE ENERGIA	64
3.8.2.3	TENSÃO, CORRENTE, POTÊNCIA E FLUXO DE ÁGUA	64
3.8.2.4	GASTOS DE ÁGUA	64
4	MÉTODOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	66
4.1	TESTES DE <i>HARDWARE</i>	66
4.2	TESTES DE MEDIÇÃO	66
4.2.1	TENSÃO	66
4.2.2	CORRENTE	67
4.2.3	FLUXO	67
4.3	TESTES DE COMUNICAÇÃO	68
4.4	ANÁLISE DE CUSTOS	68
5	CONCLUSÃO	69
5.1	TRABALHOS FUTUROS	70
	Referências	71
	Apêndices	75
	APÊNDICE A Esquemático do módulo Central	76
	APÊNDICE B Esquemático do Sensor de Energia	77
	APÊNDICE C Esquemático do Sensor de Consumo de Água	78
	Anexos	79
	ANEXO A Esquemático NRF24L01	80

1 INTRODUÇÃO

A utilização consciente dos recursos naturais é uma temática que tem se tornado cada vez mais relevante no mundo todo. Não apenas a utilização da água, mas também o uso consciente de energia elétrica são debates cada vez mais recorrentes quando o assunto é sustentabilidade. Sustentabilidade é a capacidade de cumprir com as necessidades do presente sem comprometer as necessidades das gerações futuras (DICIO, 2021). O conceito de sustentabilidade é composto por três pilares: econômico, ambiental e social.

- Social: Engloba as pessoas e suas condições de vida, como educação, saúde, violência, lazer, dentre outros aspectos;
- Ambiental: Refere-se aos recursos naturais do planeta e a forma como são utilizados pela sociedade, comunidades ou empresas;
- Econômico: Relacionado com a produção, distribuição e consumo de bens e serviços. A economia deve considerar a questão social e ambiental.

O consumo sustentável se tornou extremamente necessário sendo uma tendência que tem ganhado força. Por vários motivos, desde melhor visibilidade pela mídia até redução de gastos através de reutilização de recursos, quem investe em sustentabilidade, tem experimentado ganhos a longo prazo na manutenção e no investimento em novas tecnologias (AUGUSTIN, 2014). Além disso, se apresentado da maneira correta, ainda oferece um diferencial competitivo grande na disputa pela liderança de mercado. Com isso, este trabalho de conclusão de curso visa alcançar resultados tanto do ponto de vista social quanto econômico.

Os próximos tópicos fundamentam a viabilidade prática e econômica de um sistema de monitoramento de gastos residenciais, que é o tema deste trabalho de conclusão de curso, visando métodos de monitoramento e conscientização afim de poupar estes recursos, além de uma possível redução de despesas dos usuários.

1.1 RECURSOS HÍDRICOS DISPONÍVEIS NO BRASIL E ESCASSEZ DE ÁGUA

O Brasil, por ser um país de proporções continentais e localização ideal, lidera o *ranking* de disponibilidade de recursos hídricos, tanto na superfície quanto em aquíferos subterrâneos. Segundo a SAVEh, Sistema de Autoavaliação de Eficiência Hídrica, uma iniciativa da Ambev, 70% da superfície do planeta é coberta com água, porém, 97% dessa água é salgada, portanto imprópria para consumo. Menos de 3% é de água doce, onde 2,5% consistem das geleiras e dos 0,5% restantes a maior parte encontra-se presa em aquíferos subterrâneos, dificultando o acesso da população. (SAVEH, 2021)

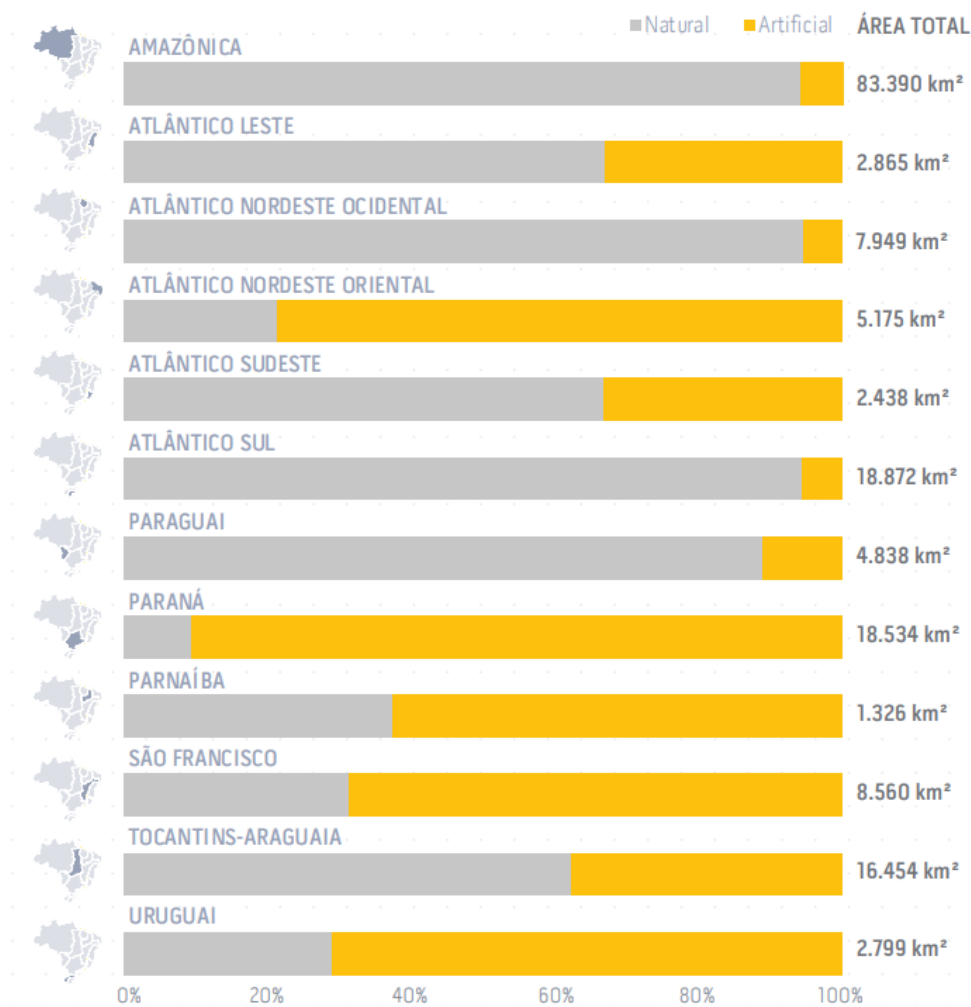
Com isso, apenas 0,04% de toda água do mundo é potável e de fácil acesso em rios, lagos, entre outros. Desse valor o Brasil possui 12% dos recursos hídricos mundiais, tendo um volume de água distribuído por habitante 19 vezes superior ao mínimo estabelecido pela

Organização Das Nações Unidas (ONU), ainda assim não é raro encontrar áreas do país passando por dificuldades com relação ao fornecimento de água.(SCHUTZ et al., 2020)

O planeta possui água em abundância, mas ela não está prontamente disponível, pois sua distribuição é desigual e, para assegurar o acesso à água de qualidade para todos, é necessário arcar com altos custos. Em consequência disto, estudos feitos pela ONU indicam que cerca de 10% das pessoas no mundo não têm acesso a uma quantidade mínima de água potável para consumo diário e grande parte do mundo já enfrenta problemas de escassez hídrica ou tem risco de enfrentar períodos de escassez. Com isso, torna-se ainda maior a responsabilidade do Brasil, em traçar maneiras para um uso consciente da água por parte de toda a população.

Levando em conta toda a área do território brasileiro ocupada com massas de água, tanto de origem natural (rios, lagos e mangues por exemplo) quanto de origem artificial (barragens e reservatórios por exemplo) a Figura 1 apresenta a proporção para cada Região Hidrográfica.

Figura 1 – Área ocupada por tipologia de massa d’água.



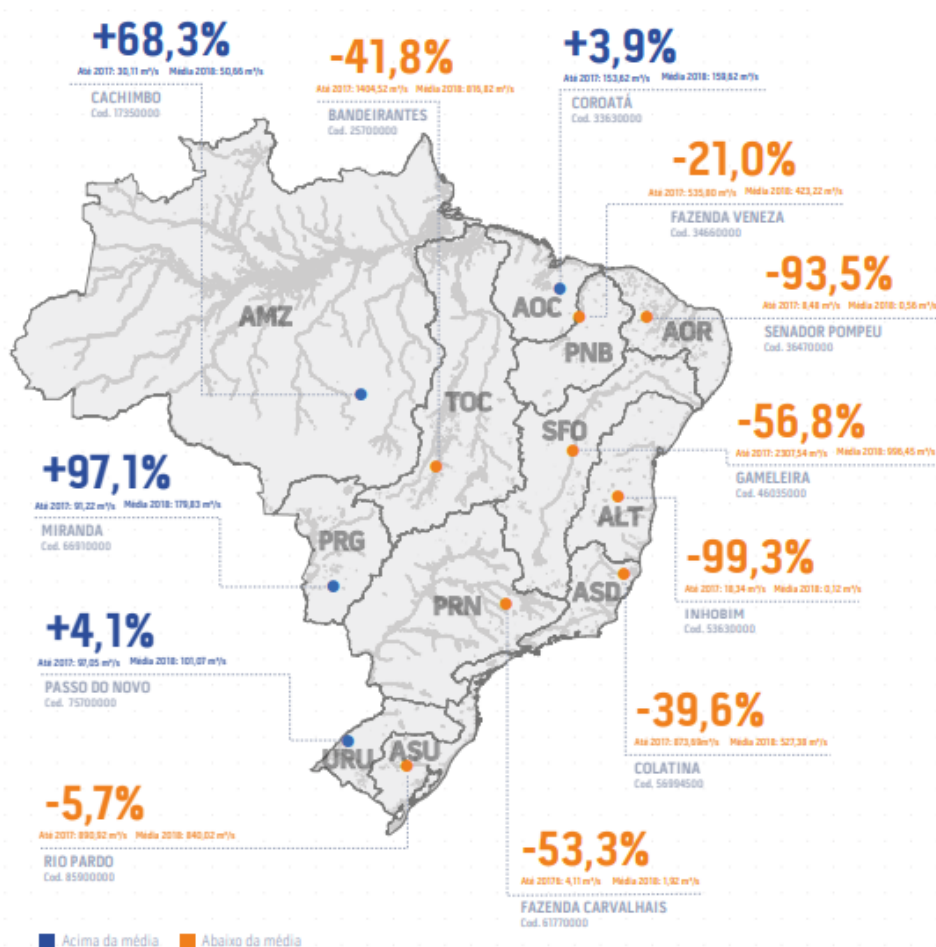
Fonte: (ANA, 2019)

O consumo crescente, principalmente para irrigação de grandes campos, poluição e degradação das reservas hídricas, a falta de infraestrutura básica e ações que intensificam

o aquecimento global levam a perdas consideráveis da disponibilidade de água no território nacional, além de mudanças climáticas que podem ser irreversíveis.

Com o passar dos anos, tornou-se mais evidente que a ação desenfreada do ser humano no meio ambiente, vem acarretando mudanças drásticas com relação ao clima brasileiro. No levantamento feito em 2019 pela Agencia Nacional de Águas (ANA), foi constatado que diversas regiões do Brasil apresentaram queda na quantidade de água disponível, a vazão média da região, em relação ao ano anterior como demonstrado na Figura 2. Um comportamento mais seco que o normal foi registrado em pontos da bacia Amazônica, com ocorrência em estados do Amazonas, Roraima, Rondônia, Pará e Mato Grosso. (ANA, 2019)

Figura 2 – Diferença percentual das vazões médias ocorridas em 2018.



Fonte: (ANA, 2019)

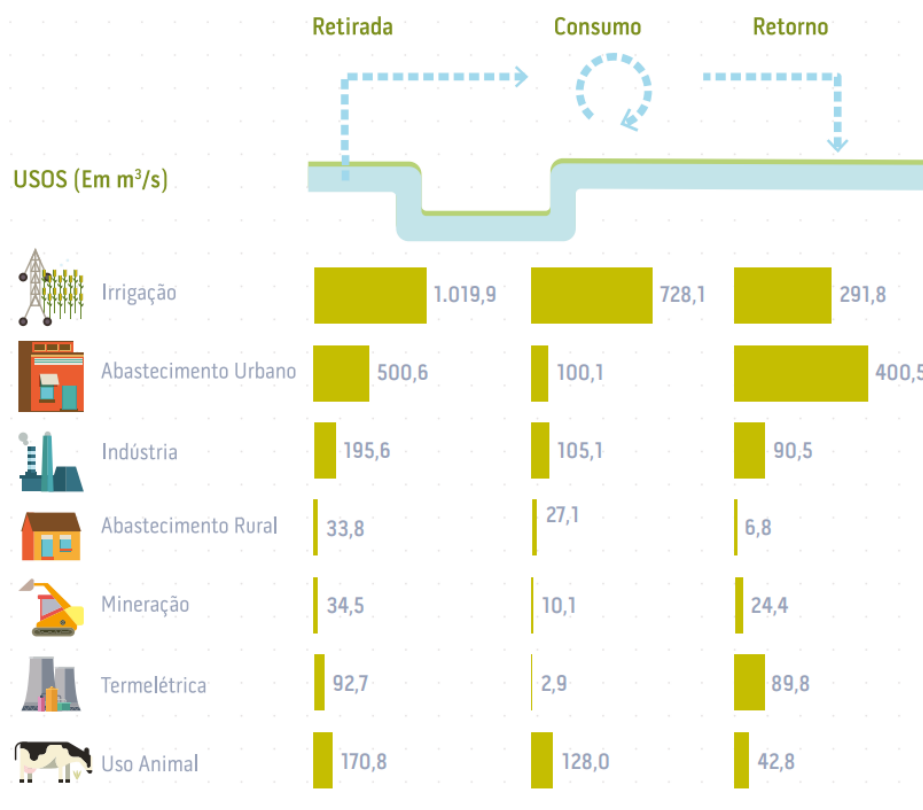
A bacia do rio Paraná é uma das doze regiões hidrográficas do território brasileiro e a mais industrializada e urbanizada do país. É a que tem a maior capacidade elétrica do Brasil com usinas como de Itaipu, Furnas e Porto Primavera. A região engloba os estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e o Distrito Federal. No ano de 2021 foi constatado pela ANA que a falta de chuvas na região hidrográfica do Paraná chegou a níveis críticos, afetando até mesmo a produção e fornecimento de energia elétrica, sendo

necessário ativar usinas termelétricas para suprir o consumo energético da população, energia esta que por ser gerada através da queima de carvão se torna muito mais cara e poluente.(ANA, 2021)

1.2 CONSUMO MÉDIO E UTILIZAÇÃO DE ÁGUA NO BRASIL

Conforme demonstrado na Figura 3, no Brasil o principal uso da água é a irrigação dos grandes campos agrícolas, seguido do abastecimento dos centros urbanos e em terceiro lugar o abastecimento das industrias. As parcelas de uso da água são classificadas em retirada, consumo e retorno. A água retirada refere-se ao total de água captada para um determinado uso, como abastecimento das industrias por exemplo. O consumo refere-se a água que foi captada e não irá retornar diretamente aos corpos hídricos e por fim o retorno classifica a água que foi captada e irá retornar para as estações de tratamento. Para a matriz hídrica brasileira tem-se os seguintes dados fornecidos pela ANA (2019):

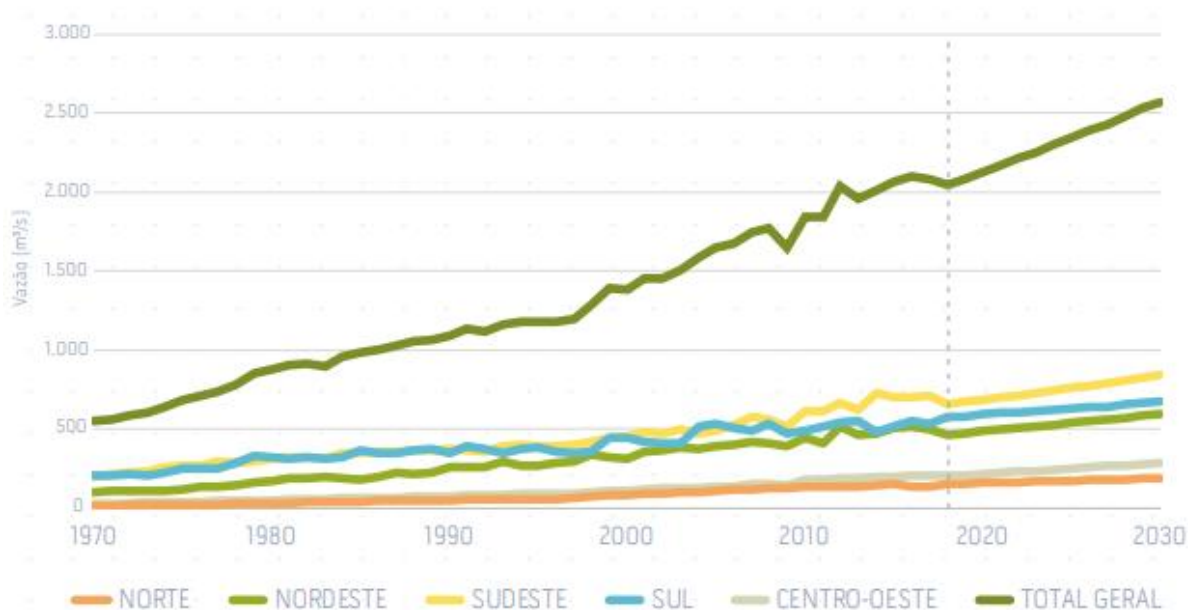
Figura 3 – Demanda de água por finalidade.



Fonte: (ANA, 2019)

A Figura 4 exibe a demanda crescente por uso de água no Brasil, analisando os últimos 20 anos, houve um crescimento de 80% no consumo de água no país, segundo a ANA (2019) estima-se que até 2030 a retirada de água das fontes naturais aumente mais 26%, contribuindo ainda mais para o estresse hídrico ao longo dos anos.

Figura 4 – Evolução da retirada de água no Brasil.



Fonte: (ANA, 2019)

Ainda que o maior consumo de água potável registrado no Brasil seja por parte da irrigação de grandes campos, é necessário que a população dos centros urbanos tome todas as medidas cabíveis para favorecer na economia deste recurso, como por exemplo, utilizar água da chuva ou reaproveitar a água da máquina de lavar para tarefas de limpeza, banhos mais curtos, desligar a torneira ao escovar os dentes, entre outras ações simples que podem resultar em uma grande economia por parte da sociedade. Dessa forma, o uso da tecnologia e maneiras inteligentes para gestão e monitoramento do consumo de água em residências deve ser levado em conta, visando a minimização dos desperdícios em todos os segmentos da economia.

1.3 MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

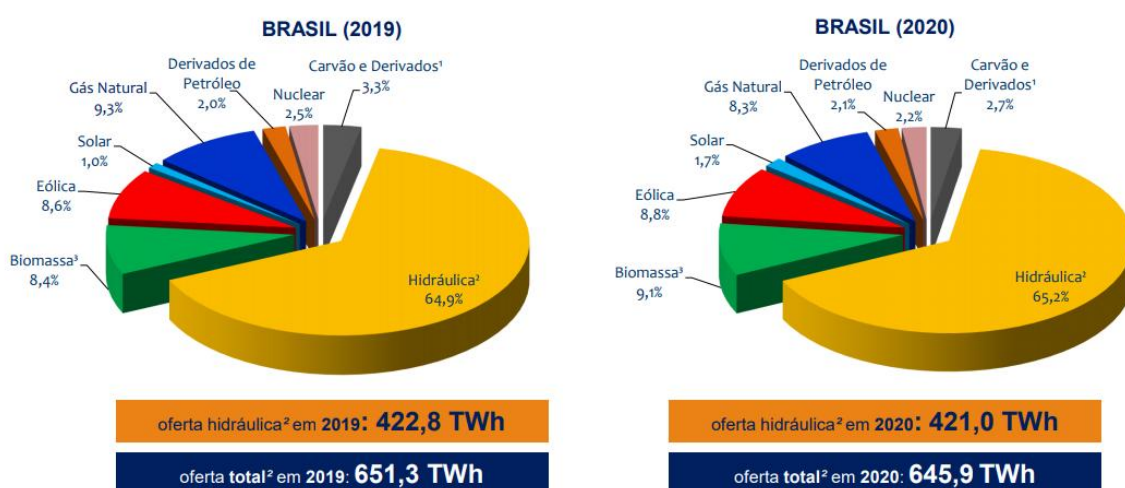
Diferentemente de matriz energética, que consiste da união de todas as fontes utilizadas para consumir energia incluindo combustível para automóveis por exemplo, a matriz elétrica consiste de um conjunto de fontes de energia utilizadas para a geração de eletricidade, que podem ser classificadas como renováveis e não renováveis. Fontes não renováveis são aquelas que utilizam recursos naturais que são esgotáveis ou que levam muito tempo para se regenerar, como petróleo, carvão e gás natural. Já as fontes renováveis são aquelas que podem ser regeneradas em pouco tempo de forma cíclica, como energia solar, eólica e hidrelétrica.

O Brasil possui uma posição de destaque quando se trata de matriz elétrica sustentável, sendo a matriz elétrica mais renovável do mundo, segundo dados da Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético do Ministério de Minas e Energia (2020) o Brasil possui cerca de 83% de sua matriz elétrica completamente renovável, sendo predominantemente composta

por energia hidrelétrica e de biomassa. A Figura 5 apresenta a matriz elétrica brasileira nos anos de 2019 e 2020.

A geração de eletricidade no Brasil a partir do serviço público e de auto-produtores atingiu um total de 645,9TWh em 2020, resultado pouco inferior ao registrado em 2019, ainda assim, em relação à geração elétrica através das hidrelétricas foi registrado um aumento de 0,3%, o que indica que além de ser a principal fonte de energia elétrica brasileira é a que possui maior capacidade instalada no país, ou seja, dificilmente apresenta quedas de produção. A Usina Hidrelétrica de Itaipu mostra-se a maior geradora da matriz elétrica brasileira, apresentado quedas de produção apenas em períodos de grande escassez de água, como vista no ano de 2021. (ANA, 2021)

Figura 5 – Evolução da Matriz Elétrica Brasileira.



¹ Inclui gás de coque, gás de alto forno, gás de aciaria e alcatrão

² Inclui importação

³ Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia, biodiesel e outras fontes primárias.

Fonte: (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2021)

1.4 INTERNET DAS COISAS E OS BENEFÍCIOS PARA A SOCIEDADE

IoT (*Internet of Things* ou Internet das Coisas) se refere à revolução tecnológica que todo o mundo vem passando, onde todos os itens utilizados no dia a dia estão conectados à rede mundial de computadores. Incluindo desde eletrodomésticos comuns da casa dos brasileiros, como televisões, geladeiras, máquinas de lavar até mesmo itens mais inusitados como tênis inteligentes, com o foco em trazer novas facilidades, recursos e maneiras diferentes de interagir com os dispositivos utilizados durante o cotidiano.

