



## **DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE MEDIDOR ELETRÔNICO DE ENERGIA ELÉTRICA MONOFÁSICO UTILIZANDO REDE LORA**

**Railma Lima de Paula**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos – Mestrado Profissional, PPGEP/ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos.

Orientador: Rui Nelson Otoni Magno

Belém

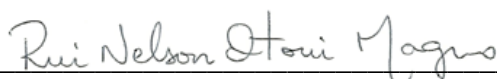
Novembro de 2021

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE MEDIDOR ELETRÔNICO DE  
ENERGIA ELÉTRICA MONOFÁSICO UTILIZANDO REDE LORA**

Railma Lima de Paula

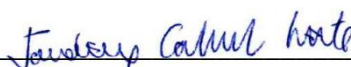
DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA PROCESSOS – MESTRADO PROFISSIONAL (PPGEP/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA DE PROCESSOS.

Examinada por:



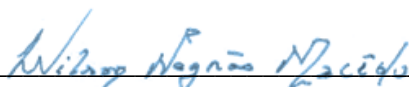
---

Prof. Rui Nelson Otoni Magno, Dr.  
(PPGEP/ITEC/UFPA-Orientador)



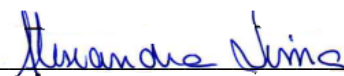
---

Prof. Jandecy Cabral Leite, Dr.  
(PPGEP/ITEC/UFPA-Coorientador)



---

Prof. Wilson Negrão Macêdo, Dr.  
(PPGEP/ITEC/UFPA-Membro)



---

Prof. Alexandra Amaro de Lima, Dra.  
(ITEGAM-Membro)

BELÉM, PA - BRASIL

NOVEMBRO DE 2021

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da UFPA**

---

de Paula, Railma Lima, 1979-  
Desenvolvimento de protótipo de medidor eletrônico de  
energia elétrica monofásico utilizando rede Lora / Railma  
Lima de Paula - 2021.

Orientador: Rui Nelson Otoni Magno

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal  
do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia de Processos, 2021.

1. Rede lora 2. Medidor eletrônico de energia I. Título

CDD 670.42

---

*Dedico este trabalho a Deus, minha  
querida família e amigos.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus porque até aqui com sua mão forte e poderosa me guiou, me conduzindo por um caminho brilhante. A Ele toda hora e toda glória (Amém)!

Ao meu orientador professor Dr. Rui Nelson Otoni Magno, pelo acompanhamento durante as pesquisas experimentais e pela assistência na elaboração desta dissertação.

Aos professores e colegas do PPGEP e do ITEGAM, que disponibilizaram todos os recursos possíveis para tornar este desafio mais fácil de ser concluído.

Aos meus pais, por terem me apoiado e incentivo para me aprofundar nos estudos. Ao meu amado esposo Neliomar Garcia, pelo apoio e cumplicidade nas horas difíceis deste trabalho, e à minha filha Bianca que veio a este mundo para tornar sua mãe a mulher mais feliz do mundo.

E agradeço de todo o meu coração ao meu amigo Marivan Silva Gomes e o Marcelo Maia Nascimento que me incentivaram a continuar pela busca desta realização, reconheço que o apoio deles foi fundamental para esse sucesso, minhas palavras não podem expressar tamanha gratidão.

*“Nunca é cedo demais para nos transformarmos no melhor que podemos ser”*

(George Eliot)

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGEP/UFPA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Processos (M. Eng.)

## **DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE MEDIDOR ELETRÔNICO DE ENERGIA ELÉTRICA MONOFÁSICO UTILIZANDO REDE LORA**

**Railma Lima de Paula**

Novembro/2021

Orientador: Rui Nelson Otoni Magno

Área de Concentração: Engenharia de Processos

Medidores de energia elétrica são equipamentos capazes de mensurar o consumo de energia elétrica de uma unidade consumidora. Os aparelhos de medição de energia elétrica, estão presentes na maioria das casas e habitações no mundo, desde uma pequena sala comercial a uma grande indústria. O presente estudo pode ser considerado de forma exploratória por proporcionar maior conhecimento sobre o tema, de natureza aplicada estabelecendo a prática dos problemas específicos da organização na intenção de resolvê-los e qualitativa buscando compreender seus conceitos, sob dois aspectos, pesquisa bibliográfica com o propósito de identificar as abordagens dos autores por meio de livros, teses, artigos, sites eletrônicos e, estudo de caso, com o objetivo de analisar o desenvolvimento de um protótipo de medidor de energia elétrica utilizando rede LoRa em uma empresa do Polo Industrial de Manaus. O medidor LoRa foi desenvolvido para suprir as seguintes necessidades das concessionárias de energia elétrica: Tarifação, Monitoramento a longa distância e qualidade dos serviços entregues para os clientes que estão distantes dos grandes centros urbanos e sem acesso à internet (áreas rurais). Com esse desenvolvimento foi possível monitorar o consumo de energia dos clientes, monitorar a qualidade de energia entregue, verificar de maneira segura e eficaz as intempéries as quais estão submetidos os medidores no seu local de instalação com medição da temperatura e umidade.

Abstract of Dissertation presented to PPGE/UFPA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Process Engineering (M. Eng.)

## **DEVELOPMENT OF SINGLE-PHASE ELECTRONIC ENERGY METER USING LORA NETWORK**

**Railma Lima de Paula**

November/2021

Advisor: Rui Nelson Otoni Magno

Research Area: Process Engineering

Electric energy meters are equipment capable of measuring the consumption of electricity in a consumer unit. Electrical energy metering devices are present in most homes and dwellings globally, from a small commercial room to large industry. This study can be considered exploratory because it provides greater knowledge on the subject of an applied nature, establishing the practice of specific problems of the organization to solve them, and qualitative, seeking to understand its concepts, under two aspects, bibliographical