Essa interatividade e acesso aos dispositivos de maneira mais rápida e em qualquer lugar, proporciona aos usuários agilidade para a prática de certas ações e para as empresas e

idades a capacidade de gerar uma grande quantidade de informação através de *Big data*¹. Feita de maneira muito mais fácil, essa coleta de informação é capaz de gerar valor, e contribuir para o desenvolvimento de soluções mais inteligentes para tornar as cidades mais conectadas e empresas mais eficientes.

1.5 OBJETIVOS

Desenvolver um sistema capaz de monitorar o consumo de água e energia elétrica em uma residência, através de sensores instalados na entrada ou saída da caixa de água da residência e também sensores instalados na tomadas, capazes de se comunicar de maneira sem fio com um módulo central que fará a comunicação com o servidor. Enviar os dados adquiridos para a nuvem. Apresentar os dados adquiridos e elaborar relatórios de consumo e gráficos em um aplicativo para auxiliar o usuário a controlar seu consumo e evitar desperdícios.

1.5.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver um módulo com sensor de tensão e corrente para realizar a medição do consumo de energia elétrica em tomadas de até 20 A;
- Desenvolver um módulo com sensor de fluxo para realizar a leitura de vazão hídrica na tubulação da caixa de água, podendo ser na entrada ou saída de água;
- Desenvolver um módulo central que concentrará os dados recebidos dos módulos de medição e será responsável em enviá-los para o servidor;
- Estabelecer a comunicação entre os dispositivos utilizando Rádio Frequência;
- Testar o alcance da rede projetada;
- Analisar os dados recebidos no servidor;
- Exibir gráficos e relatórios de consumo geral e individual.

1.6 JUSTIFICATIVA

Nos últimos anos tem-se vivenciado grandes mudanças climáticas acarretadas pelo descaso com a preservação ambiental e a falta de conscientização da população de forma geral. Essas mudanças trazem ameaças diretas ao fornecimento de energia e água para toda a população. Dessa forma torna-se cada vez mais importante para o bem estar o uso consciente desses recursos durante o dia-a-dia. (CAPOBIANCO, 2021)

A falta de chuvas ocasionada por tais mudanças climáticas, obriga o governo a suprir a matriz energética do país com o acionamento de fontes alternativas de energia, em sua maioria mais caras e mais poluentes, como usinas termoelétricas. O mesmo vale para o consumo de água

¹Big data é um conjunto de dados maior e mais complexo do que bancos de dados tradicionais, que unifica diversas fontes e tipos de dados. Esses conjuntos de dados são tão volumosos que um software tradicional de processamento de dados simplesmente não consegue gerenciá-los. No entanto, este grande conjunto de informações pode ser utilizado para resolver problemas e encontrar novas soluções de maneira muito mais rápida e assertiva (ORACLE, 2021)

potável, a escassez obriga os órgãos governamentais a aumentar a reutilização e reciclagem de água, esses tratamentos se tornam cada vez mais caros e menos efetivos conforme vai ocorrendo a saturação dos recursos hídricos. Assim, o custo do kWh e m^3 de água aumenta para os cofres públicos, sendo necessário repassar o valor para a população através de um aumento das tarifas de luz e água, como uma forma de incentivo ao racionamento desses recursos. (HERÉDIA, 2021)

Visando o bem de toda a população, é imprescindível que todos façam sua parte na economia desses recursos finitos, portanto, ao desenvolver esse trabalho buscou-se uma maneira visual, intuitiva e prática de auxiliar o usuário a visualizar seus gastos com água e luz.

Além da possibilidade de visualizar o consumo dos recursos, ainda é fornecido o gasto estimado com água ou energia elétrica. Desta forma, torna-se uma ferramenta ideal para o usuário que deseja ter sua economia residencial mais controlada e proporciona formas de conscientização dos usuários para reduzir seu uso de água e luz, com dicas fornecidas na própria aplicação e gráficos de consumo. Com o monitoramento constante do consumo de água da residência se torna mais fácil detectar também possíveis vazamentos da tubulação, contribuindo assim com a manutenção do domicílio.

O desenvolvimento deste projeto buscou atingir uma solução que fornecesse o melhor custo benefício possível para o usuário final, entregando uma leitura precisa e de alta confiabilidade com um custo de produção e desenvolvimento inferior aos produtos semelhantes já disponíveis no mercado. Visou-se também criar uma maneira de unificar diversos sensores, de diferentes tipos em uma rede inteligentes de dispositivos, acessíveis via nuvem. Onde a arquitetura de rede proposta, pode ser utilizada em outras aplicações.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho possui uma organização em cinco capítulos, incluindo a introdução. A seguir, apresenta-se uma breve explicação de cada capítulo, bem como algumas particularidades que serão tratadas de acordo com cada capítulo.

No segundo capítulo é realizada uma fundamentação teórica e apresentados os conceitos técnicos utilizados na construção deste projeto. Este capítulo é importante para a definição das grandezas estudadas e dos métodos de medição que poderiam ser utilizados. É neste capítulo também, que são apresentados os diferentes tipos de sensores no mercado.

No terceiro capítulo são apresentados os detalhes da arquitetura e desenvolvimento do sistema como um todo. Ferramentas utilizadas, testes realizados, detalhes referentes à escolha de determinados componentes e tecnologias implementadas, também são demonstrados os custos para desenvolvimento do projeto e devidas integrações realizadas e explicações das escolhas tomadas.

Por fim no capítulo quatro tem-se uma análise e discussão dos resultados obtidos ao decorrer do desenvolvimento projeto e finalizando com uma conclusão de todo o trabalho no quinto capítulo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta os principais conceitos que norteiam este projeto. Serão abordados assuntos referentes às grandezas envolvidas na medição de energia elétrica e consumo de água, às tecnologias de aferição mais utilizadas no mercado, bem como à comunicação RF, *softwares* e *hardwares* utilizados.

2.1 GRANDEZAS ASSOCIADAS A ENERGIA ELÉTRICA

Para uma compreensão completa dos métodos de medição utilizados neste trabalho, é necessário assimilar quais são as grandezas físicas envolvidas neste processo e como elas são correlacionadas através da eletricidade.

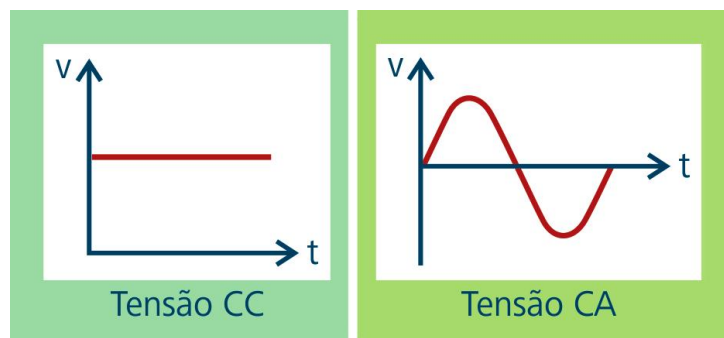
A origem da eletricidade se deu na Grécia antiga quando o filósofo Tales de Mileto, no século VI a.C., observou pela primeira vez as características atrativas de um material chamado âmbar (espécie de resina vegetal). Ele realizou o seguinte experimento: de posse de um pedaço de âmbar, atritou-o em um tecido feito de lã, depois aproximou o âmbar de pequenos pedaços de pena animal e viu que esses foram atraídos para perto do âmbar. O termo âmbar em grego é: *elektron*. Por isso vêm os termos eletricidade e elétron. (LIMA, 2017)

2.1.1 TENSÃO ELÉTRICA

Tensão elétrica é a força que impulsiona os elétrons através de um condutor, realizando trabalho. Sua unidade é o Volt(V), que é definido como a diferença de potencial (ddp) entre dois pontos, necessária para realizar um trabalho. (SILVA, 2015, p. 25)

A tensão é originada em função do campo elétrico, e deste modo, pode-se separar em tensão contínua (CC), cuja origem é um campo elétrico constante, e tensão alternada (CA), cuja origem é um campo elétrico variante no tempo, invertendo seu sentido periodicamente, conforme mostra a Figura 6.

Figura 6 – Tensão CC e CA



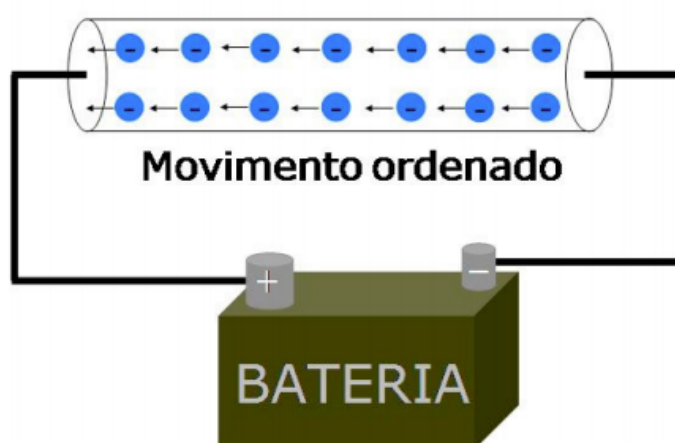
Fonte: (SILVA, 2015)

2.1.2 CORRENTE ELÉTRICA

O deslocamento de cargas elétricas para uma determinada direção e sentido é o que se chama de corrente elétrica. A corrente elétrica origina-se por meio de uma tensão elétrica aplicada entre dois pontos distintos no espaço. (LEMES, 2015, p. 7). Em outras palavras, corrente elétrica é a quantidade de carga elétrica que atravessa a seção transversal de um condutor em um intervalo de um segundo.

A Figura 7 ilustra a corrente elétrica gerada por uma bateria com seus pólos interconectados, demonstrando a movimentação dos elétrons do polo negativo para o positivo, o que caracteriza o sentido real da corrente. Para a análise de corrente normalmente utiliza-se o sentido convencional, que corresponde ao sentido do polo positivo para o polo negativo.

Figura 7 – Corrente elétrica



Fonte: (LEMES, 2015)

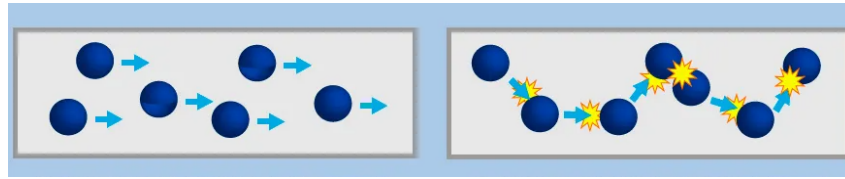
Da mesma forma que a tensão, a corrente elétrica pode ser CC ou CA. A corrente CC é produzida por uma tensão contínua, cujos elétrons se deslocam num único sentido, enquanto a corrente CA é produzida por uma tensão alternada, cujos elétrons têm deslocamento bidirecional, acompanhando a variação de polaridade da tensão. (SILVA, 2015, p. 27)

2.1.3 RESISTÊNCIA ELÉTRICA

Quando há circulação de corrente por um material condutor através da aplicação de uma diferença de potencial, pode-se observar que, para um mesmo valor de tensão aplicada em condutores de diversos materiais, a corrente possuirá valores diferentes. Isto ocorrerá devido às características intrínsecas de cada material. (GIACOMIN, 2002, p. 3)

Este comportamento da corrente deve-se à resistência elétrica, que depende do tipo de material do condutor, comprimento, área da seção transversal e da temperatura. Esta resistência atua como uma dificuldade à circulação de corrente elétrica. A Figura 8 ilustra a passagem dos elétrons em dois condutores. A esquerda um com baixa resistência e a direita um com maior resistência.

Figura 8 – Resistência elétrica



Fonte: (MONTAJES, 2021)

2.1.4 POTÊNCIA ELÉTRICA

De acordo com Alexander e Sadiku (2013), potência é a velocidade com que se consome energia, tendo por sua unidade padrão, o Watt (W) no sistema internacional de unidades(SI), e expresso por (1):

$$P = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d\omega}{dq} \frac{dq}{dt} = v.i, \quad (1)$$

onde ω é a energia em Joules (J), t é o tempo em segundos (s), i é a corrente em Amperes (A), v é a tensão em Volts (V) e q é a carga em Coulombs (C). Portanto,

$$P = v.i. \quad (2)$$

A potência de (1) é variável com o tempo e denominada de potência instantânea. Portanto, a potência absorvida ou fornecida por um elemento será o produto de sua tensão pela corrente que circula pelo mesmo. Caso a potência tenha um sinal positivo, a mesma está sendo absorvida pelo elemento ou fornecida a ele; em contrapartida, se a potência possuir um sinal negativo, a mesma está sendo fornecida pelo elemento. (ALEXANDER; SADIKU, 2013)

Considerando a potência instantânea absorvida por elementos de um circuito de excitação senoidal, tem-se definidos em (3) e (4), respectivamente:

$$v(t) = V_m \cos(\omega t + \theta_v), \quad (3)$$

$$i(t) = I_m \cos(\omega t + \theta_i), \quad (4)$$

onde V_m e I_m são as amplitudes, ou valores de pico, respectivamente, e θ_v e θ_i são os ângulos de fase de tensão e corrente, respectivamente. Então em (5),

$$p(t) = \frac{1}{2} V_m I_m \cos(\theta_v - \theta_i) + \frac{1}{2} V_m I_m \cos(2\omega t + \theta_v + \theta_i). \quad (5)$$

Conclui-se que a potência instantânea é formada por duas parcelas, na qual a primeira parcela é independente do tempo, tendo seu valor dependente da diferença de fase entre a tensão e a corrente, sendo também chamada de Potência Média (P); e a segunda parte é uma função senoidal com frequência 2ω variante no tempo (ALEXANDER; SADIKU, 2013).

2.1.5 VALOR EFICAZ OU RMS

A tensão e a corrente alternada são grandezas que variam ao longo do tempo e possuem uma forma de onda senoidal. Para realizar medições corretas dessas grandezas, é necessário calcular o seu valor eficaz ou *Root Mean Square* (RMS) que equivale ao valor caso estas medidas fossem realizadas em Corrente Contínua (CC). (NAKASHIMA, 2007)

Partindo do princípio de encontrar a corrente eficaz I_{ef} que transferirá a mesma potência que uma senoide $i(t)$, define-se a potência média absorvida pela carga no circuito CA como:

$$P = \frac{R}{T} \int_0^T i^2 dt, \quad (6)$$

e a potência absorvida no circuito CC como:

$$P = I_{ef}^2 R. \quad (7)$$

Igualando as expressões de (6) e (7), e determinando I_{ef} , obtém-se (8):

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}. \quad (8)$$

O valor eficaz da tensão é encontrado da mesma maneira, ou seja:

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2 dt}. \quad (9)$$

Assim, como em (9), o valor eficaz é a raiz quadrada da média do quadrado do sinal periódico. Por esse motivo, o valor eficaz é conhecido como raiz do valor médio quadrático (*root mean square*) ou de forma simplificada, RMS. (ALEXANDER; SADIKU, 2013)

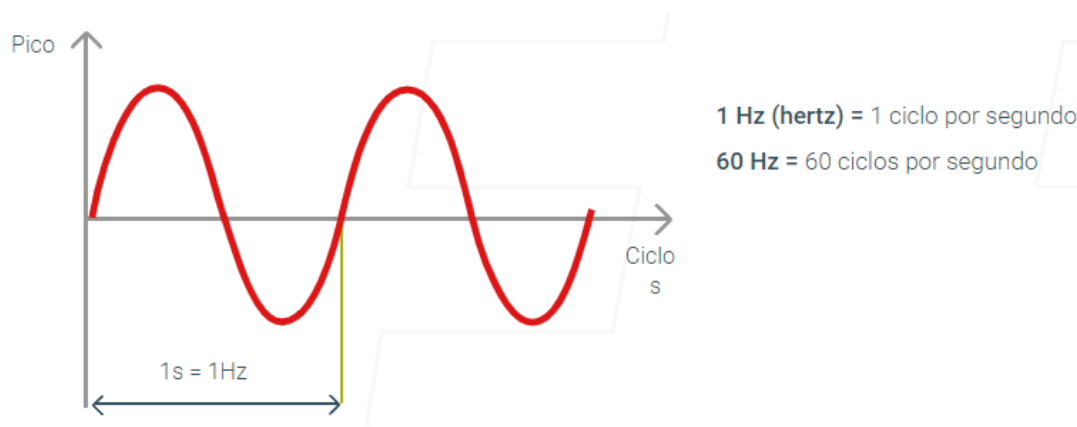
2.2 REDE ELÉTRICA BRASILEIRA

Durante o período de popularização da energia elétrica, o mundo ficou dividido entre duas formas de transmitir e distribuir energia: Por meio de corrente alternada (CA) ou corrente contínua (CC). O motivo pelo qual a corrente alternada foi adotada para transmissão de energia elétrica a longas distâncias deve-se à facilidade de elevação ou diminuição do valor de sua tensão alternada por intermédio de transformadores. (LIMA; CLEMENTE, 2019)

Quando se eleva a tensão, a corrente diminui. Portanto, as perdas elétricas por efeito Joule ao longo de uma linha de transmissão, também diminuem. Além do mais, como a corrente é menor, condutores de bitola menores podem ser usados, tornando o investimento na infraestrutura da rede de transmissão também menor. (SEGUNDO; RODRIGUES, 2015, p. 40) No Brasil,

atualmente, a frequência padronizada é 60Hz. Isso é equivalente a dizer que a forma de onda do sinal de tensão, para cada segundo, tem 60 ciclos de uma função seno (senoide) ou cosseno, resultando em um ciclo a cada 16,66ms. Em outros países, como Argentina e Paraguai, no Mercosul, é adotado 50Hz. A Figura 9 demonstra a relação entre tempo e frequência em uma onda senoidal.

Figura 9 – Frequência Senoidal



Fonte: (UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS, 2015)

2.3 MEDIÇÃO E AQUISIÇÃO DE DADOS

Existe uma ampla gama de sensores disponíveis no mercado, que utilizam as mais variadas técnicas de medição, cada um com suas respectivas vantagens e desvantagens. Esta seção apresentará algumas tecnologias estudadas para a tomada de decisão de quais tipos de sensores utilizar no desenvolvimento deste trabalho.

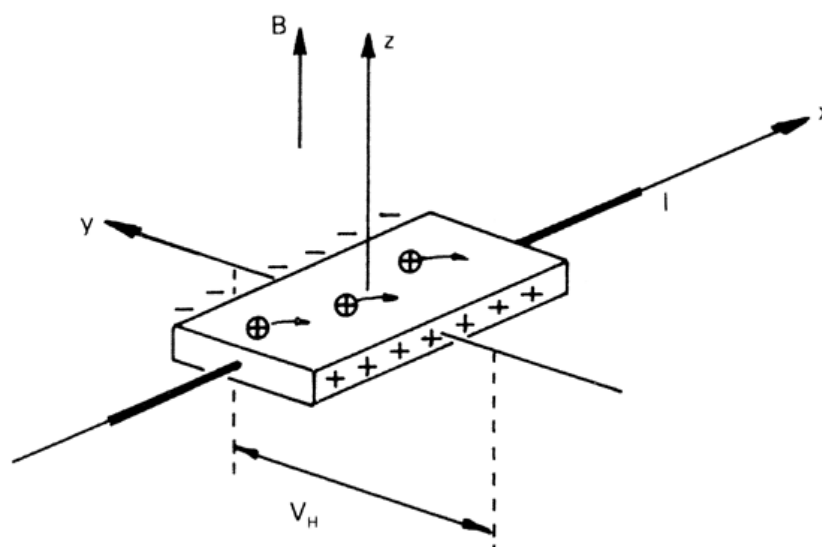
2.3.1 EFEITO HALL

Descoberto em 1879 por Edwin Herbert Hall, o efeito *Hall* é o fenômeno que ocorre ao aplicar corrente a uma placa fina de um material condutor e perpendicular à direção desta corrente um campo magnético, resultando no surgimento de uma diferença de potencial perpendicular tanto a corrente aplicada como ao campo magnético. (ANTUNES, 2012)

O efeito *Hall* pode ser usado para determinar a densidade dos portadores de carga, a Figura 10 ilustra este fenômeno.

Uma corrente I flui na direção positiva de x . É aplicado um campo magnético na direção positiva z , que deflete os portadores de carga positiva na direção negativa de y e os portadores de carga negativa na direção positiva de y , gerando assim um potencial de Hall e uma resistência de *Hall* na direção de y .

Figura 10 – Efeito Hall



Fonte: (BERTULANI, 2005)

Diversos dispositivos utilizam sensores baseados no efeito *Hall*. Alguns sensores baseados no efeito *Hall* foram analisados para a utilização neste trabalho, como será descrito nos próximos tópicos.

2.3.2 MEDIÇÃO DE ÁGUA

Buscando soluções para aplicação residencial, dois tipos de medição de consumo de água foram avaliados: medição de nível, onde o sensor é posicionado dentro da caixa d'água de forma não invasiva, e medição de fluxo, onde o sensor é posicionado no cano de entrada ou no cano de saída da caixa d'água, sendo um método invasivo.

2.3.2.1 MEDIÇÃO DE NÍVEL

A medição de nível pode ser utilizada para determinar o quão cheio, ou o quão vazio, um determinado recipiente está. Para isso é necessário que as dimensões sejam conhecidas. Dois tipos de medidores de nível foram avaliados: o medidor Ultrassônico e medidor tipo boia.

2.3.2.1.1 MEDIDOR ULTRASSÔNICO

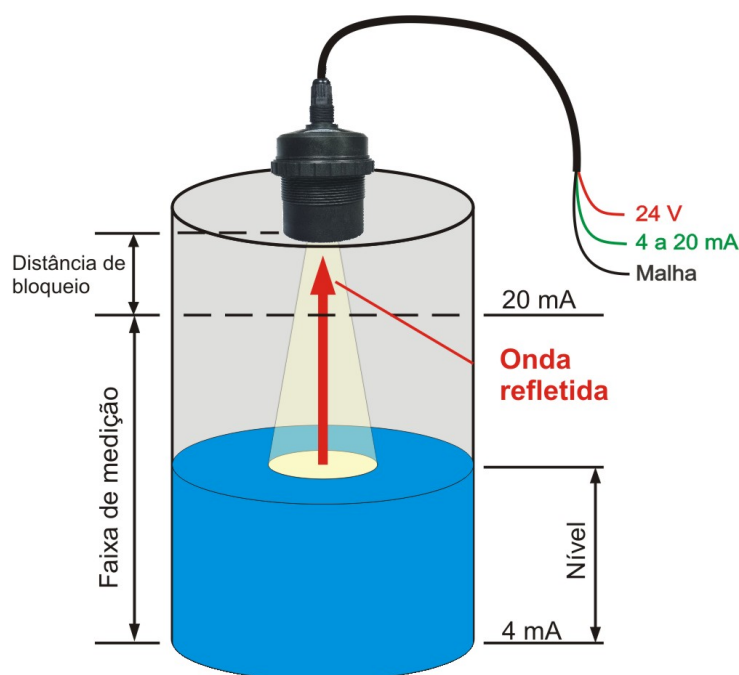
Um sensor ultrassônico é um instrumento que mede a distância até um objeto usando ondas sonoras ultrassônicas, que podem ser utilizadas para medir o nível de líquidos e sólidos sem a necessidade de contato com o produto medido. (BURNETT, 2020)

O ultrassom aplicado na medição de nível normalmente está na faixa de 40 kHz a 200 kHz. O ultrassom detecta objetos pelo mesmo princípio do radar, ou seja, pulsos ultrassônicos são emitidos na direção do objeto e a distância é calculada pelo tempo que o som leva para ser

refletido de volta. O nível é calculado com base no tempo medido entre a emissão do pulso e a recepção da onda refletida. (ALFACOMP, 2020)

No exemplo da Figura 11, um sensor ultrassônico de nível é fixado no topo de um tanque parcialmente cheio de líquido. O nível de referência para as medições é o fundo do tanque. O nível medido será o da superfície do líquido que está a uma distância do sensor ultrassônico. Como a velocidade da onda é conhecida, a distância é calculada em função do tempo que leva para a onda emitida retornar ao sensor.

Figura 11 – Medidor ultrassônico de nível



Fonte: (ALFACOMP, 2020)

O transmissor de nível ultrassônico oferece vantagem de não possuir partes móveis e poder medir o nível sem fazer contato físico com o objeto. Essa característica é útil para medir níveis em tanques com produtos químicos corrosivos, perigosos e em alta temperatura. Porém não é tão conveniente se a profundidade do tanque for alta ou se o eco for absorvido ou disperso. O objeto não deve ser do tipo absorvente de som. Também não é adequado para tanques com muita fumaça ou umidade de alta densidade.

O sensor avaliado neste tipo de medição foi o JSN-SR04T, que possui boa precisão de 25 cm a aproximadamente 1,5 metros, resistência à umidade, permitindo manter ampla distância do microcontrolador já que possui fio com 2,5 metros de comprimento.

2.3.2.1.2 MEDIDOR BOIA

Existem diversos tipos de medidores de nível tipo boia como: Boia magnética, haste vertical, hidrostático, etc. Devido ao custo inferior e a disponibilidade de mercado, o sensor avaliado foi do tipo boia magnética.

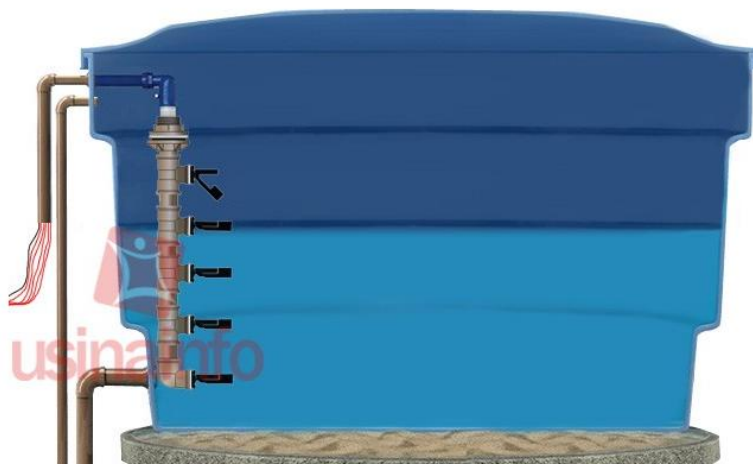
Figura 12 – Sensor JSN-SR04



Fonte: (EASYTRONICS, 2021)

Ele funciona como uma chave magnética, normalmente aberta ou normalmente fechada que altera a sua saída quando a boia horizontal é elevada. Pode ser utilizado para monitorar níveis de aquários, caixas d'água, tanques com peixes, entre outros. A Figura 13 ilustra uma caixa d'água com cinco medidores tipo boia magnética.

Figura 13 – Medidor de nível tipo boia magnética



Fonte: (USINAINFO, 2021b)

A medição captada por um microcontrolador ligado aos sensores varia conforme o número de sensores utilizados para a medição de nível do recipiente. Neste exemplo, cinco sensores foram utilizados, resultando numa variação em degraus de 20% da capacidade do recipiente.

Este sensor oferece a vantagem de uma medição precisa, sem sensibilidade à espuma ou viscosidade, por um preço acessível. Porém é sensível a ondulações na superfície do líquido, sendo necessário mais de um sensor para detectar diferentes níveis, além de não ser adequado para produtos corrosivos. Para o monitoramento de vazão, é necessário conhecer previamente as dimensões do recipiente para calcular o fluxo em função da diferença de nível, tornando particular cada aplicação.

O sensor avaliado neste tipo de medição foi o sensor chave tipo boia, de fácil instalação que possui saída *on-off* (14).

Figura 14 – Sensor Boia



Fonte: (USINAINFO, 2021b)

2.3.2.2 MEDIÇÃO DE VAZÃO

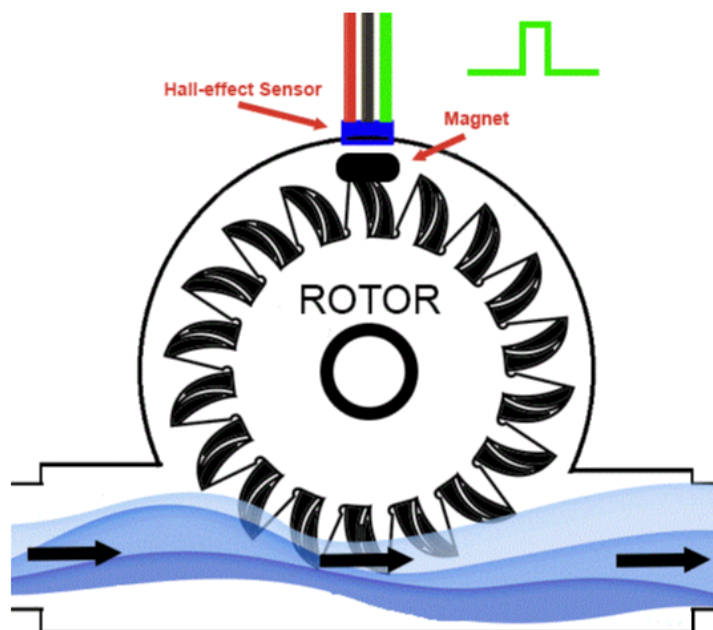
Vazão é a quantidade volumétrica ou gravimétrica de determinado fluido que passa por uma determinada seção de um conduto que pode ser livre ou forçado por uma unidade de tempo, ou seja, é a rapidez com a qual um fluido escoar. (ALMEIDA, 2017)

Sensores de fluxo são uma ótima opção para monitoramento contínuo de consumo. Existem vários tipos disponíveis no mercado, como: Medidores *Coriolis*, multifásicos, ultrassônicos, *vortex*, entre outros. O medidor estudado nesta categoria foi o que utiliza o efeito *Hall* com rotor, pois oferece precisão de medição, baixo custo e ampla disponibilidade no mercado.

Este sensor é constituído por um corpo de plástico, um rotor com uma turbina com pás magnéticas e um sensor de efeito *Hall*. A Figura 15 mostra um exemplo deste sensor.

Quando há fluxo de água no rotor, as pás da turbina irão rotacionar, e cada vez que uma turbina passa pelo sensor de efeito *Hall*, há uma interação entre os campos magnéticos. A cada interação, o sensor gera um pulso, portanto quanto mais água fluir através do rotor, maior a frequência de pulsos. Sendo assim, é feita a relação entre os pulsos e a vazão de água no cano. (SILVA, 2018, p. 30)

Figura 15 – Medição de fluxo com sensor hall



Fonte: (TEACHMEMICRO, 2019)

A desvantagem deste tipo de medição é o método invasivo, pois é necessário inserir o sensor em algum ponto do fluxo de água.

O sensor avaliado neste tipo de medição foi o YF-S201, ilustrado pela Figura 16.

Figura 16 – Sensor YF-S201

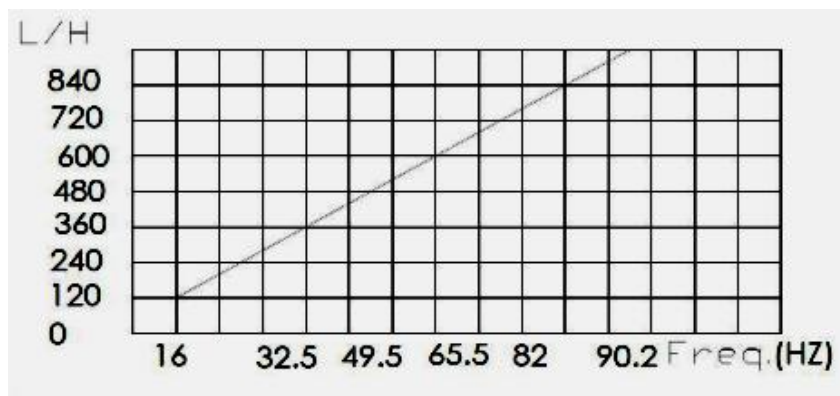


Fonte: (BAÚ DA ELETRÔNICA, 2021b)

Esse sensor suporta uma vazão de 100-1800 l/h e uma pressão de até 1.75 MPa, com uma tensão de trabalho de 4,5 V e uma corrente máxima de trabalho de 15 mA. A relação entre

a frequência de saída e o fluxo instantâneo é dada pela Figura 17, presente no datasheet do YF-S201:

Figura 17 – Reta Fluxo x Frequência YF-S201



Fonte: (HOBBYTRONICS, 2021)

2.3.3 MEDIÇÃO DE TENSÃO ELÉTRICA

Um sensor de tensão pode determinar, monitorar e medir o fornecimento de tensão. Além disso, pode medir o nível CA ou nível de tensão CC. A entrada para o sensor é a própria tensão e a saída pode ser um sinal analógico de tensão, interruptor, nível de corrente analógica, frequência ou até mesmo saída modulada por frequência.

2.3.3.1 TRANSFORMADOR DE TENSÃO

O sensor analisado para medir tensão foi o ZMPT101b. Possui tensão de operação de 0 a 1000V. Através do arranjo de resistores de entrada e saída, é possível ajustar a limitação de corrente de saída, que é diretamente proporcional à faixa de tensão convertida.(ETC2, 2014)

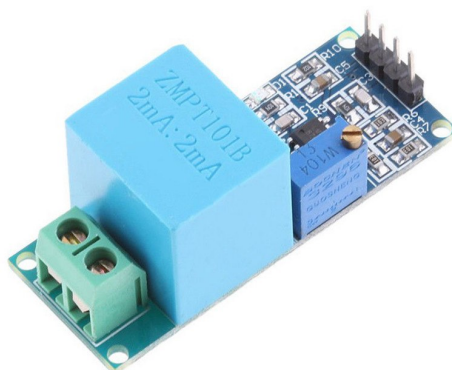
O ZMPT101b (Figura 18) pode ser encontrado em um módulo, que além de utilizar este transformador, também é composto por componentes SMD (do inglês, *Surface Mounting Device*, como um amplificador operacional, potenciômetro de precisão, capacitores e resistores, que convertem a tensão de corrente alternada para corrente contínua. Essa tensão de saída varia entre 0 e a tensão aplicada ao módulo. (SOUTO, 2019)

2.3.4 MEDIÇÃO DE CORRENTE ELÉTRICA

Existem diversas maneiras de medir corrente elétrica, como: *Shunts* resistivos, transformadores de corrente, sensores magnéticos, etc. Cada método possui suas vantagens e desvantagens.

Como a medição se realiza entre a tomada e a carga conectada ao módulo, os principais parâmetros analisados foram precisão, tamanho e custo. Devido à característica da aplicação,

Figura 18 – Módulo ZMPT101B



Fonte: (MSS ELETRÔNICA, 2021)

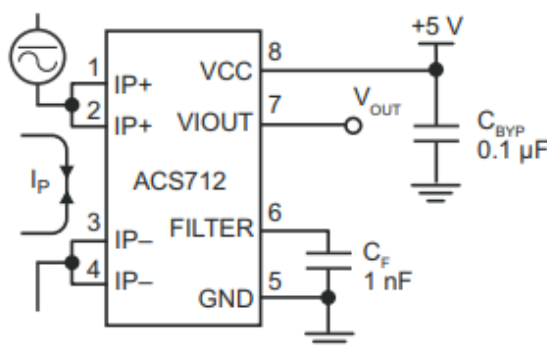
sensores do tipo transformadores de corrente, muito utilizados em medições não invasivas, não foram uma alternativa interessante devido ao tamanho ocupado.

2.3.4.1 EFEITO HALL

O Sensor de Corrente baseado no efeito *Hall* possibilita realizar a leitura de corrente alternada (CA) e contínua (CC).

O sensor analisado foi o ACS712. Seu funcionamento é baseado no efeito *Hall*. Quando uma corrente flui por um caminho de cobre (pinos 1 e 2 aos pinos 3 e 4) um campo magnético é gerado, que por sua vez induz uma tensão proporcional a este campo (pino 7) (MICROSYSTEMS, 2007). A Figura 19 representa um exemplo de aplicação.

Figura 19 – Exemplo de aplicação sensor ACS712



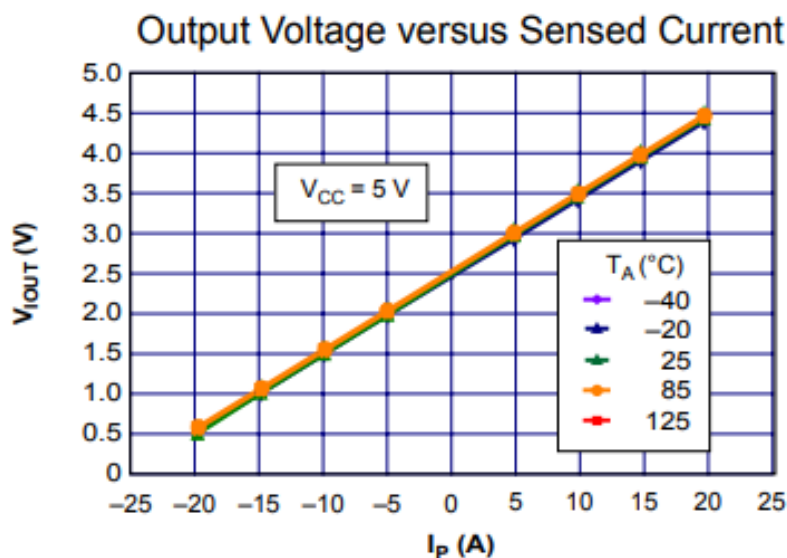
Fonte: (MICROSYSTEMS, 2007)

Os terminais do condutor de cobre apresentam um isolamento elétrico dos condutores do sensor (pinos 5 a 8), permitindo que possa ser empregado em circuitos sem o uso de um

isolamento externo. (MICROSYSTEMS, 2007)

O componente escolhido foi o ACS712ELCTR-20A-T, que possui alcance de medição $\pm 20\text{A}$, com sensibilidade de 100mV/A . Quando a corrente é igual a 0 A , a tensão de saída é igual a V_{CC} dividido por 2, ou seja, igual a $2,5\text{ V}$ – considerando $V_{CC} = 5\text{ V}$. Para este componente, a variação da tensão de saída é de $0,5\text{ V}$ a $4,5\text{ V}$, conforme pode ser visualizado na Figura 20 que exibe a curva característica de saída em função da entrada.

Figura 20 – Curva característica ACS712ELCTR-20A-T



Fonte: (MICROSYSTEMS, 2007)

2.4 SISTEMA MICROCONTROLADO

De uma forma geral, toda aplicação IoT necessita de um sistema microcontrolado. Um microcontrolador reúne as características combinadas de *hardware* e *software* para desempenhar o processamento de informações, associando elementos como: sensores, atuadores, periféricos e módulos de comunicação, bem como elementos de interação com o usuário.

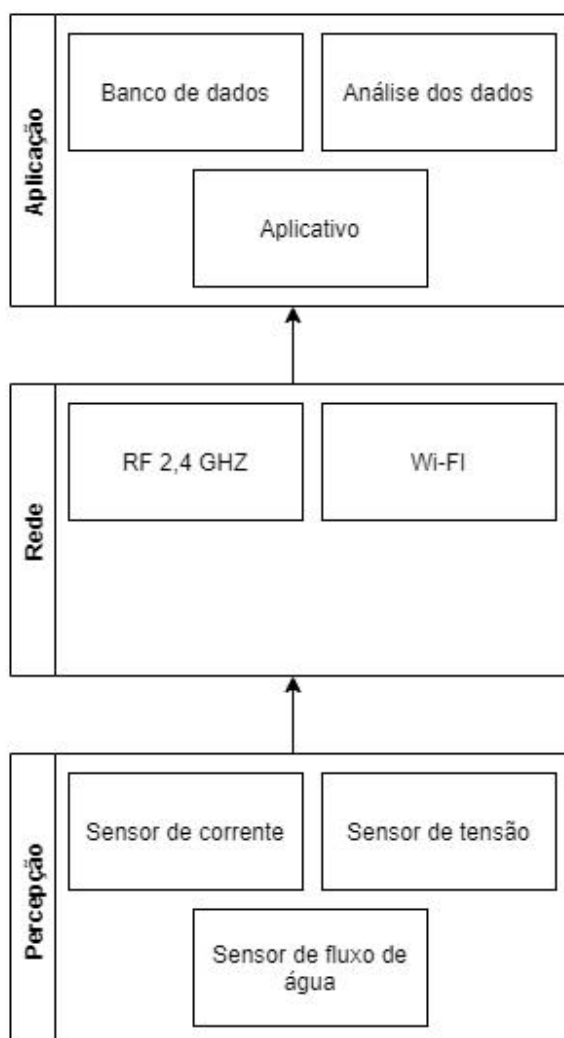
Por serem dispositivos programáveis, seu uso não se limita a aplicações específicas, podendo ser empregado em praticamente qualquer circuito que demande algum grau de processamento de informações. Seu uso simplifica os projetos eletrônicos, pois reduz consideravelmente a quantidade de componentes necessários, pois toda a lógica é programada. Atualmente os microcontroladores estão integrando diversos periféricos com o objetivo de centralizar a maior parte das funções dos circuitos, tornando-os ainda muito mais versáteis. (ROCHA, 2012)

Os processadores utilizados neste projeto serão abordados com mais detalhes na capítulo Desenvolvimento do Sistema.

2.5 APLICAÇÃO

Por se tratar de uma aplicação IoT, o projeto se baseia em uma arquitetura de três camadas, já amplamente difundida e aceita. Estas três camadas (Figura 21) consistem em: camada de percepção e controle, onde estão os sensores e atuadores que formam a base da arquitetura. Em seguida vem a camada de rede, que é responsável pelo recebimento e pela entrega dos dados a próxima camada. Esta consiste em *gateways*, que são responsáveis por efetuar a ponte entre os dispositivos e a *internet*. Já a terceira e última camada é a de mais alto nível, chamada de camada de aplicação. Nela são agregados os dados para serem apresentados para os usuários, sejam eles pessoas reais, ou outros serviços, como inteligência artificial e banco de dados. (ZHONG; ZHU; HUANG, 2017)

Figura 21 – Arquitetura de 3 camadas IoT



Fonte: Autoria própria

Nesta seção será tratado da última camada da arquitetura, a camada de aplicação.

2.5.1 BANCO DE DADOS

Banco de dados é definido como uma coleção de dados, onde os dados são “fatos conhecidos que podem ser registrados e possuem um significado implícito” (ELMASRI, 2011, p. 3). Essa coleção representa o mundo real de uma forma lógica e com uma finalidade específica. Um exemplo de banco de dados é um catálogo de uma biblioteca, onde as entradas estão organizadas de forma alfabética e separadas em diversas categorias.

Um banco de dados relacional é baseado em um modelo matemático proposto por Ted Codd em 1970. Ele usa um conceito de relação matemática, onde pode ser interpretado como uma tabela de valores. Sua arquitetura se baseia em tabelas, colunas e linhas. Uma tabela define uma entidade, em que suas linhas irão representar fatos sobre a entidade ali descrita. As colunas representam como interpretar os dados presentes nas linhas, definindo seus tipos e nome para representação. Os valores presentes em uma mesma coluna devem ser do mesmo tipo de dado. As entidades podem possuir relações entre si, descrevendo um esquema que representa um certo problema no mundo real. (ELMASRI, 2011)

2.5.1.1 POSTGRESQL

PostgreSQL é um sistema de banco de dados relacional de código aberto e amplamente utilizado no mercado devido à sua robustez, confiabilidade e alto desempenho. O fato de ser um sistema de código aberto o torna fácil de ser utilizado e com muito suporte na comunidade de desenvolvedores, com muitas bibliotecas de conexão, e muitas comunidades de suporte. (SMITH, 2010)

2.5.2 PROTOCOLOS DE MENSAGENS

Para efetuar a comunicação entre as camadas de aplicação e rede, é necessário um protocolo para a troca de mensagens entre os dois pontos. Os protocolos de mensagem definem um padrão para os dados em transporte, em que são definidos: cabeçalhos que contém informações padrões para um grupo de dados, como as mensagens são transportadas, número de tentativas e tempo de expiração de resposta. Para uma aplicação IoT é importante escolher um protocolo que seja rápido, leve e confiável, pois há uma grande quantidade de dados sendo trafegada. Além disso, é preciso que haja uma garantia da entrega dos mesmos.

Existem alguns protocolos que são mais difundidos entre a indústria do IoT. São eles: HTTP (*HyperText Transfer Protocol*), MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*), CoAP (*Constrained Application Protocol*) e o AMQP (*Advanced Message Queue Protocol*). Cada um possui suas particularidades e suas implementações. (NAIK, 2017)

2.5.2.1 MQTT

O protocolo de mensagens MQTT utiliza-se do princípio de comunicação publicação/inscrição (pub/sub). Neste modelo, um cliente interessado em uma certa informação se

inscreve junto ao *broker* (entidade que gerencia as inscrições). Assim, quando outro cliente publica uma informação, os que estão inscritos para receber essa informação a recebem. As inscrições são feitas através de tópicos, onde são nomes de caminhos já definidos previamente, e os clientes utilizam esses nomes para se comunicarem. Os tópicos no MQTT são hierárquicos, o que significa que é possível utilizar caracteres coringa para facilitar a inscrição em múltiplos tópicos. Por exemplo um sensor de corrente presente na sala publica mensagens no tópico: “sensor/corrente/sala”. O caractere ‘/’ divide o tópico nos pedaços “sensor”, “corrente” e “sala”. Algum cliente pode se inscrever para receber todos os dados de sensores de corrente da seguinte forma: “sensor/corrente/+”. (HUNKELER; TRUONG; STANFORD-CLARK, 2008)

2.5.2.2 HTTP

O protocolo HTTP é baseado em um modelo de requisição e resposta, onde o cliente faz uma requisição a um servidor e é respondido pelo serviço com o dado requerido, ou um estado com um possível erro que possa ter ocorrido. (MAH, 1997). O acesso aos recursos disponibilizados pelo servidor se dá através da URI (*Uniform resource identifier*), que são rotas onde se encontram disponíveis os dados. Por exemplo “http://energyio.ml/dados/sensor/sala” onde um cliente pode acessar essa URI e receber dados relacionados a um sensor presente na sala. O HTTP suporta métodos que padronizam sua utilização. Para um cliente receber dados é comum ser utilizado o método “GET”, já para envio de dados, é utilizado o método “POST” e para remover algum recurso do servidor, é utilizado o comando “DELETE”. Esses métodos vão no cabeçalho da requisição HTTP, e são interpretados pelo servidor para executar a ação requerida. Utilizando o exemplo descrito anteriormente, o cliente faria uma requisição do tipo “GET” na URI “http://energyio.ml/dados/sensor/sala” para receber os dados referente aos sensores da sala. (GOURLEY et al., 2002)

2.5.3 PROTOCOLOS DE SERIALIZAÇÃO

A serialização consiste em uma forma de transformar estruturas de dados em sequências de bytes que possam ser transmitidas através de algum transporte, ou armazenadas em disco. As estruturas (ou objetos) são achatadas em tipos de dados primitivos, como números e caracteres, capazes de serem transformados em bytes (MAEDA, 2012). Para efetuar essas conversões, existem alguns padrões que são compatíveis em muitas plataformas e linguagens de programação. Alguns mais populares são XML (*Markup Language*), JSON (*JavaScript Object Notation*) e Protobuf (*Protocol Buffers*). Para aplicações IoT, o ideal é que se use um protocolo que não ocupe muito espaço tanto no microcontrolador, quanto no canal de comunicação.

2.5.3.1 PROTOBUF

O *Protocol Buffers* (comumente chamado de *Protobuf*) foi desenvolvido pelo Google em 2008, com objetivo de criar um protocolo de serialização que seja neutro entre as linguagens

de programação e seja leve. Para definir as mensagens, define-se um arquivo que descreve as estruturas das mensagens, onde cada uma contém os dados primitivos que ela vai carregar. Então esse arquivo pode ser compilado e o código para estruturar as mensagens é gerado na linguagem desejada (GOOGLE, 2021).

O *Protobuf* é vantajoso para a área de IoT pelo fato das mensagens serializadas são muito leves, pois basta as duas pontas terem o arquivo de descrição que as mensagens podem ser reestruturadas. Os indicadores dos tipos de dados e separação dos valores são apenas alguns bytes, mantendo assim o pacote enxuto.

2.5.3.2 JSON

JSON é uma notação de objetos baseada em Javascript, porém utilizada em muitas outras linguagens, como C/C++, Java, Python. Esse protocolo de serialização utiliza um sistema de chave/valor, onde o valor de um dado é salvo com um identificador (chave) no arquivo, tornando assim a sua sintaxe fácil de ser lida por humanos e fácil de ser interpretada por máquinas. Com essa notação, é possível representar as primitivas de dados, aninhar objetos e representar vetores. É muito utilizada no HTTP para a troca de mensagens (JSON, 2021).

2.5.4 TLS

TLS (Transport layer secure) é um protocolo de segurança, que tem como objetivo estabelecer uma comunicação segura em uma rede. Ele é aplicado em *e-mails*, mensagens de texto, vídeo-chamadas, navegação pela *web*, troca de mensagens entre duas aplicações e demais formas de comunicação presentes na internet. O protocolo encapsula protocolos de níveis maiores, sendo bem versátil em seu uso. A conexão é privada, onde somente as duas pontas conectadas podem entender as mensagens trocadas, isso se dá devido ao uso de algoritmos de criptografia simétricos, que têm suas chaves geradas em tempo de conexão, baseadas em um segredo trocado entre as duas pontas. São usados algoritmos de checagem de integridade para garantir a confiabilidade dos dados trocados. (RESCORLA, 2018)

3 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

Para que as metas mencionadas nos objetivos fossem atingidas, as seguintes etapas foram desenvolvidas: Definição dos sensores, definição dos microcontroladores, definição do método de comunicação, desenvolvimento de *hardware*, implementação do *firmware*, calibração dos sensores, implementação do servidor e apresentação dos dados.

3.1 DEFINIÇÃO DOS SENSORES UTILIZADOS

Esta seção descreve as razões de escolha de cada sensor utilizado. Após analisar os possíveis sensores a serem utilizados no projeto, citados anteriormente, foram escolhidos os que ofereciam uma melhor aplicabilidade para a proposta. As Tabelas 1 e 2 demonstram a comparação entre os sensores e módulos de comunicação estudados para o desenvolvimento deste projeto.

Medição de Água			
Sensor	Preço (R\$)	Invasivo	Erro (%)
YF-S201	39,95	Sim	10
FS300A	112,50	Sim	3
Medição de Tensão			
ZMPT101B	29,93	Sim	0,5
DVT1210	62,10	Não	1
Medição de Corrente			
ACS712	28,90	Sim	5
SCT013	76,90	Não	3

Tabela 1 – Comparativo entre os Sensores estudados

Comunicação			
Módulo	Preço (R\$)	Alcance (m)	Consumo Máximo em Transmissão (mA)
NRF24L01	26,80	25	13,5
Bluetooth Hc-06	27,99	10	35
WiFi ESP8266 ESP-01	25,90	15	145

Tabela 2 – Comparativo entre as Comunicações estudadas

3.1.1 SENSOR DE VAZÃO

Para a medição do consumo de água, foi escolhido o método medição de vazão cujo sensor avaliado foi o YF-S201. Através deste tipo de medição não é necessário conhecer

previamente as dimensões do recipiente que será monitorado, como no caso dos sensores de nível, tornando a solução genérica, uma característica fundamental para alta aplicabilidade do módulo desenvolvido.

Além disso, o sensor YF-S201 apresenta uma taxa de erro de 10% ($\pm 5\%$) e um custo inferior a sensores semelhantes, tornando-se a opção mais interessante.

3.1.2 SENSOR DE TENSÃO ELÉTRICA

Como mencionado anteriormente, o sensor analisado para medir a tensão elétrica foi o ZMPT101b. Este transformador, ligado a um amplificador operacional, é capaz de medir tensões CA de 0 à 250Vac, oferecendo uma boa faixa de medição, pois na grande maioria, a rede elétrica residencial brasileira varia entre 110Vac e 220Vac.

Com uma taxa de erro de $\pm 0.5\%$ e saída em tensão CC, este módulo é uma ótima opção para monitoramento confiável e de baixo custo, atendendo muito bem aos requisitos do módulo medidor.

3.1.3 SENSOR DE CORRENTE ELÉTRICA

Para medir corrente elétrica, o sensor escolhido foi o ACS712LCTR-20A, que possui um alcance de -20A a +20A, medindo correntes CC ou CA. Possui tempo de resposta de $5\mu s$ e baixo custo de aquisição.

Como a aplicação destina-se a utilização residencial, essa faixa de medição oferecida pelo ACS712 supre muito bem os requisitos do módulo medidor.

3.2 DEFINIÇÃO DOS MICROCONTROLADORES

Foram escolhidos dois microcontroladores para a execução do projeto. Um para realizar a aquisição e envio dos dados e outro para concentrar as informações destes módulos medidores e enviar para um servidor.

3.2.1 MICROCONTROLADOR DOS MÓDULOS MEDIDORES

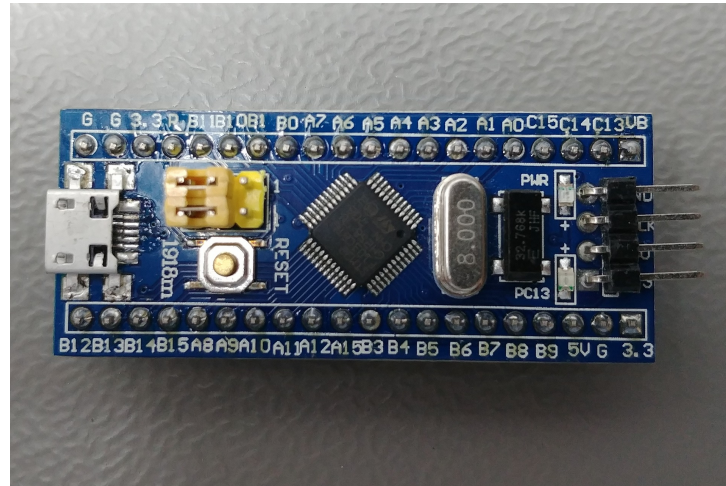
Para os módulos medidores, as principais funcionalidades necessárias estão relacionadas à leitura dos sensores, temporização e envio desses dados para o módulo central. Muitos microcontroladores de baixo custo oferecem estas funcionalidades, tendo o preço como um fator crucial para a escolha.

3.2.1.1 STM32F103

Apelidado como *Blue Pill*, este sistema baseia-se em microcontroladores STM32F103, desenvolvidos pela empresa STMicroelectronics. A placa de prototipagem STM32 (Figura 22) apresenta-se como uma ótima opção de baixo custo com um bom poder de processamento,

dispondo de um processador de 32 bits com arquitetura ARM Cortex-M3, podendo operar em até 72MHz.

Figura 22 – STM32 Blue Pill



Fonte: (STMICROELECTRONICS, 2021)

Os principais recursos que a plataforma oferece são:

- Processador ARM Cortex M3 de 32 bits com 72MHz de clock interno;
- 64kB de memória flash e 20kB de memória RAM;
- ADC com resolução de 12 bits;
- 15 pinos com PWM;
- 4 Timers;
- Pinos de depuração;
- USART (3), SPI (2), I2C (2), CAN BUS (2);

As características citadas acima suprem muito bem as necessidades de processamento dos módulos medidores a um preço e disponibilidade interessante, além de possuir uma grande comunidade e bons recursos de gravação e depuração, o que agiliza o processo de desenvolvimento.

3.2.2 MICROCONTROLADOR DO MÓDULO CENTRAL

Para o módulo central, as principais funcionalidades analisadas foram a capacidade de comunicação e suporte a diferentes tipos de comunicação.

3.2.2.1 ESP32

O ESP32 (Figura 23) é um módulo de alta performance para aplicações envolvendo *Wi-Fi*, contando com um baixíssimo consumo de energia. Desenvolvido para aplicações móveis e IoT, possui versões *single-/dual-core 32-bit* que chegam a trabalhar com frequências de *clock* de até 240 MHz. (ESPRESSIF, 2021)

Desenvolvido pela Espressif Systems, é uma evolução do já conhecido ESP8266, com maior poder de processamento e *bluetooth* BLE 4.2 embutido e custo de aquisição menor que os concorrentes com as mesmas funcionalidades.

Figura 23 – Módulo ESP32



Fonte: (USINAINFO, 2021a)

Os principais recursos que a plataforma oferece são:

- Processador Xtensa 32-Bit LX6 Dual Core;
- Clock: 80 à 240 MHz;
- Memória SRAM: 520kB;
- Interfaces: Cartão SD, UART(3 canais), SPI (3 canais), SDIO, I2C (2 canais), I2S (2 canais), IR, PWM LED (2 canais) e PWM motor (3 canais);
- GPIO: Digital IO (36), ADC 12-Bits (16 canais), DAC 8-Bits (2 canais), Sensor Capacitivo (10 canais); LNA pré-amplificador;
- *Wi-Fi* 802.11 b/g/n: 2.4 à 2.5 GHz, com segurança WPA / WPA2 / WPA2-Enterprise / WPS;
- *Bluetooth* 4.2 BR / EDR e BLE (*Bluetooth* Low Energy);
- RTC Integrado de 8kB (Slown / Fast);

3.3 DEFINIÇÃO DO MÉTODO DE COMUNICAÇÃO

Para estabelecer a comunicação entre os dispositivos medidores e o módulo central, foi escolhida a comunicação por Radiofrequência(RF), devido ao baixo consumo de corrente necessário para a comunicação e o baixo custo quando comparado a outros métodos de comunicação sem fio como *ZigBee*, *Wi-Fi* ou *Bluetooth*.

Dentre às diversas opções disponíveis para se trabalhar com radio frequência optou-se pelo uso do chip transceptor fabricado pela *Nordic Semiconductors*, NRF24I01, pois oferecia o

melhor pacote de custo, consumo, taxa de transmissão e alcance de sinal.

Assim como para comunicação com o servidor, na comunicação entre os módulos foi utilizado o sistema de serialização Protobuf tornando as mensagens mais seguras e também com um tamanho bem reduzido.

3.3.1 NRF24L01

O NRF24L01 é um dispositivo transmissor e receptor que opera na faixa *Industrial Scientific and Medical* (ISM) de 2400 MHz à 2524 MHz e possui funções do protocolo *Enhanced ShockBurst* (ESB), que é um protocolo básico que suporta comunicação de pacote de dados bidirecional, incluindo enfileiramento de pacotes, confirmação de pacotes (sistema de *acknowledgement*), retransmissão automática de pacotes perdidos e ainda conta com verificação de erros por CRC. A Figura 24 mostra um exemplo do módulo NRF24L01.

Comunicação com o microcontrolador através de SPI, opera de 1,9 V a 3,6 V, rádio com consumo de energia extremamente baixo, quando operando com potência máxima de funcionamento a 0 dBm o consumo de corrente é de 11,3 mA durante a transmissão e 13,5 mA durante a recepção. Ainda disponibiliza opções de modo inativo e desligamento que reduzem ainda mais o consumo, cerca de 26µA em *standby*. Capaz de operar em até 125 canais de frequência e com taxas de transmissão variando de 250 kbps, 1 Mbps e 2 Mbps, com modulação GFSK (*Gaussian Frequency Shift Keying*).

Na modulação Gaussiana FSK os dados são codificados na forma de variações de frequência numa portadora de maneira semelhante à modulação FSK. Portanto, o modulador utilizado pode ser o mesmo que é usado para a modulação FSK. No entanto, os impulsos passam por um filtro gaussiano antes dos impulsos entrarem no modulador de modo a diminuir a largura espectral dos mesmos. O filtro gaussiano é uma espécie de formatador de pulso que serve para suavizar a transição entre os valores dos impulsos, mesma modulação usada em sistemas como *Bluetooth*.

3.4 DESENVOLVIMENTO DO *HARDWARE*

Para o desenvolvimento do *hardware* necessário, optou-se por dimensionar uma fonte própria para o módulo central, já que utilizou-se o ESP32 avulso, e não o módulo de desenvolvimento, mas também porque dessa maneira é possível atingir um design mais próximo de um produto final. Em contrapartida, para os módulos sensores optou-se em utilizar alimentação USB e os módulos de desenvolvimento, por serem mais suscetíveis a modificações e necessidade de troca em caso de danos durante o desenvolvimento. Dessa forma os módulos sensores apresentados seriam uma versão de protótipo para uma eventual placa final.

Figura 24 – NRF24I01 com antena



Fonte: (BAÚ DA ELETRÔNICA, 2021a)

3.4.1 HUB CENTRAL

Para a alimentação do módulo central, foi projetada uma fonte AC-DC do tipo Buck, utilizando o chip SM7035, que consiste de controlador de PWM com MOSFET integrado no mesmo silício, sendo um circuito simples com relação à quantidade de componentes e barato tornou-se uma boa opção para utilizar junto ao ESP32.

A fonte AC-DC Buck foi dimensionada para fornecer na saída uma tensão de 5V, para o cálculo desse valor de tensão na saída, foram utilizados os parâmetros fornecidos pelo *datasheet* do fabricante. Através de (10), onde R_{FBL} seria o resistor de realimentação inferior, o R_{FBH} seria o resistor de realimentação superior e V_{FB} é uma constante de tensão de realimentação. Com isso define-se R_{FBL} como 18k Ω e R_{FBH} como 10k Ω e a constante pelo *datasheet* valendo 2, tem-se como resultado 5,6V e com a queda de tensão do diodo da saída tem-se aproximadamente os 5V:

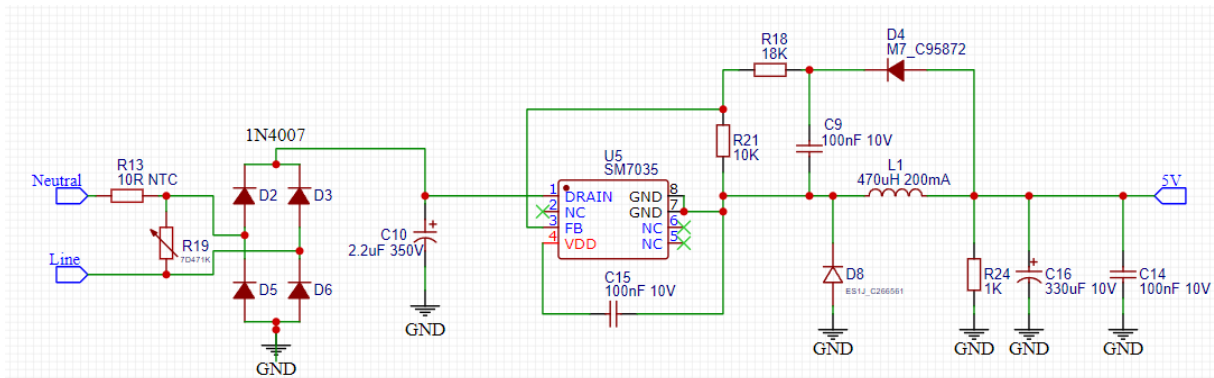
$$\frac{R_{FBL}}{(R_{FBL} + R_{FBH})} = \frac{V_{FB}}{V_{OUT}} \quad (10)$$

Esta fonte é capaz de converter tensão AC na faixa de 85V a 265V para a tensão calculada e uma corrente máxima na saída da fonte de 200mA. O seu esquemático é apresentado na Figura 25.

Para garantir maior segurança, a fonte ainda conta com um NTC e um Varistor na entrada da rede para garantir proteção contra sobrecarga de tensão e suavização de partida. Além disso, a fonte possui baixo consumo de energia e possui uma ótima precisão. Após reduzir a tensão para próximo dos 5V, utilizou-se o regulador linear de tensão AMS1117 para reduzir a alimentação para 3,3V e assim alimentar corretamente o ESP32 e o NRF24L01.

Além da fonte, também foram planejados três *LEDs* para indicar a conexão do *Wi-Fi*, recebimento de mensagens de sensores e indicar o estado de pareamento dos sensores. Também

Figura 25 – Fonte módulo central



Fonte: Autoria própria

foram inseridos três botões com as seguintes funcionalidades que foram aplicadas via *firmware*: botão para pausar o recebimento de mensagens, para entrar em modo de pareamento e para limpar os dados salvos na memória *flash* representando a funcionalidade restauração de fábrica. E por fim, *headers* para entradas e saídas dos pinos de gravação e um borne para a alimentação 110-220Vac.

Para a parte do design das trilhas da placa, como ilustrado na Figura 26, atentou-se para dimensionar corretamente a espessura das trilhas principalmente da parte AC, e também com relação ao tamanho do caminho para as trilhas do NRF24L01, visto que utilizou-se SPI e uma frequência relativamente alta e ainda dando a devida atenção às áreas com presença de antenas, tanto do *Wi-Fi* quanto do NRF, a fim de evitar ao máximo a suscetibilidade a interferências eletromagnéticas.

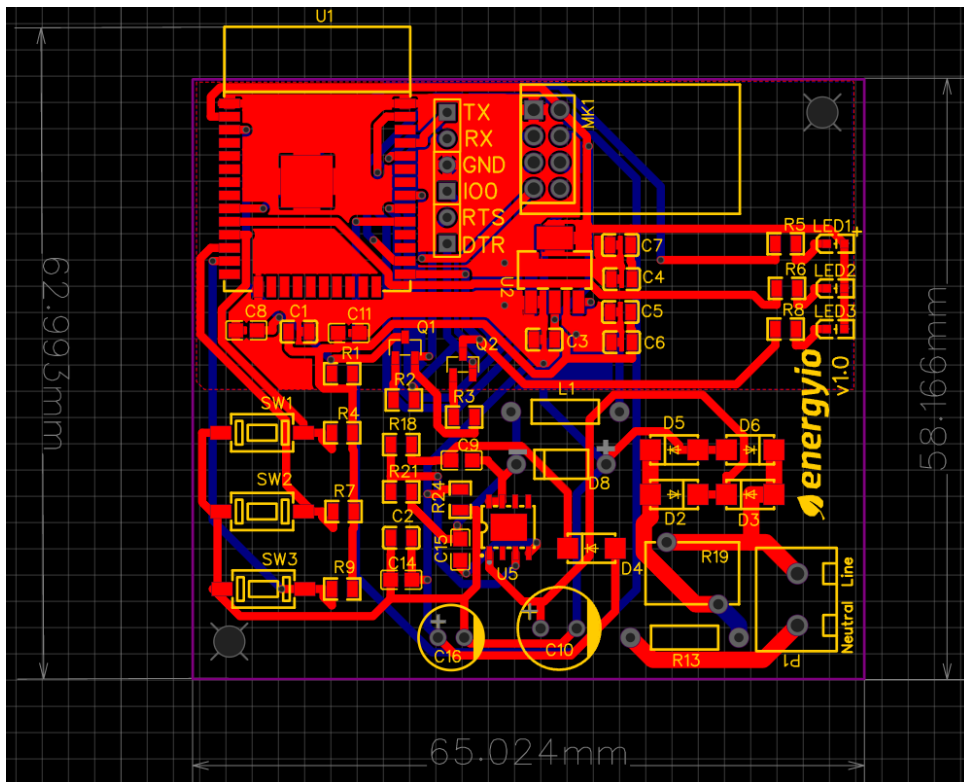
Após desenvolver todo o esquemático e rotear a placa, utilizaram-se os serviços da empresa JLCPCB (2021) para o processo de fabricação. Na Figura 27 tem-se uma visualização em 3D do resultado final da placa desenvolvida, bem como uma foto da placa soldada.

Como apêndice A a esse documento tem-se o esquemático completo desse circuito.

3.4.2 SENSORES

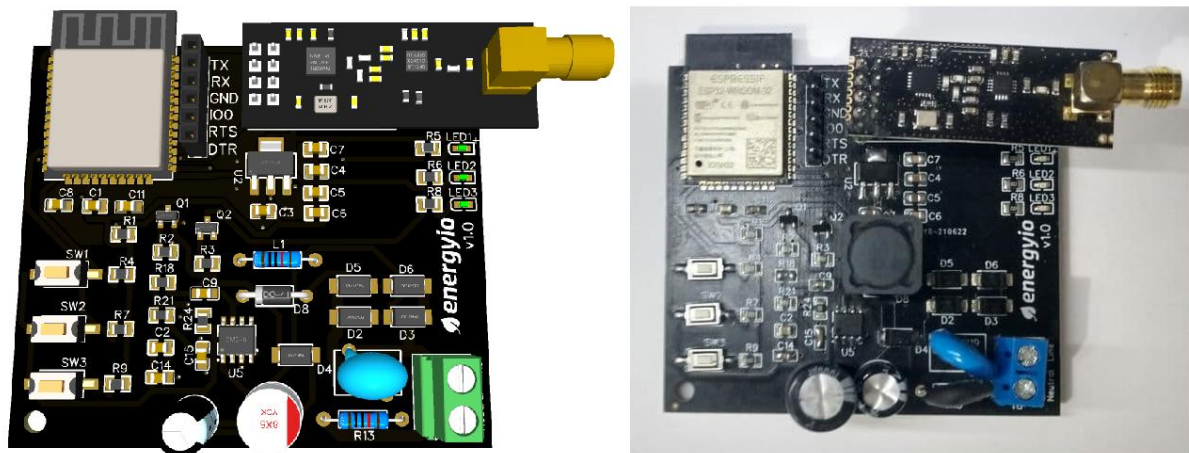
Diferentemente do módulo central, optou-se pela alimentação através da entrada USB da placa de desenvolvimento STM32F103 para os módulos de sensores. Também foram reduzidos o número de *LEDs* e botões para dois de cada. Os *LEDs* indicam o envio das mensagens e o estado do pareamento. A funcionalidades implementadas dos botões foram: Iniciar o pareamento e limpar a *flash* do sensor (retornar para o padrão de fábrica). Por fim, foram inseridos pinos de gravação *Tx* e *Rx* em ambas as placas. A parte de produção das placas dos sensores também foi realizada utilizando os serviços da JLCPCB (2021).

Figura 26 – Placa do módulo central roteada



Fonte: Autoria própria

Figura 27 – Visualização 3D e Placa Soldada



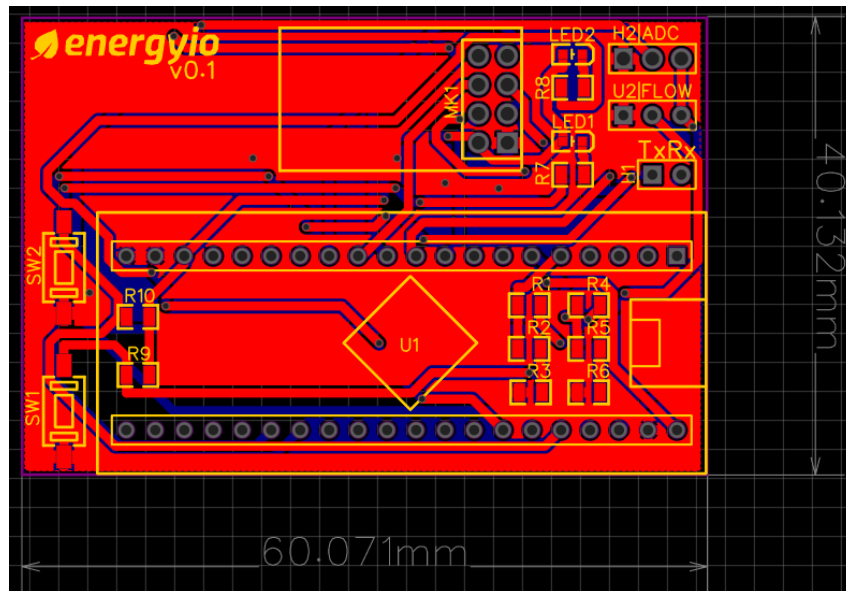
Fonte: Autoria própria

3.4.2.1 SENSOR DE CONSUMO DE ÁGUA

Exclusivamente para o sensor de consumo de água, dois *headers* foram disponibilizados, como ilustrado na visualização em 3D e placa soldada Figura 29, um para a conexão do rotor, que faz a detecção de fluxo de água, e a outra foi roteada para que caso fosse necessário utilizar um segundo método de medição a fim de validar a medição de fluxo, tal como um sensor de

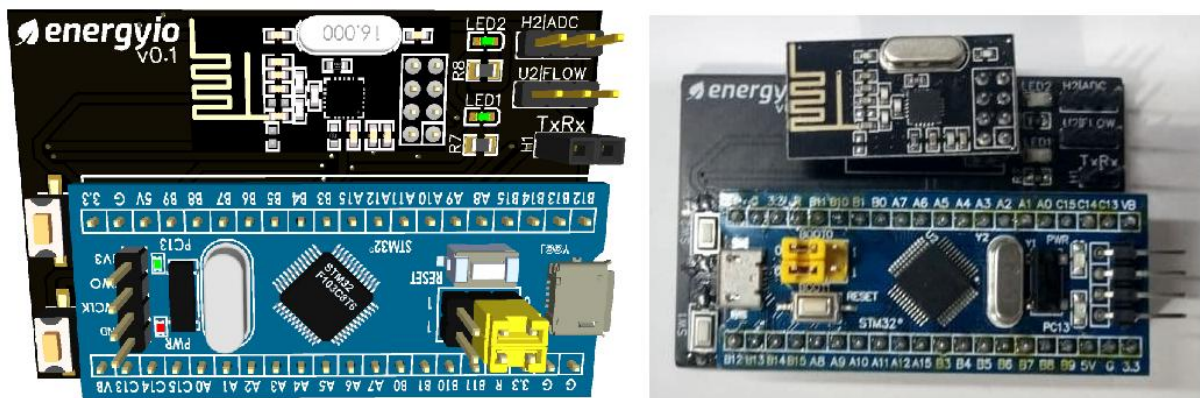
nível por exemplo, a entrada do ADC estaria de fácil acesso. Como já mencionado as placas dos sensores são protótipos para uma eventual placa final, as Figuras 28 e 30 trazem as placas de protótipos do sensor de consumo de água e energia respectivamente roteadas.

Figura 28 – Placa do sensor de Consumo de Água



Fonte: Autoria própria

Figura 29 – Visualização 3D e Placa Soldada

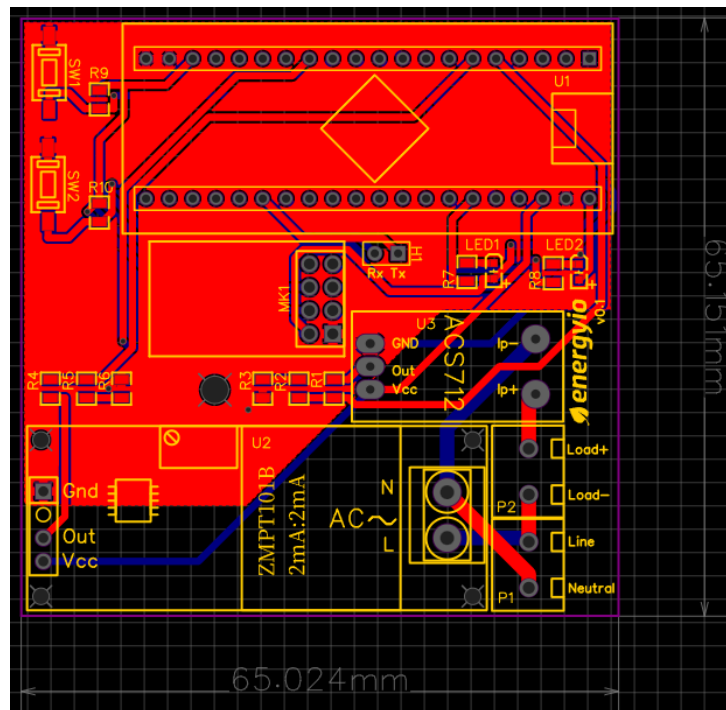


Fonte: Autoria própria

3.4.2.2 SENSOR DE ENERGIA

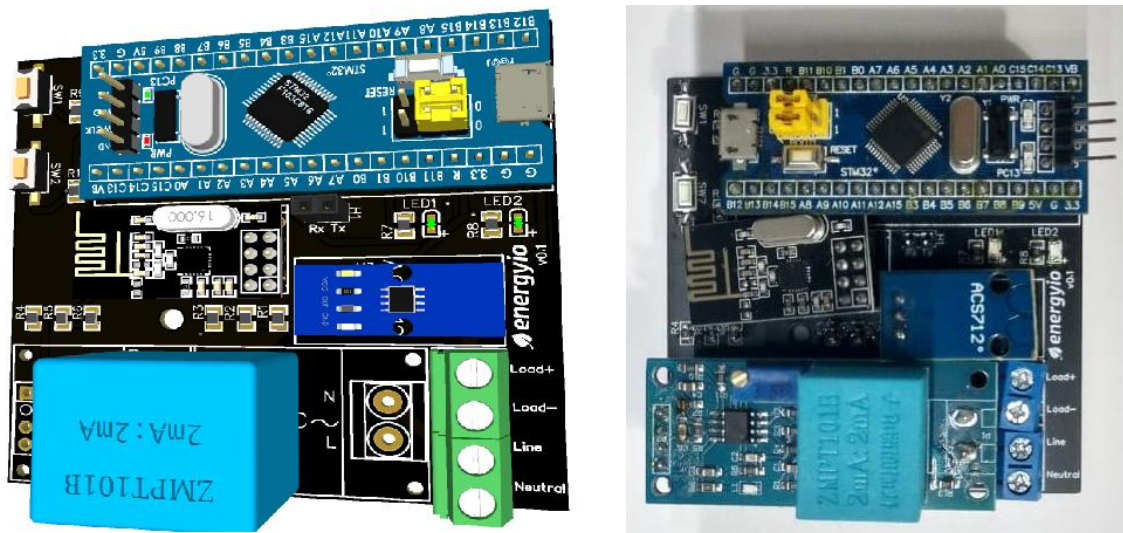
No sensor de energia as únicas características exclusivas são os bornes para a entrada da rede elétrica, através das entradas nomeadas com *Line* e *Neutral* e as saídas para o equipamento que irá ser alimentado através dos bornes nomeados com *Load-* e *Load+*, como demonstrado na visualização em 3D da placa na Figura 31 onde também é demonstrada a placa soldada.

Figura 30 – Placa do sensor de Energia



Fonte: Autoria própria

Figura 31 – Visualização 3D e Placa Soldada



Fonte: Autoria própria

3.5 IMPLEMENTAÇÃO DO *FIRMWARE*

O *firmware* implementado para os módulos sensores foi desenvolvido em *baremetal* utilizando linguagem C e as bibliotecas nativas da ST através da IDE própria, STM32CubeIDE. Já para o módulo central, por ter uma necessidade maior de lidar com diversas tarefas de maneira síncrona e já que o microcontrolador escolhido oferece um sistema com dois núcleos e alta

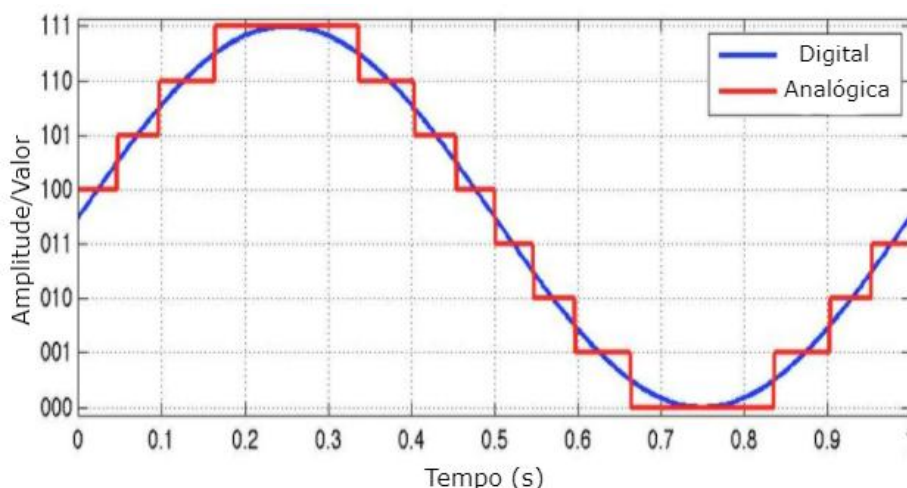
capacidade de processamento, optou-se em utilizar um sistema operacional embarcado, para esse caso, o FreeRTOS (2021), tendo total compatibilidade com os sistemas da *Espressif* (fabricante do ESP32) se tornando ideal para que o sistema.

Para o desenvolvimento do *firmware*, foi utilizado o PlatformIO (2021), uma plataforma de programação dentro do editor VSCode (2021), que permite a compilação de um mesmo código para diferentes plataformas de desenvolvimento, capaz de integrar diversos ambientes como *ARM*, *Atmel*, *Espressif*, *ST*, *Freescale* entre outros em uma só IDE.

3.5.1 AQUISIÇÃO DE DADOS NOS SENSORES

O processo de aquisição de dados foi realizado através da funcionalidade ADC - *Analog to Digital Converter*, ou conversor analógico-digital. Os ADCs seguem uma sequência ao converter sinais analógicos em digitais. Primeiro o sinal é amostrado, depois é quantizado para determinar o valor do sinal, e finalmente, os valores binários são definidos e enviados ao sistema para ler o sinal digital. A Figura 32 ilustra o processo de amostragem e quantização.

Figura 32 – Amostragem e Conversão Analógico-digital



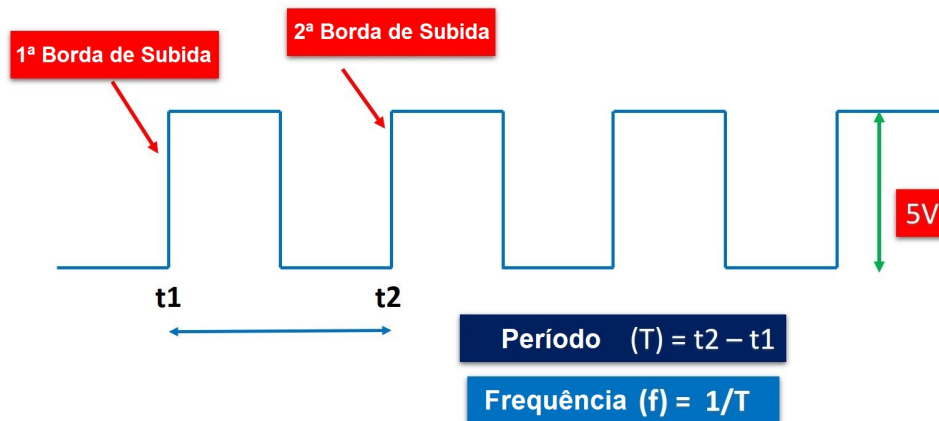
Fonte: (GUDINO, 2021)

O ADC do STM32 possui uma resolução de 12bits em uma faixa de 0V - 3,3V, ou seja, 4096 pontos, resultando numa resolução de 0,8mV por degrau.

3.5.1.1 AMOSTRAGEM DE VOLUME

A saída do sensor YF-S201 é pulsada, variando a frequência dos pulsos conforme a passagem de água pelo rotor. Para uma leitura confiável, foi utilizado o método de leitura de detecção por borda, que consiste em medir o intervalo entre duas bordas de mesmo tipo (subida ou descida) obtendo o período do sinal amostrado, e assim, calculando a frequência. A Figura 33 ilustra este processo.

Figura 33 – Medição de Frequência



Fonte: Adaptado de (MICROCONTROLLERSLAB, 2021)

Para realizar este processo com o microcontrolador SMT32, utilizou-se a funcionalidade *input capture direct mode*. Este modo associa um periférico do tipo *timer* e uma entrada analógica. A cada incremento na contagem do *timer* o nível lógico da entrada associada é lido, e quando ocorre uma transição de estado é disparada uma interrupção.

Dentro da interrupção é possível ler o valor de contagem atual do *timer*. Para encontrar o período do sinal vindo do sensor é calculado a diferença de tempo entre duas bordas de subida consecutivas, e em seguida é calculado o valor da frequência através de (11):

$$Freq = \frac{1}{T}. \quad (11)$$

Tendo em vista que a saída do sensor YF-S201 varia de 16 Hz até 240 Hz, e que o SMT32 disponibiliza altas frequências de contagem, foi implementada uma frequência de *timer* de 500 KHz, visando minimizar possíveis erros devido a contagem em baixas frequências.

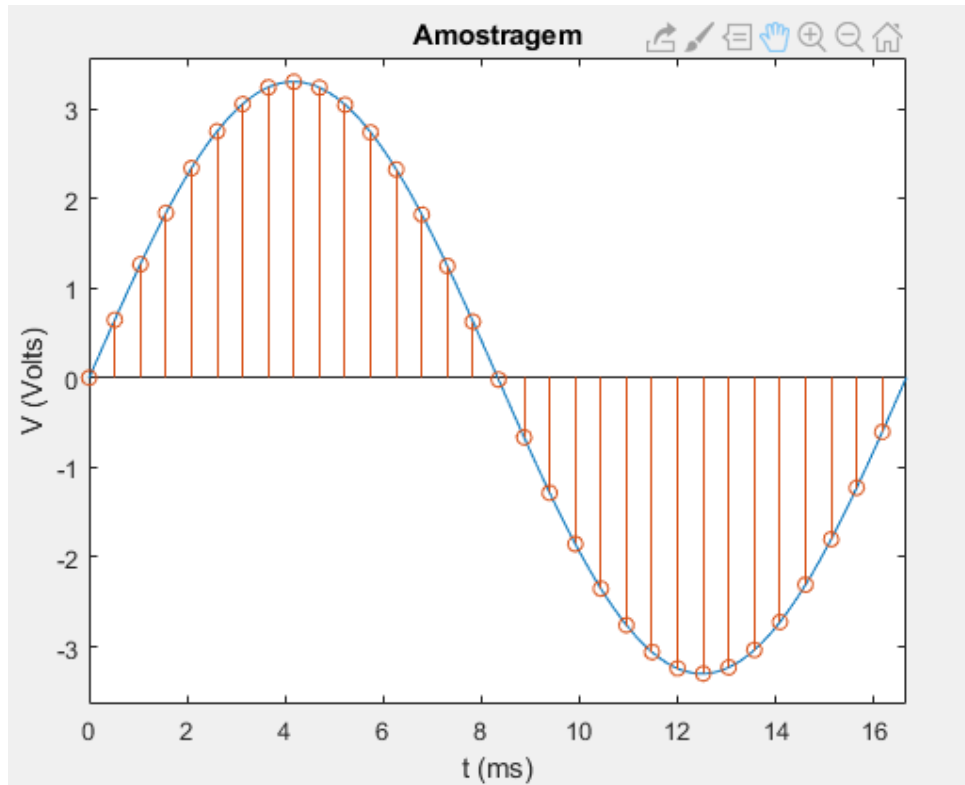
Por fim, o valor obtido é multiplicado pelo valor correspondente de litros por segundo, conforme o *datasheet* do YF-S201, para encontrar a vazão instantânea.

3.5.1.2 AMOSTRAGEM DE TENSÃO E CORRENTE

Pelo teorema de Nyquist, a taxa de amostragem precisa ser pelo menos maior que 2x a taxa do sinal que se deseja amostrar. Nesta aplicação as grandezas elétricas, em geral, estarão a 60Hz em CA conforme o padrão da rede elétrica brasileira.

Visando uma leitura confiável, foi implementada a taxa de leitura de 128 pontos por ciclo de rede, ou seja, 128 amostras a cada $16,6\bar{6}$ ms, resultando em uma leitura a cada $130,2\mu s$. A Figura 34 ilustra a leitura realizada pelo microcontrolador, que para caráter demonstrativo, exibe uma amostragem de 32 pontos por ciclo de senoide.

Figura 34 – Amostragem em um ciclo de rede



Fonte: Autoria própria

3.5.1.3 CÁLCULO DE VALORES RMS E POTÊNCIAS

Em posse dos valores amostrados no microcontrolador, utilizam-se as equações (8) e (9) para encontrar a corrente eficaz e a tensão eficaz, respectivamente, calculando a raiz do valor médio quadrático.

Com estes valores, é calculada a potência ativa, que é a potência que realiza trabalho útil em uma determinada carga. A potência ativa é calculada através de (12):

$$\text{Pot. Ativa} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (v \cdot i)^2 dt}. \quad (12)$$

Também é calculada a potência aparente, que é a potência total que uma determinada fonte é capaz de fornecer, sendo resultado da soma vetorial da potência ativa com a potência reativa. A unidade de medida da potência aparente é o Volt Ampère (VA). A potência aparente é calculada através de (13):

$$\text{Pot. Aparente} = V_{ef} \cdot I_{ef}. \quad (13)$$

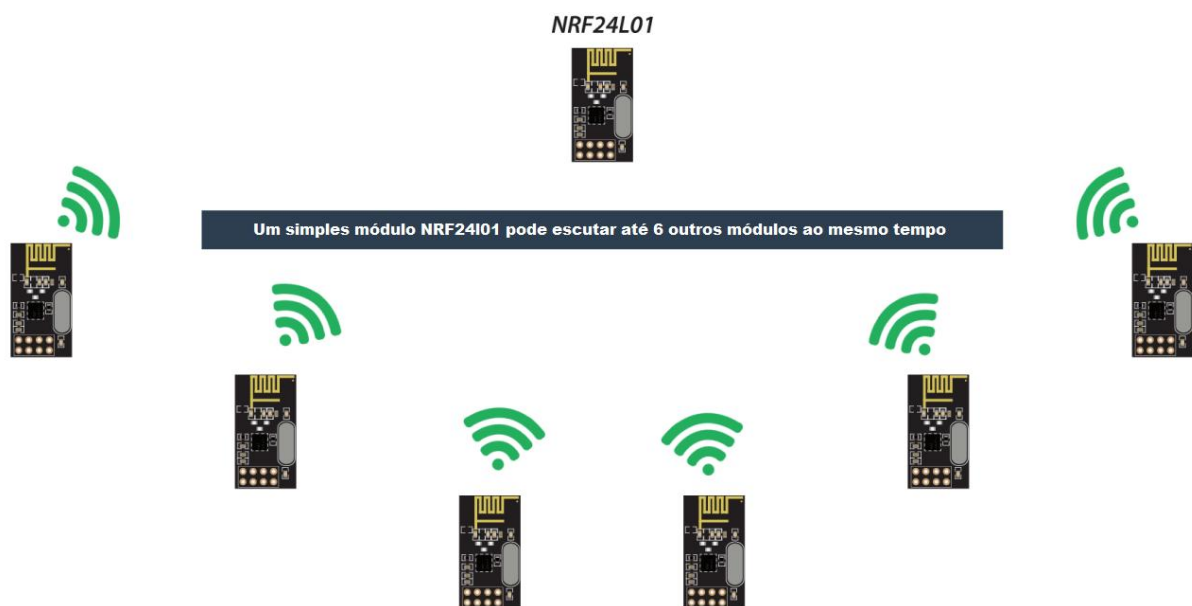
3.5.2 TROCA DE DADOS VIA NRF24L01

Com comunicação bidirecional *half duplex* fornecida pelo módulo NRF24L01, cada dispositivo é capaz de receber dados de outros seis módulos NRF ao mesmo tempo, isso é possível graças à capacidade de criar endereços para leitura e escrita de dados. Desta forma todo módulo pode escrever em um endereço e ler de outros seis endereços (Figura 35) configurados via SPI nos registradores correspondentes, sendo assim a opção ideal para a aplicação onde foi desenvolvido uma rede de sensores enviando mensagens para um módulo central.

Nesta aplicação, cada sensor recebe um endereço fixo onde deverá escrever os dados referentes às medições realizadas. O *hub* central fica responsável por ler as mensagens escritas nesse endereço, como cada sensor recebe um endereço único. Já o módulo central é capaz de distinguir de qual sensor veio a mensagem e assim repassar a leitura feita para o servidor.

Para o sistema de pareamento do módulo central com cada sensor foi realizada uma abstração do sistema de DHCP já presente em sistemas de rede convencionais, pressionando o botão referente a função de pareamento tanto no *hub* central quando no sensor, é realizada uma troca de dados em um endereço pré-estabelecido, como se fosse o IP fixo de um roteador. Com essa troca de dados, o módulo central fornece um endereço de escrita único para o sensor e um canal de comunicação com pouca interferência de rádio, e o sensor devolve o seu número de série para que o *hub* possa referenciar cada dado recebido ao seu respectivo sensor ao enviar para a nuvem. Essas informações são salvas na *flash* e sempre que os dispositivos inicializarem, já poderão iniciar a comunicação no canal e endereços definidos.

Figura 35 – Rede de NRF24L01



Fonte: Autoria própria

Quando há uma falha na transmissão da mensagem, o sistema de confirmação de pacotes

permite que o STM32 acumule as mensagens que falharam e retransmita de uma vez só para o módulo central, com um tamanho máximo de mensagem limitado a 32 Bytes. Portanto o uso da serialização tornou-se fundamental para funcionamento correto do sistema.

3.5.3 PROTOBUF

Como já citado, o *Protobuf* foi a ferramenta aplicada para reduzir o tamanho das mensagens, utilizando um padrão de mensagem estruturada, é capaz de codificar diferentes dados de diferentes tipos em um vetor hexadecimal, ao transmitir esse *buffer* de dados cabe ao receptor desserializar esse vetor utilizando o arquivo de descrição das mensagens.

A Figura 36 apresenta um exemplo do *hub* central recebendo os dados de energia enviados de um sensor. A mensagem é captada num endereço definido durante o processo de pareamento associado ao serial específico daquele sensor (na imagem descrito como *pipe 4*), essa mensagem é decodificada revelando dados como tensão, corrente, potência ativa, potência aparente e o número de mensagens acumuladas no *buffer* recebido. Esses dados após decodificados são serializados novamente, porém dessa vez, o módulo central insere a data e hora do evento (*timestamp*) e envia para o servidor via MQTT no tópico "sensor/EA101/energy/report", onde EA101 é o serial identificador do sensor que registrou a leitura. Assim o servidor pode armazenar corretamente os dados.

Figura 36 – Demonstrando a serialização de uma mensagem

```
Received 32 bytes on pipe 4: 0900000060342F5F40110000004096B9E03F18372041
DECODED: Tensao: 124.7 - Corrente:0.523 - Pot.Ativa:55 - Pot Aparente:65 - Numero de Msgs:0
EnergyReport Msg : 08E5D8EC8B061100000060342F5F40190000004096B9E03F20372841
sensor/EA101/energy/report
Received 32 bytes on pipe 4: 0900000080522E5F4011000000C025A1E03F18372041
DECODED: Tensao: 124.7 - Corrente:0.520 - Pot.Ativa:55 - Pot Aparente:65 - Numero de Msgs:0
EnergyReport Msg : 08E6D8EC8B061100000080522E5F4019000000C025A1E03F20372841
sensor/EA101/energy/report
```

Fonte: Autoria própria

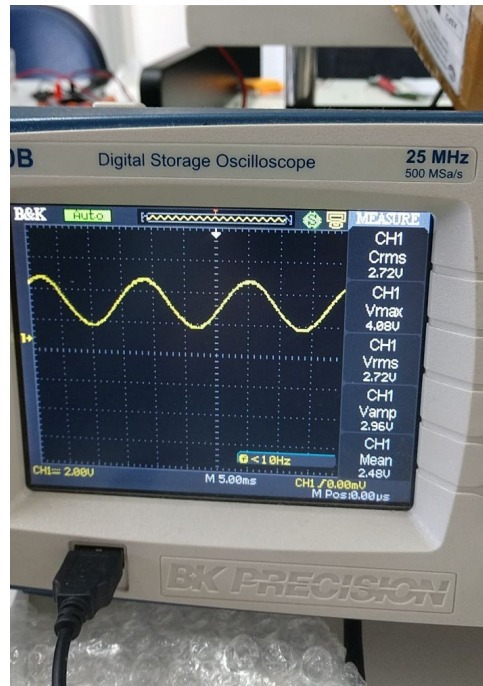
3.6 AJUSTE DOS SENSORES

As subseções seguintes descrevem o procedimento de ajuste para o sensor de tensão, sensor de corrente e sensor de fluxo.

3.6.1 TENSÃO

O módulo ZMPT101B possui um potenciômetro *trimpot* de ajuste, que altera a amplitude do sinal de saída do módulo. Para obter uma maior resolução de leitura, foi necessário ajustar o potenciômetro para a máxima amplitude, sem que a senoide fosse ceifada em seus picos. Para isso, utilizou-se o osciloscópio Bk Precision 2530B e a forma de onda obtida pode ser conferida na Figura 37.

Figura 37 – Forma de onda de saída do módulo ZMPT101B



Fonte: Autoria própria

Com a saída do sensor ajustada, os valores adquiridos foram comparados com a leitura de um multímetro Minipa ET-1002, ilustrado pela Figura 38. O valor de conversão por degrau do ADC foi ajustado, resultando numa leitura com erro inferior a 1%, conforme será descrito na seção Testes de Medição.

Figura 38 – Multímetro Minipa ET-1002



Fonte: (MINIPA, 2021)

3.6.2 CORRENTE

Conforme a Figura 20, o ACS712ELCTR-20A possui uma saída linear que varia entre 0,5V e 4,5V, correspondendo a faixa de corrente de -20A a 20A. Para verificar se a conversão dos degraus do ADC para o valor de corrente real estava correto, foi utilizado o medidor Hioki 3283 para comparação dos valores.

Figura 39 – Hioki 3283



Fonte: Autoria própria

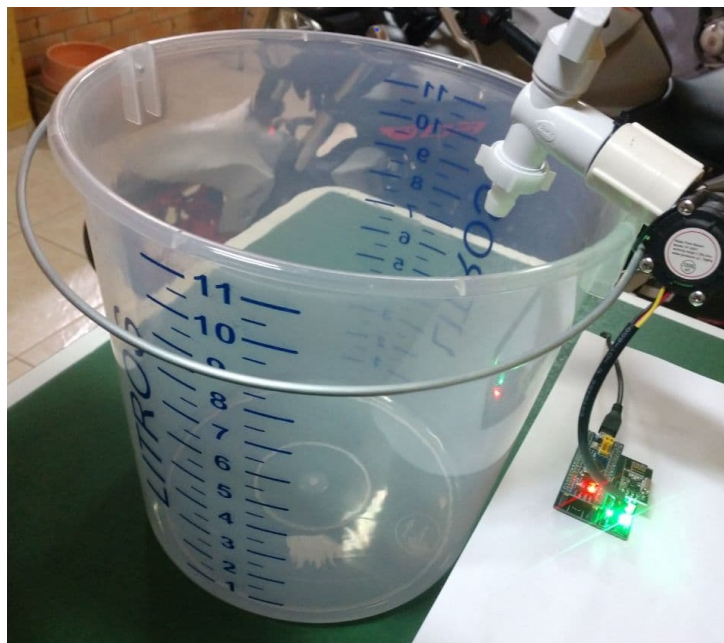
Com sensibilidade de $10\mu\text{A}$ e faixa de medição de 10mA - 200A, o medidor Hioki 3283 se apresentou como uma ótima opção para comparação dos valores medidos pelo ACS712. Baseado na leitura do Hioki, o valor de conversão por degrau do ADC foi ajustado, resultando numa leitura com erro inferior a 5%, conforme será descrito na seção Testes de Medição.

3.6.3 FLUXO

Como dito anteriormente, o sensor YF-S201 varia a frequência na sua saída conforme o fluxo instantâneo que passa pelo rotor. Essa alteração de frequência varia linearmente com a variação de fluxo. Para o ajuste de medição desse sensor, foram realizados alguns testes com um balde graduado de 12 l, conforme demonstrado pela Figura 40, variando o fluxo que passa pelo sensor.

Os valores amostrados de frequência são convertidos em fluxo, conforme a reta disponível no *datasheet* do YF-S201 exibido pela Figura 17. Em posse do volume total que passou pelo sensor (indicado pelo balde graduado), é possível determinar o grau de erro da leitura obtida. Foi necessário ajustar a reta utilizada como referência para obter uma leitura mais próxima do valor real.

Figura 40 – Sensor de fluxo e balde graduado



Fonte: Autoria própria

3.7 IMPLEMENTAÇÃO DO SERVIDOR

O servidor é a camada no sistema responsável pela agregação dos dados, consulta e disponibilização dos mesmos para o usuário da plataforma. Ele consiste de um banco de dados relacional, um *broker* MQTT para comunicação com os módulos centrais, uma aplicação desenvolvida em *Javascript* para receber os dados e salvá-los no banco de dados. O servidor também serve uma página *web* que apresenta os gráficos com os dados coletados pelos sensores. A Figura 41 demonstra a arquitetura geral do sistema, e como ela se encaixa no modelo de 3 camadas para IoT.

3.7.1 BANCO DE DADOS

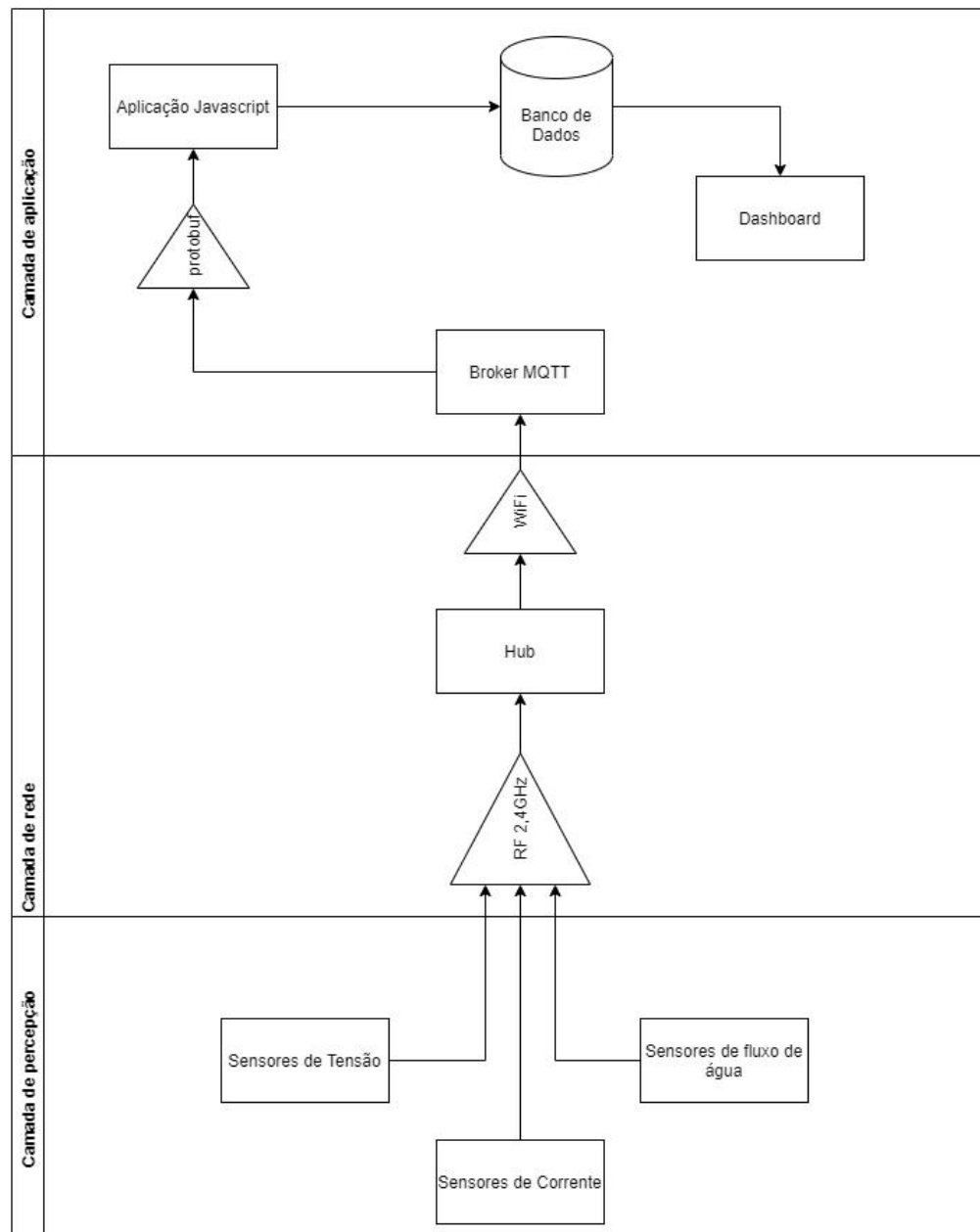
Utilizando o banco de dados relacional PostgreSQL, foi levantado um modelo que representa o sistema e é utilizado para armazenar e consultar os dados obtidos pelos sensores. A Figura 42 traz o modelo do banco em um diagrama relacional.

A tabela “Hub” representa o módulo central, e salva os dados referentes a ele. Essa tabela é utilizada para definir o módulo central como o dono dos sensores, onde a relação de 1 para muitos descreve que um “hub” pode ter muitos sensores.

A tabela “Sensor” descreve os dados referentes a um módulo de sensor, essa possui uma relação com os dados gerados pelos sensores de um para muitos também, pois um sensor registrado pode gerar muitos dados, e estes serem consultados a partir da chave primária dos sensores.

Na tabela “Data” estão descritos os campos referentes ao dados gerados pelos sensores.

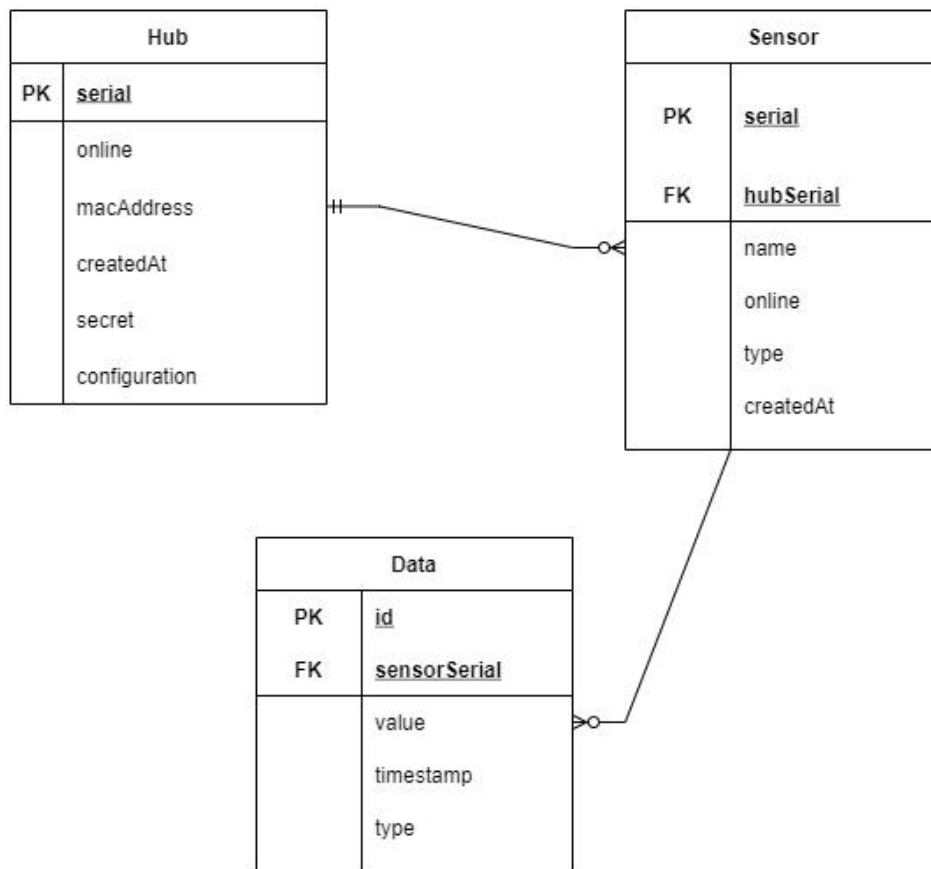
Figura 41 – Arquitetura do sistema aplicada no modelo de 3 camadas para IoT



Fonte: Autoria própria

A coluna “value” salva o valor da medição em si. Já a coluna “timestamp”, guarda a data e hora em que o dado foi lido. Essa informação é enviada pelo módulo central quando ele reporta uma mensagem de medição. O campo “type” representa o tipo da medição realizada, podendo esse ser um dado de: potência ativa, potência aparente, tensão, corrente e fluxo de água. Esse campo é utilizado nas consultas para separar os tipos de medições realizadas e poder fazer os cálculos necessários para mostrar em gráficos.

Figura 42 – Modelo relacional do Banco de Dados



Fonte: Autoria própria

3.7.2 APLICAÇÃO JAVASCRIPT

Para agregar traduzir os dados recebidos pelos módulos, e salvá-los no banco, foi desenvolvida uma aplicação em Javascript que funciona como um cliente MQTT e um cliente do banco de dados. Como cliente MQTT o programa se inscreve nos tópicos em que os módulos centrais enviam dados, e decodifica as mensagens serializadas recebidas com o protobuf. Ao efetuar a desserialização, os dados são salvos no banco de dados através de uma interface capaz de rodar comandos SQL.

A aplicação é capaz de receber os dados e água e energia elétrica, bem como é capaz de receber as informações sobre os módulos e registrá-los automaticamente no banco de dados. Assim evitando a inserção manual dos mesmos. O programa também é capaz de receber um evento de conexão e desconexão dos módulos centrais, podendo alterar o campo “online” da tabela “Hub”.

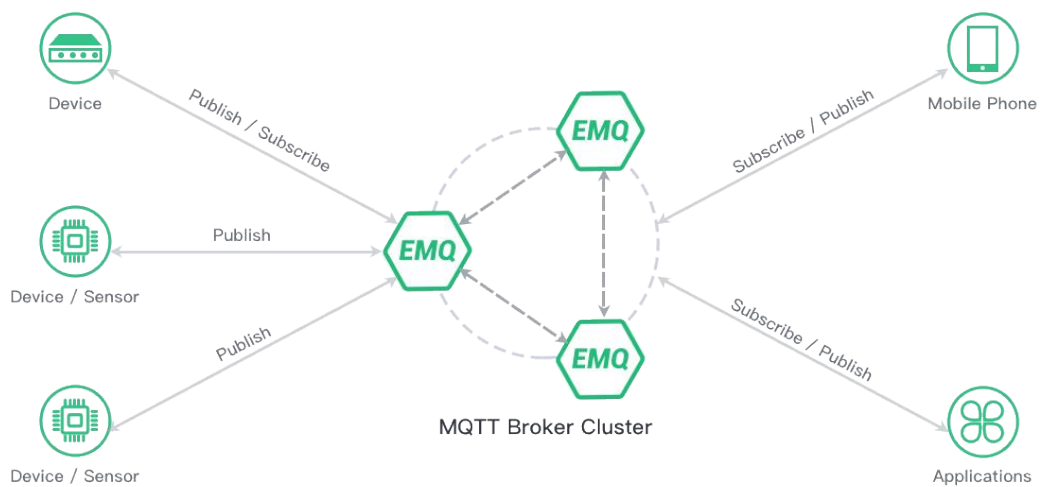
Para executar o código desenvolvido, foi utilizado o *software* NodeJS, que consiste de um interpretador da linguagem Javascript capaz de ser executado diretamente pelo sistema operacional, sem a dependência de um navegador.

3.7.3 BROKER MQTT

O *Broker* MQTT funciona como o servidor para a conexão dos módulos centrais e como *gateway* para repassar as informações para os níveis mais acima. Ele é responsável por repassar as mensagens para os clientes conectados, e gerenciar os tópicos publicados e inscritos.

O *software* utilizado como *broker* MQTT foi o EMQX, desenvolvido pela empresa EMQ Technologies, a versão gratuita tem código aberto e pode ser instalado em qualquer computador. A Figura 43 demonstra um diagrama com o exemplo de funcionamento do sistema.

Figura 43 – Diagrama de funcionamento do *broker* MQTT



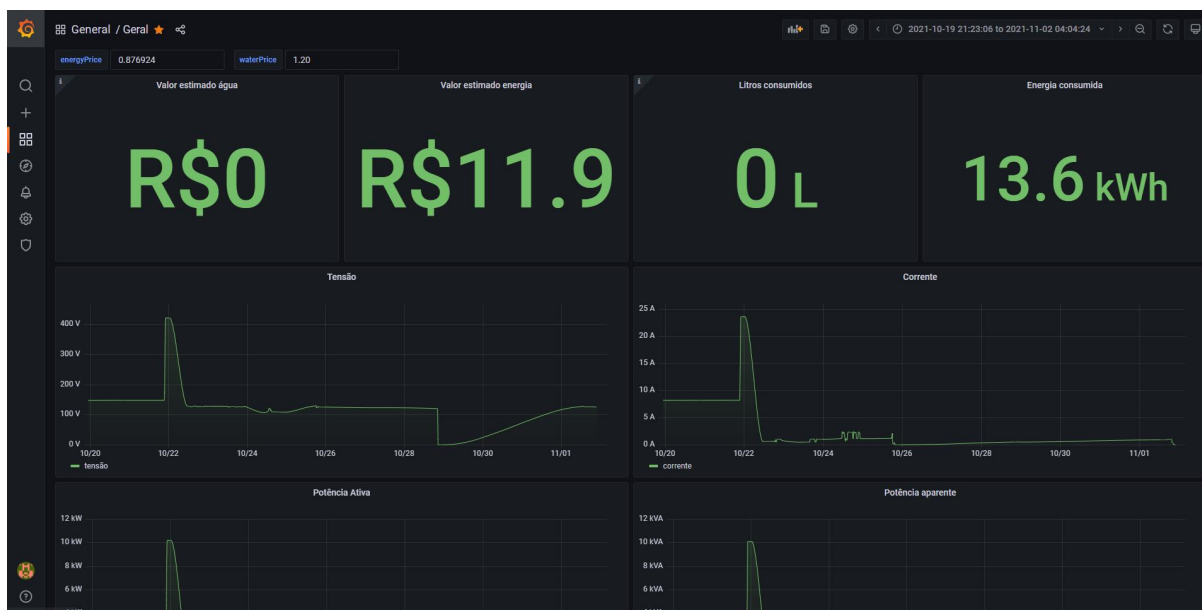
Fonte: (EMQ TECHNOLOGIES, 2021)

3.7.4 GRAFANA

Para apresentar os dados recebidos ao usuário, foi utilizada uma ferramenta de construção de painéis de gráficos chamada *Grafana*. Esse software é utilizado em um navegador *web* e pode ser acessado tanto de computadores de mesa, quanto *smartphones*. Nele é permitido criar estruturas de gráficos baseados em tempo, mostradores de porcentagem, tabelas e entre outras formas de apresentação de dados.

Para agregar os dados e mostrá-los, é necessário estabelecer uma fonte de dados e consultá-la. No caso do sistema proposto, a fonte consultada foi o banco de dados PostgreSQL e a forma de consulta foi a linguagem de busca SQL. Para cada gráfico apresentado, foi escrita uma *query* SQL onde nela foram filtrados os dados desejados para mostrar no gráfico. A pesquisa também se baseou no intervalo de tempo em que o valor de medição foi registrado.

Na Figura 44, é demonstrado um exemplo de painel criado com o auxílio do Grafana. Este exemplo é um *dashboard* que mostra os valores que um sensor de energia específico mediu.

Figura 44 – Captura de tela do *dashboard*

Fonte: Autoria própria

3.8 APRESENTAÇÃO DOS DADOS

Esta seção demonstrará mais detalhadamente a implementação dos painéis, bem como particularidades de cada um.

3.8.1 PAINÉIS

O projeto consiste de três painéis (*dashboards*). O primeiro é um resumo total dos sensores, onde são mostrados os valores agregados sem filtrar um módulo específico. Este *dashboard* apresenta gráficos de consumo de energia total, média de tensão, corrente, potência ativa e aparente, média de fluxo de água, soma dos gastos totais de água e energia e gastos em um período (também de água e energia separadamente). Nele é possível entrar com os valores de kWh e de m^3 por hora da região do usuário.

Já os outros dois *dashboards* trazem dados específicos a um módulo, onde é possível escolhê-lo através de um menu de seleção. No painel de sensor de energia, são mostrados os dados relacionados à energia elétrica como: tensão, corrente, potência ativa e aparente medidas em tempo real, e os mesmos gráficos presentes no *dashboard* geral, porém filtrados para o sensor consultado. No painel de sensor de água, os gráficos apresentados são de fluxo instantâneo, e, igualmente ao painel geral, os gráficos de fluxo e gastos.

3.8.2 GRÁFICOS

Os gráficos presentes nos *dashboards* são gerados a partir do banco de dados. Em cada gráfico mostrado é executada uma consulta com os filtros e cálculos para mostrar a representação

visual dos dados.

Em gráficos onde o tempo é a variável independente, é utilizada uma variável do próprio Grafana que determina o intervalo de tempo em que os dados serão agregados de alguma forma (função de soma, média, desvio padrão e etc). Por exemplo, em um período de amostra de uma hora, os “pedaços de tempo” serão de um minuto, sendo assim, os dados (que são registrados a cada segundo no banco de dados) serão somados nesse intervalo de um minuto e serão mostrados como apenas um ponto no gráfico.

Nesta seção será explicado somente a implementação dos gráficos gerais, para os painéis que mostram valores específicos de cada sensor, é utilizado a mesma técnica do gráfico geral, apenas filtrando a consulta por sensor.

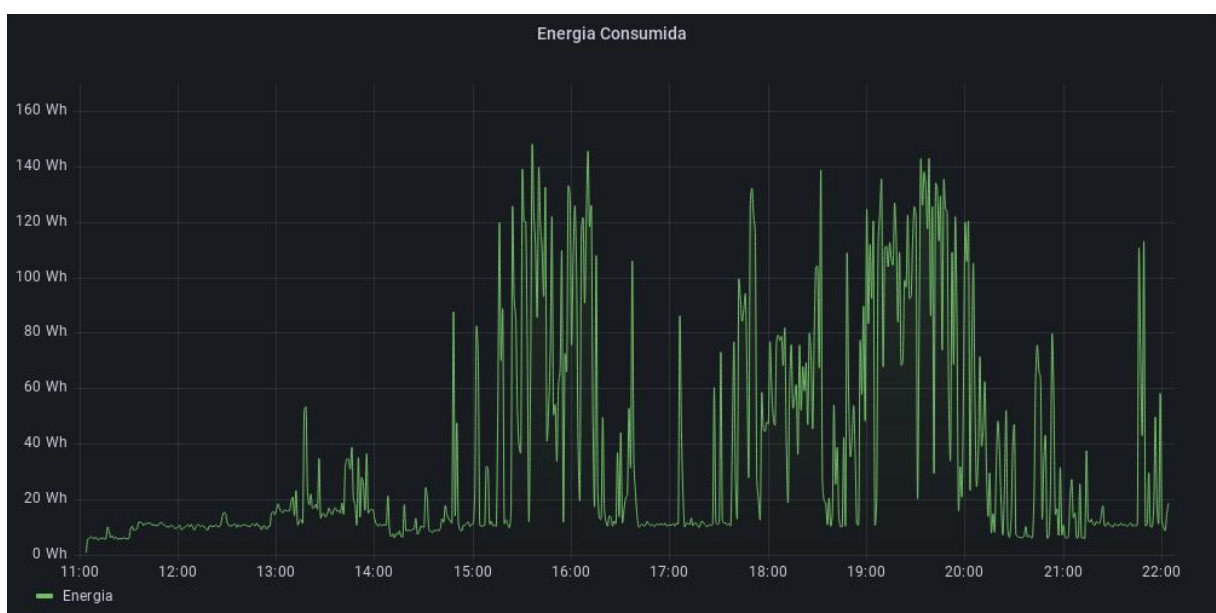
3.8.2.1 ENERGIA CONSUMIDA

Neste gráfico, apresentado na Figura 45, é mostrada a energia consumida em função do tempo. A consulta utilizada retorna o valor de potência ativa medida através dos sensores de energia e retorna também o tempo agrupado. A relação matemática apresentada em (14) foi utilizada para calcular a energia através da potência ativa:

$$E = \frac{\sum_i^n P(i)}{3600}. \quad (14)$$

Esta relação tem como resultado um ponto do gráfico como mostrado na Figura 45. Onde n é o tempo máximo do intervalo, e i é o que é percorrido no conjunto de potências no intervalo.

Figura 45 – Consumo de energia



Fonte: Autoria própria

3.8.2.2 GASTOS DE ENERGIA

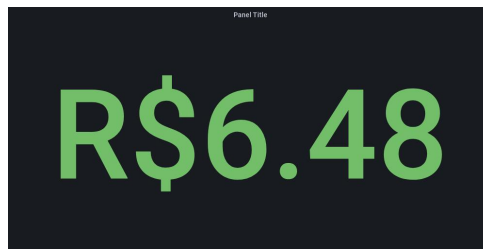
Para mostrar os gastos de energia do período, foi utilizada uma função capaz de mostrar um valor fixo na tela. Esse valor é a soma de todos os gastos no período escolhido. A seguinte equação (15) traz o cálculo em reais do kWh :

$$Preco = \frac{\sum_i^n P(i)}{3600} * \frac{precokWh}{1000}. \quad (15)$$

A relação (15) traz o mesmo cálculo de (14), porém adicionando a conversão de Wh para kWh (dividindo por 1000) e multiplicando pelo preço do kWh fornecido pela concessionária de energia do estado. A diferença para (14) é de que ao invés de se calcular apenas um ponto para o gráfico, é calculada a soma de todas as entradas de potência no período.

No caso do exemplo da Figura 46, o preço do kWh utilizado foi de R\$ 0,869 referente ao grupo de consumo acima de 220 kWh na bandeira vermelha patamar 2 (dado obtido na fatura de energia da Copel).

Figura 46 – Quadro de Preço da energia



Fonte: Autoria própria

3.8.2.3 TENSÃO, CORRENTE, POTÊNCIA E FLUXO DE ÁGUA

Os gráficos de tensão, corrente, potência e fluxo de água compartilham da mesma equação, apenas mudando o valor utilizado. O cálculo para mostrar no gráfico é feito através da média das amostras entre um intervalo. Em (16) é mostrado o cálculo efetuado e tem como exemplo, a utilização dos valores de tensão:

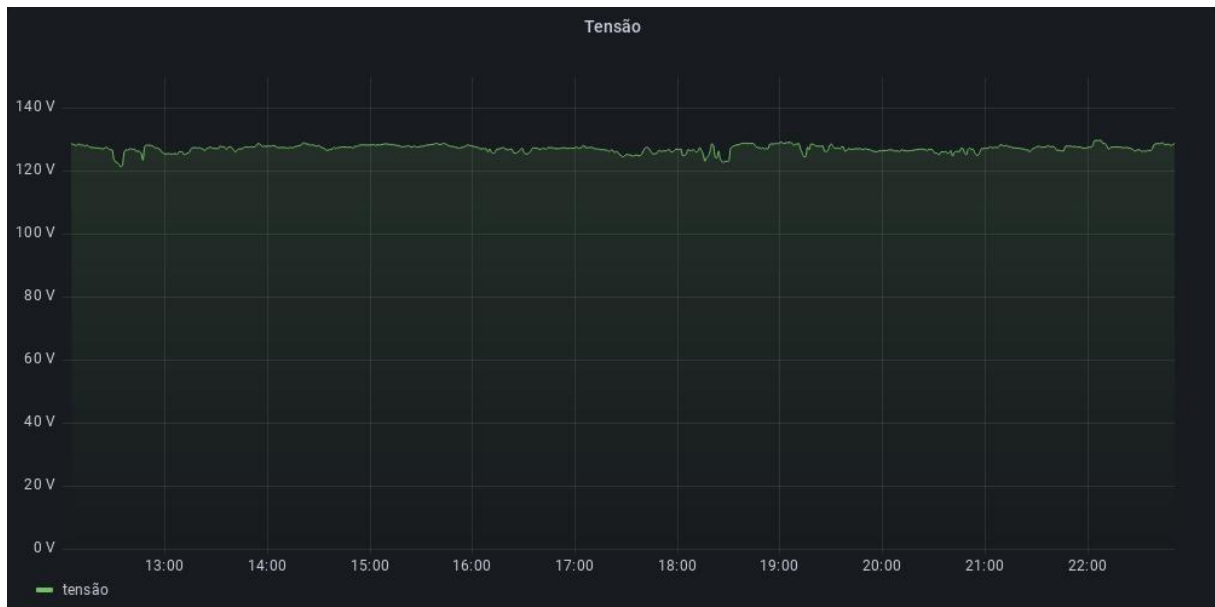
$$V = \frac{\sum_i^n V(i)}{n}, \quad (16)$$

onde V representa um ponto no gráfico, n é o número de amostras presente no intervalo e i é o valor percorrido no conjunto de tensão. A Figura 47 traz um exemplo de gráfico de tensão.

3.8.2.4 GASTOS DE ÁGUA

Nesta seção, estão presentes dois gráficos, mostrados na Figura 48. O gráfico à direita mostra o consumo total de água, em litros, no período especificado, seu cálculo é feito de acordo

Figura 47 – Média da tensão pelo tempo



Fonte: Autoria própria

com (17). Já o gráfico à esquerda, mostra o gasto previsto em reais da quantia de água consumida no período de acordo com (18).

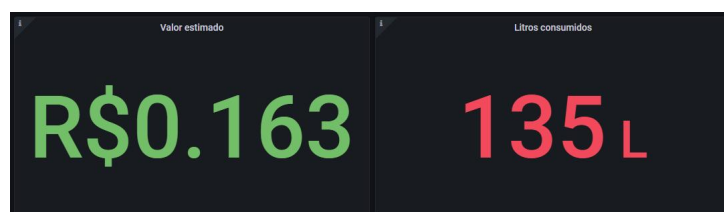
$$V = \frac{\sum_i^n V(i)}{1000}, \quad (17)$$

onde V é o volume de água em litros, n o número de amostras no intervalo e i o valor de tempo percorrido. Como o valor obtido pelo sensor de fluxo hídrico é em mililitros, é necessária a conversão para mostrar em litros, dividindo o resultado do somatório por mil.

Aplicando (17) na equação abaixo, resulta-se no valor gasto em reais da quantia consumida. Onde V é o volume consumido, obtido pela equação anterior.

$$\text{Preco} = \frac{V * \text{PrecoMetroCubico}}{1000} \quad (18)$$

Figura 48 – Figura (a) à esquerda, valor em reais estimado. Na Figura (b) à direita, consumo estimado em litros



Fonte: Autoria própria

4 MÉTODOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesse capítulo são abordados os métodos utilizados para testar todo o sistema desenvolvido e também uma análise dos resultados obtidos. Os testes realizados foram divididos em testes unitários para cada módulo de (*hardware*) desenvolvido. Neste caso foram testados a comunicação entre os módulos, o repasse para o servidor e testes de medição realizados.

4.1 TESTES DE *HARDWARE*

Com as placas montadas, a integridade das mesmas foi verificada a fim de evitar qualquer curto-circuito, principalmente na parte *CA* tanto do *Hub* quanto dos sensores. Confirmando a ausência de curtos, as placas foram alimentadas (110 Vac e 220 Vac para o *Hub* e USB para os sensores) e foi verificado os pontos de tensões importantes, como a saída da fonte *BUCK* no módulo central, confirmando os 5V, a saída do regulador de tensão, fornecendo os 3,3V para o NRF e para o ESP32. Para os sensores verificou-se a alimentação de 5V para os *chips* dos sensores e o 3,3V do próprio STM32.

Dado que a alimentação estava correta, iniciaram-se os testes de *burn-in*, todas as placas utilizadas passaram por um período de sete dias ligados continuamente, durante esse período não houve nenhuma falha de alimentação nem desligamentos inesperados, as temperaturas das placas foram verificadas durante o decorrer dos dias nos principais pontos de aquecimento. Todos os valores verificados se mantiveram dentro dos níveis ideais descritos nos respectivos *datasheets*, tendo a maior temperatura sido registrada no regulador linear de tensão (AMS1117) em torno dos 60°C.

4.2 TESTES DE MEDIÇÃO

De forma semelhante a calibração realizada para cada sensor, realizaram-se diversos testes de medição para comprovar a validade e precisão dos dados adquiridos por cada módulo.

4.2.1 TENSÃO

Para a medição de tensão elétrica, após calibrar o sensor, realizou-se o ajuste na conversão dos valores lidos pelo ADC, comparando as medidas instantâneas com a leitura de um multímetro digital conectado a rede elétrica. O maior erro registrado foi de 0,86%. Portanto, pode-se dizer que a taxa de medição de tensão elétrica possui um erro inferior a 1%. A Tabela 3 exibe a comparação de 10 medições realizadas e a taxa de erro em cada uma delas:

Multímetro (V)	Módulo (V)	Erro (%)
120,5	121,2	0,581
122,8	123,2	0,326
123,6	124,3	0,566
123,9	124,5	0,484
125,1	124,8	0,240
127,6	127,7	0,078
127,7	128,8	0,861
128,6	128,8	0,156
128,8	129,0	0,155
129,1	129,1	0,000

Tabela 3 – Leitura Tensão Elétrica - Multímetro x Módulo.

4.2.2 CORRENTE

Para a medição de corrente elétrica, após calibrar o sensor, realizaram-se várias medições com diferentes cargas conectadas ao módulo, a fim de variar a corrente consumida e comparar a leitura desde centenas de mA até cerca de 10A. Como referência de medição, utilizou-se o medidor Hioki 3283. A tabela 4 exibe a comparação de 11 medições realizadas e a taxa de erro em cada uma delas. O maior erro registrado foi de 4,75%. Portanto, pode-se dizer que a taxa de medição de corrente elétrica possui um erro inferior a 5%.

Medidor de Corrente (A)	Módulo (A)	Erro (%)
0,217	0,225	3,687
0,472	0,455	3,602
0,517	0,494	4,449
0,815	0,790	3,067
1,262	1,322	4,754
1,586	1,613	1,702
5,445	5,452	0,129
5,933	5,928	0,084
6,718	6,725	0,104
8,917	8,932	0,168
9,227	9,325	1,062

Tabela 4 – Leitura Corrente Elétrica - Multímetro x Módulo.

4.2.3 FLUXO

Para a medição de fluxo, utilizou-se um balde graduado para testar a precisão de leitura. Após realizar vinte medições variando a pressão que passa pelo sensor e o volume de água, ajustou-se a função de conversão no *firmware*. A taxa de erro obtida foi inferior a 10%.

4.3 TESTES DE COMUNICAÇÃO

Para testes e validação do sistema de comunicação entre os módulos, foi desenvolvido um *firmware* especial contendo apenas a parte de envio e recepção de mensagens. Com isso, de maneira empírica, diferentes configurações foram testadas para a transmissão dos dados a fim de encontrar o alcance máximo possível pelo dispositivo. Configurando a taxa de transmissão para 250kbps e a potência máxima disponível, foi obtido um alcance de 25 metros com paredes, tornando-se um valor aceitável para aplicações residenciais.

Para os testes de comunicação com o servidor, realizou-se um teste de consumo de dados diário para cada módulo. Levando em conta que a maior mensagem serializada enviada pelo sensores é de 32 Bytes e fazendo o envio da informação a cada segundo, em um período de 24 horas, tem-se um total de 2,6367 MB ao final do dia. Resultando um baixo consumo de banda diária com um bom nível de detalhamento de dados.

4.4 ANÁLISE DE CUSTOS

A Tabela 5 apresenta uma análise dos custos para a produção de um *kit* de monitoramento, ou seja, um *hub*, um sensor de fluxo de água e um sensor de consumo de energia elétrica¹.

Item Nº	Componente	Quantidade	Preço Total (R\$)
1	STM32F103 (Bluepill)	2	R\$43,78
2	NRF24L01	3	R\$15,63
3	ACS712 (Sensor de corrente 20A)	1	R\$6,66
4	ZMPT101B (Sensor de tensão)	1	R\$8,28
5	YF-S201 (Sensor de fluxo)	1	R\$18,76
6	PCB módulo Hídrico	1	R\$2,51
7	PCB módulo Energia	1	R\$2,51
8	PCB módulo Central	1	R\$2,00
9	Componentes para PCB módulo Central	1	R\$25,62
10	Frete componentes	-	R\$14,41
11	Frete PCB	-	R\$115,14
12	Total (sem frete)	-	R\$125,75
13	Total (com frete)	-	R\$255,30

Tabela 5 – Tabela de custos para desenvolvimento

¹Vale ressaltar que os valores são referentes ao período de fevereiro de 2021, e ainda para a compra das PCB's houve tributação federal no valor de 100% do valor, sendo assim os itens 6, 7, 8, 9 e 11 acabaram com o valor dobrado

5 CONCLUSÃO

O sistema teve como proposta esclarecer os gastos residenciais ao efetuar o monitoramento dos recursos disponíveis nas casas. Tendo em vista a crise hídrica e energética que o país vem sofrendo nos últimos anos, é muito importante que as pessoas saibam onde está o consumo mais expressivo em suas residências. Durante a implementação do projeto e com a análise dos dados obtidos, foi possível tomar consciência de que o consumo energético através de diversos dispositivos em uma residência pode ter um custo monetário significativo, muito além do que se imagina por serem aparelhos comuns do dia a dia, e também, em relação ao consumo de água ficou perceptível que é possível gastar um grande volume em pouco tempo caso não seja feito um uso consciente deste recurso.

O resultado final do projeto desenvolvido trouxe um sistema completo, capaz de medir os gastos e fornecer relatórios confiáveis das despesas geradas pelo consumo dos recursos água e energia elétrica em uma residência, foi possível realizar a medição do fluxo de água na entrada de uma caixa de água e também a medição de tensão e corrente consumida em tomadas de até 20 A, os dados após enviados para o módulo central através de comunicação sem fio, foram retransmitidos com sucesso para um servidor em nuvem que alimenta um painel virtual com as informações coletadas.

Este projeto, pode trazer um grande benefício para a preservação e economia dos recursos energéticos e hídricos do Brasil. Ao efetuar uma análise do panorama geral dos dados obtidos, é possível gerar modelos de ação com o objetivo de melhorar a conscientização de utilização dos recursos e melhorar o controle do consumo das residências. Uma vez que quantificando todos os gastos torna-se mais tangível a grandeza dos mesmos, simples ações como apagar as luzes e tomar um banho mais curto podem fazer uma grande diferença no consumo total ao final do mês e a longo prazo uma mudança grande para toda a sociedade.

Ao colocar os dados gerados pelas residências na perspectiva de uma cidade inteira, é possível extrair informações muito úteis para a administração pública, ao se planejar campanhas e estratégias para economia dos recursos e entender o perfil de consumo dos cidadãos.

Com relação aos custos de desenvolvimento do sistema, foi obtido um valor bem atrativo se comparado a soluções já disponíveis no mercado, como o módulo medidor de consumo de energia MK114B da empresa Moko, custando cerca de R\$110,00 (sem contar impostos), ou o medidor de vazão Lcd K24, disponível por cerca de R\$340,00. Além de que todos os produtos já disponíveis são exclusivamente para a medição do consumo de água ou consumo de energia elétrica e na grande maioria sem oferecer o monitoramento via nuvem, enquanto a solução proposta oferece as duas leituras em um único sistema e acesso completo do monitoramento remoto, tornando esta aplicação muito mais atraente.

Com fácil instalação do sistema, outro diferencial que pode-se citar é a capacidade de expansão da rede de sensores, onde com apenas um *hub* central é possível adquirir e incluir

novos sensores, que tem um custo de produção inferior. Por fim, ao considerar um quadro de produção dos dispositivos, ou seja, sem utilizar módulos de desenvolvimento e considerando um volume maior de produção, o que reduz ainda mais o custo por unidade, tem-se então um projeto viável e uma boa proposta comercial.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Com o intuito de aprimorar e continuar esse trabalho, há a possibilidade de desenvolver um aplicativo específico para dispositivos móveis (Android e iOS) com o objetivo de fornecer maior controle ao usuário sobre os seus gastos residenciais relativos ao consumo de água e energia, bem como fornecer uma experiência de uso mais simplificada e objetiva. O aplicativo também pode fornecer uma gama de configurações maiores, como alarmes de consumo, agendar desligamentos de dispositivos e fechamento de válvulas hídricas, agrupamento de sensores por cômodo, e a possibilidade de separação por casas.

No quesito de *hardware*, é possível adicionar componentes ativos aos módulos, como por exemplo uma válvula solenoide, a fim de permitir que o usuário interrompa o fornecimento de água remotamente, ou então definir regras para cortar a água em determinados horários ou quando uma meta de consumo for atingida. Seria interessante também, inserir no módulo de medição de consumo de energia um relé, com as mesmas funções citadas para a válvula solenoide, criando assim um sistema de casa inteligente com monitoramento de gastos. Por fim, implementar o circuito completo (com fonte e sem utilizar módulos de desenvolvimento) para as placas dos sensores.

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, C. K.; SADIKU, M. N. O. **Fundamentos de circuitos elétricos**. 5. ed. [S.l.]: McGraw-Hill, 2013.

ALFACOMP. **Sensor Ultrassônico de Nível**. 2020. Disponível em: <<https://alfacomp.net/2021/01/01/medidor-ultrassonico-de-nivel/>>. Acesso em: 28 de junho de 2021.

ALMEIDA, C. F. M. **Medição de Vazão**. 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/3hInPKs>>. Acesso em: 01 de julho de 2021.

ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2019**. 2019. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura_informe_anual_2019-versao_web-0212-1.pdf>. Acesso em: 28 de junho de 2021.

ANA. **ANA declara situação crítica de escassez hídrica no Rio Paraná**. 2021. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/radioagencia-nacional/meio-ambiente/audio/2021-06/ana-declara-situacao-critica-de-escassez-hidrica-no-rio-parana>>. Acesso em: 30 de junho de 2021.

ANTUNES, P. I. T. D. C. **Medição de posição de rotor em mancal magnético através de sensor hall**. 2012. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3152/tde-10062013-152331/publico/dissertacao_Pedro.pdf>. Acesso em: 06 de julho de 2021.

AUGUSTIN, B. P. da Cunha e S. **Sustentabilidade ambiental: estudos jurídicos e sociais**. Universidade de Caxias do Sul, 2014. 486 p. ISBN 978-85-7061-746-0. Disponível em: <https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/Sustentabilidade_ambiental_ebook.pdf>.

BAÚ DA ELETRÔNICA. **Módulo NRF24L01**. 2021. Disponível em: <<https://www.baudaelectronica.com.br/modulo-nrf24l01-pa-lna-wireless-arduino-wifi-2-4ghz-longo-alcance-antena.html>>. Acesso em: 7 de outubro de 2021.

BAÚ DA ELETRÔNICA. **Sensor de Fluxo de Água 1/2"YF-S201**. 2021. Disponível em: <<https://www.baudaelectronica.com.br/sensor-de-fluxo-de-agua-1-2-yf-s201.html>>. Acesso em: 19 de julho de 2021.

BERTULANI, C. A. **O Efeito Hall**. 2005. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20051102111237/http://www.if.ufrj.br/teaching/hall/hall.html>>. Acesso em: 06 de julho de 2021.

BURNETT, R. **Understanding How Ultrasonic Sensors Work**. 2020. Disponível em: <<https://www.maxbotix.com/articles/how-ultrasonic-sensors-work.htm>>. Acesso em: 28 de junho de 2021.

CAPOBIANCO, J. P. **Crise hídrica é mistura de fenômenos normais e mudanças climáticas, diz biólogo**: Em entrevista à cnn, com o vice-presidente do ids, João Paulo Capobianco. São Paulo: CNN, 29 maio 2021.

DICIO. **Significado de Sustentabilidade**. 2021. Disponível em: <<https://www.dicio.com.br/sustentabilidade/>>. Acesso em: 06 de dezembro de 2021.

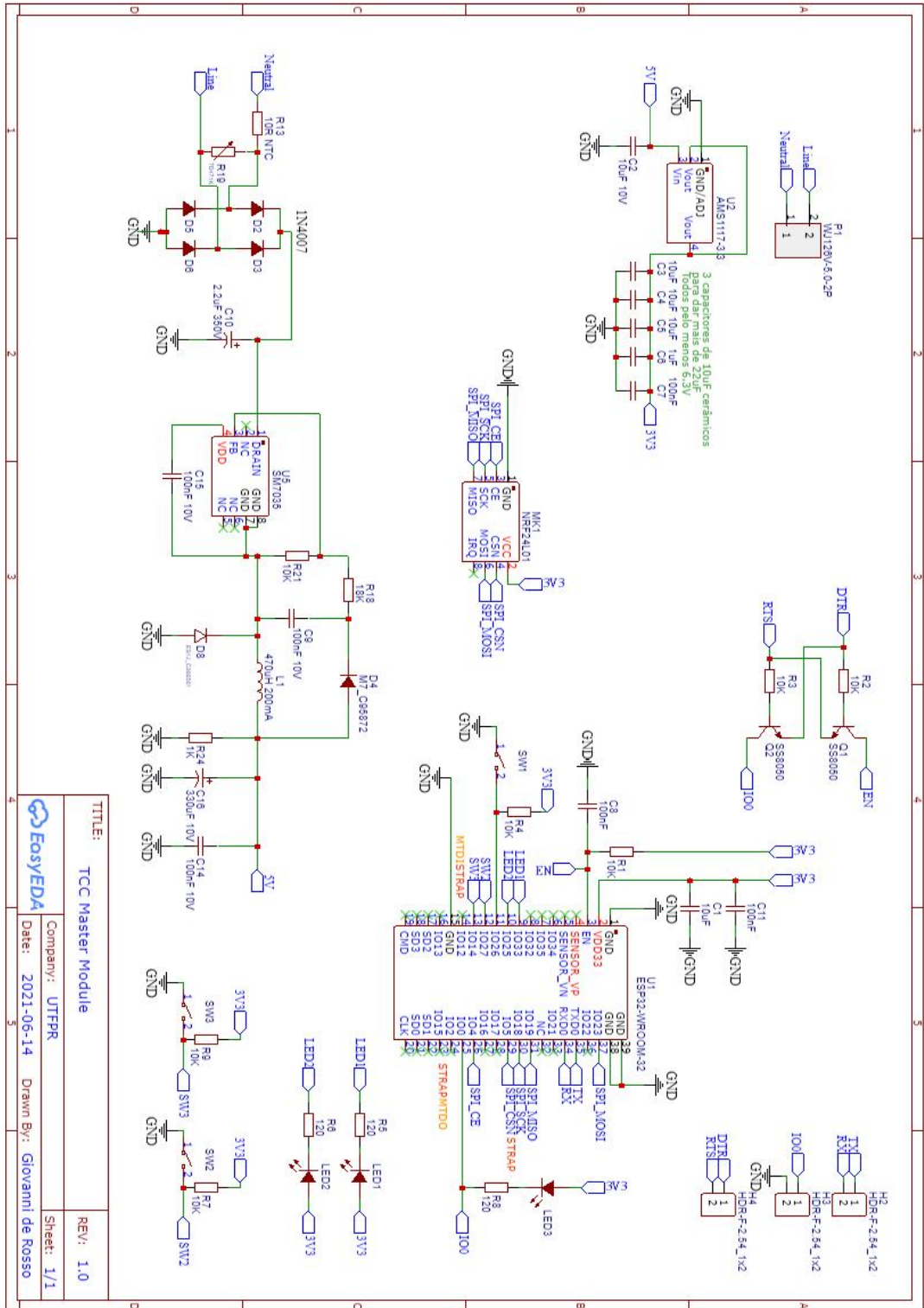
- EASYTRONICS. **Sensor Ultrassônico JSN-SR04T**. 2021. Disponível em: <<https://www.easytronics.com.br/jsn-sr04t-sensor-ultrassonico>>. Acesso em: 19 de julho de 2021.
- ELMASRI, S. B. N. R. **Sistemas de banco de dados**. [S.l.]: Pearson, 2011. v. 6.
- EMQ TECHNOLOGIES. **Introduction of MQTT Broker**. 2021. Disponível em: <<https://www.emqx.com/en/blog/mqtt-broker-server>>. Acesso em: 28 de outubro de 2021.
- ESPRESSIF. **Datasheet ESP32**. 2021. Disponível em: <https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf>. Acesso em: 2 de agosto de 2021.
- ETC2. **Datasheet ZMPT101B**. 2014. Disponível em: <<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1131993/ETC2/ZMPT101B.html>>. Acesso em: 21 de julho de 2021.
- FREERTOS. 2021. Disponível em: <<https://www.freertos.org/>>. Acesso em: 8 de novembro de 2021.
- GIACOMIN, J. C. **Circuitos Elétricos**. 2002. 3 p. Disponível em: <<http://algot.dcc.ufba.br/~giacomini/Com145/Eletricidade.pdf>>.
- GOOGLE. **Protocol Buffers**. 2021. Disponível em: <<https://developers.google.com/protocol-buffers>>. Acesso em: 13 de setembro de 2021.
- GOURLEY, D. et al. **HTTP: The Definitive Guide**. O'Reilly Media, Inc., 2002. 635 p. (Definitive Guides). ISBN 9781565925090. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=3EybAgAAQBAJ>>.
- GUDINO, M. **Engineering Resources: Basics of Analog-to-Digital Converters**. 2021. Disponível em: <<https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/engineering-resource-basics-of-analog-to-digital-converters>>. Acesso em: 18 de agosto de 2021.
- HERÉDIA, T. **Tarifa da bandeira vermelha 2 vai subir mais de 20%, diz diretor-geral da Aneel**: Conta também deve subir para cobrir custo com termelétrica. Brasil: CNN, 15 Junho 2021.
- HOBBYTRONICS. **Datasheet YF-S201**. 2021. Disponível em: <<https://www.hobbytronics.co.uk/datasheets/sensors/YF-S201.pdf>>. Acesso em: 4 de novembro de 2021.
- HUNKELER, U.; TRUONG, H. L.; STANFORD-CLARK, A. Mqtt-s — a publish/subscribe protocol for wireless sensor networks. In: **2008 3rd International Conference on Communication Systems Software and Middleware and Workshops (COMSWARE '08)**. [S.l.: s.n.], 2008. p. 791–798.
- JLPCB. 2021. Disponível em: <<https://jlcpcb.com/>>. Acesso em: 8 de novembro de 2021.
- JSON. **Introducing JSON**. 2021. Disponível em: <<https://www.json.org/json-en.html>>. Acesso em: 13 de setembro de 2021.
- LEMES, A. da S. **Apostila De Eletricidade Básica**. Presidente Epitácio - SP, 2015. 7 p. Disponível em: <<https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/images/4/47/ApostilaEB2.pdf>>.
- LIMA, G. **Breve Histórico sobre a Eletricidade**. [S.l.], 2017. Disponível em: <http://docente.ifrn.edu.br/gustavolima/disciplinas/eletricidade-instrumental-2017/aula_01_historico_eletricidade_notacao_cientifica>. Acesso em: 20 de junho de 2021.

- LIMA, G. H. M. de; CLEMENTE, E. de L. D. **Linhas de Transmissão CA X CC**. 2019. Disponível em: <https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/conapesc/2019/TRABALHO_EV126_MD1_SA6_ID1527_13082019141018.pdf>. Acesso em: 23 de junho de 2021.
- MAEDA, K. Performance evaluation of object serialization libraries in xml, json and binary formats. In: **2012 Second International Conference on Digital Information and Communication Technology and it's Applications (DICTAP)**. [S.l.: s.n.], 2012. p. 177–182.
- MAH, B. An empirical model of http network traffic. In: **Proceedings of INFOCOM '97**. [S.l.: s.n.], 1997. v. 2, p. 592–600 vol.2.
- MICROCONTROLLERSLAB. **Frequency Measurement using TM4C123 Timers in Input-Edge Capture Mode**. 2021. Disponível em: <<https://microcontrollerslab.com/frequency-measurement-using-tm4c123-timers-in-input-edge-capture-mode/>>. Acesso em: 31 de agosto de 2021.
- MICROSYSTEMS, A. **Datasheet ACS712**. 2007. Disponível em: <<https://www.sparkfun.com/datasheets/BreakoutBoards/0712.pdf>>. Acesso em: 14 de julho de 2021.
- MINIPA. **Multímetro ET-1002**. 2021. Disponível em: <<https://www.minipa.com.br/categoria/1/multímetros/8-et-1002>>. Acesso em: 1 de novembro de 2021.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional 2021**. 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>>. Acesso em: 01 de julho de 2021.
- MONTAJES, I. de Conexión y. **How to calculate the electrical resistance of a wire**. 2021. Disponível em: <<https://www.icmesp.com/en/calcular-la-resistencia-electrica-cable/>>.
- MSS ELETRÔNICA. **Módulo sensor de tensão AC 0-250V voltímetro ZMPT101B**. 2021. Disponível em: <https://www.msseletronica.com.br/detalhes/modulo-sensor-de-tensao-ac-0-250v-voltmetro-zmpt101b_pid1296.html>. Acesso em: 21 de julho de 2021.
- NAIK, N. Choice of effective messaging protocols for iot systems: Mqtt, coap, amqp and http. In: **2017 IEEE International Systems Engineering Symposium (ISSE)**. [S.l.: s.n.], 2017. p. 1–7.
- NAKASHIMA, K. **Valor Médio e Eficaz**. 2007. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5782438/mod_resource/content/1/rms.pdf>. Acesso em: 18 de julho de 2021.
- ORACLE. **O que é Big Data?** 2021. Disponível em: <<https://www.oracle.com/br/big-data/what-is-big-data/>>. Acesso em: 11 de novembro de 2021.
- PLATFORMIO. 2021. Disponível em: <<https://platformio.org/>>. Acesso em: 8 de novembro de 2021.
- RESCORLA, E. **The Transport Layer Security (TLS) Protocol Version 1.3**. 2018. Disponível em: <<https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc8446>>. Acesso em: 26 de outubro de 2021.
- ROCHA, R. D. C. **Projeto De Controlador De Temperatura Para Mantas Termoeletricas**. 2012. 129 p. Disponível em: <<http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/2339.pdf>>. Acesso em: 22 de julho de 2021.

- SAVEH, A. **A Disponibilidade da água no mundo e no Brasil**. 2021. Disponível em: <<https://saveh.ambev.com.br/artigos/a-disponibilidade-de-agua-no-mundo-e-no-brasil>>. Acesso em: 30 de junho de 2021.
- SCHUTZ, F. C. D. A. et al. Necessidade de água potável como estudo da crise mundial e suas descobertas. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 12, p. 100881–100886, 2020.
- SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO DO MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Fontes de energia renováveis representam 83% da matriz elétrica brasileira**. 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2020/01/fontes-de-energia-renovaveis-representam-83-da-matriz-eletrica-brasileira>>. Acesso em: 01 de julho de 2021.
- SEGUNDO, A. K. R.; RODRIGUES, C. L. C. **Eletricidade em CA**. Ouro Preto - MG, 2015. 40 p. Disponível em: <https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/413/2018/12/01_eletricidade_ca.pdf>.
- SILVA, M. F. da. **Eletricidade**. Santa Maria - RS, 2015. 25 p.
- SILVA, M. R. da. **Técnicas De Detecção De Fugas de água em tubulações para o uso em internet das coisas (IOT)**. 2018. 53 p.
- SMITH, G. **PostgreSQL 9.0: High Performance**. Packt Publishing, 2010. (Open source : community experience distilled). ISBN 9781849510318. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=OWOAu0GcsqoC>>.
- SOUTO, G. K. P. **Tomada Inteligente Com Aprendizado De Máquina Para Redes Elétricas Inteligentes**. 2019. 60 p.
- STMICROELECTRONICS. **Blue Pill STM32F103C8T6**. 2021. Disponível em: <<https://stm32-base.org/boards/STM32F103C8T6-Blue-Pill.html>>. Acesso em: 22 de julho de 2021.
- TEACHMEMICRO. **Building an Arduino Water Flow Meter**. 2019. Disponível em: <<https://www.teachmemicro.com/arduino-water-flow-meter/>>. Acesso em: 12 de julho de 2021.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS. **Fundamentos do setor elétrico**. 2015. 40 p. Disponível em: <http://www.labtime.ufg.br/modulos/aneel/mod4_uni1_sl4.html>. Acesso em: 23 de junho de 2021.
- USINAINFO. **ESP32 NodeMCU Iot com WiFi e Bluetooth - 30 Pinos**. 2021. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/nodemcu/esp32-nodemcu-iot-com-wifi-e-bluetooth-30-pinos-5147.html>>. Acesso em: 02 de agosto de 2021.
- USINAINFO. **Sensor de Nível de Água com Boia Horizontal**. 2021. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-nivel-arduino/sensor-de-nivel-de-agua-com-boia-horizontal-2580.html>>. Acesso em: 30 de junho de 2021.
- VSCODE. 2021. Disponível em: <<https://code.visualstudio.com/>>. Acesso em: 8 de novembro de 2021.
- ZHONG, C.-I.; ZHU, Z.; HUANG, R.-G. Study on the iot architecture and access technology. In: **2017 16th International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business, Engineering and Science (DCABES)**. [S.l.: s.n.], 2017. p. 113–116.

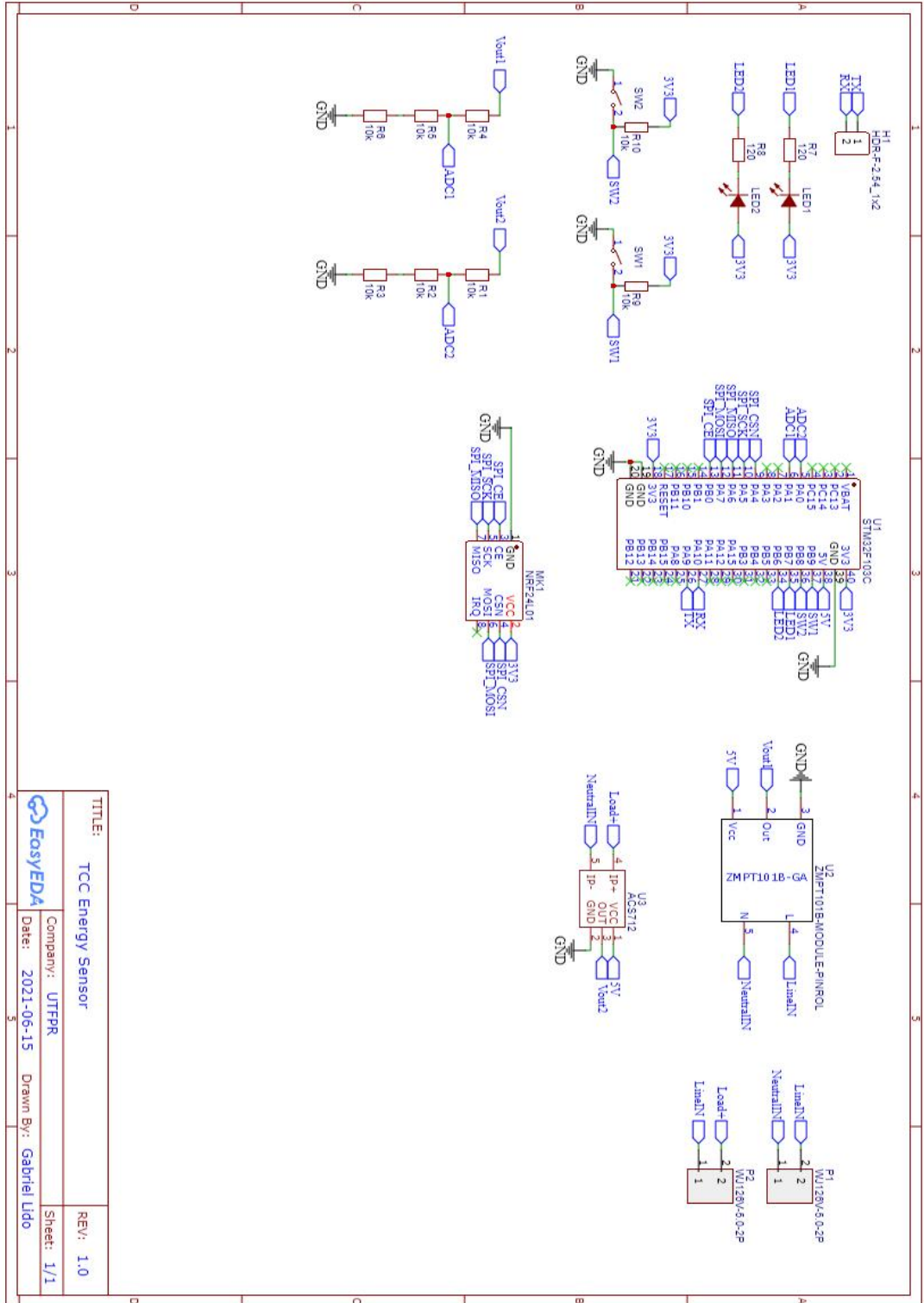
Apêndices

APÊNDICE A - ESQUEMÁTICO DO MÓDULO CENTRAL



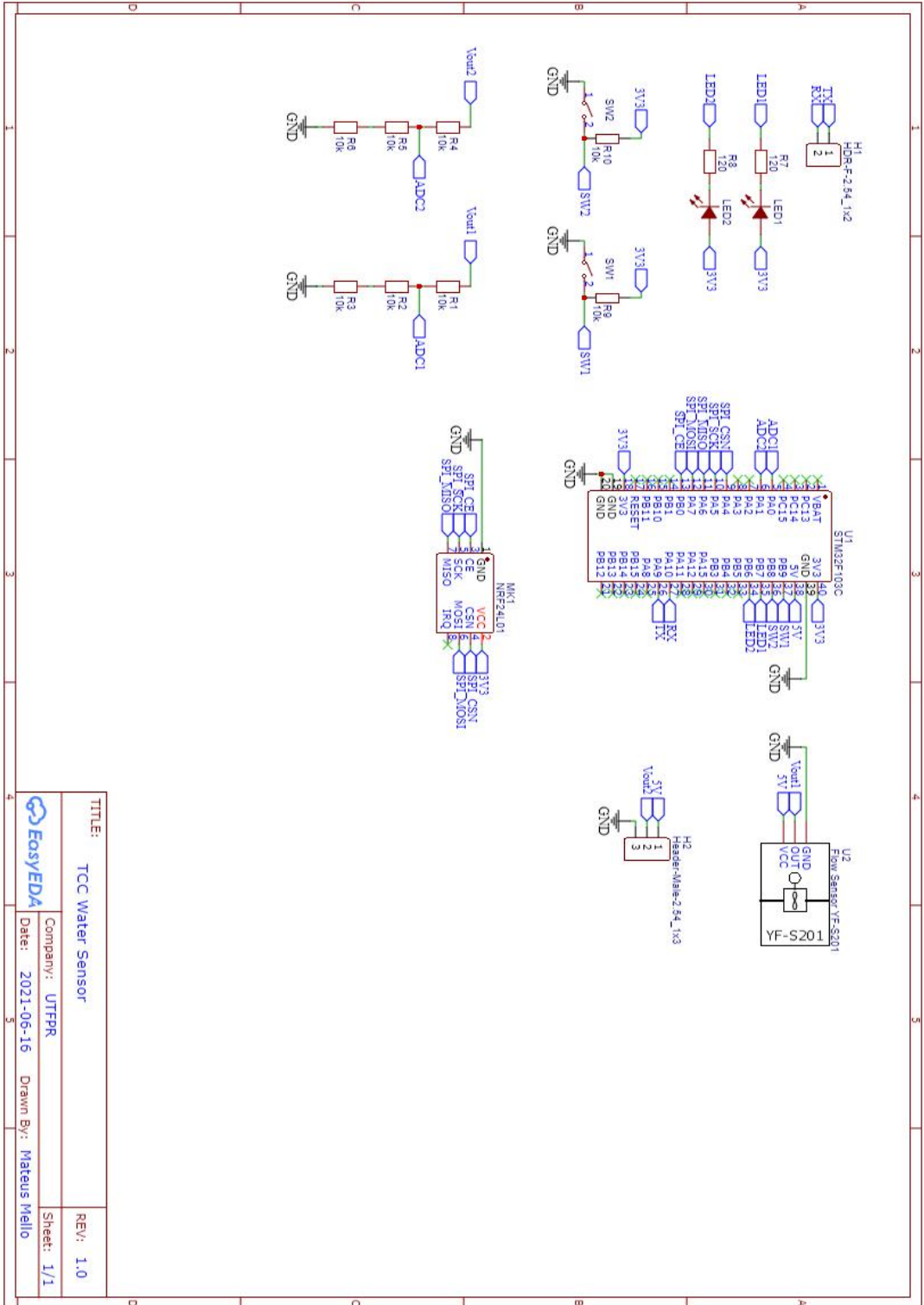
TITLE:	TCC Master Module	REV:	1.0
Company:	UTFPR	Sheet:	1/1
Date:	2021-06-14	Drawn By:	Giovanni de Rosso

APÊNDICE B – ESQUEMÁTICO DO SENSOR DE ENERGIA



TITLE:	TCC Energy Sensor	REV:	1.0
Company:	UTFPR	Sheet:	1/1
Date:	2021-06-15	Drawn By:	Gabriel Lido

APÊNDICE C – ESQUEMÁTICO DO SENSOR DE CONSUMO DE ÁGUA



TITLE:	TCC Water Sensor	REV:	1.0
Company:	UTFPR	Sheet:	1/1
Date:	2021-06-16	Drawn By:	Mateus Mello

Anexos

ANEXO A – ESQUEMÁTICO NRF24L01

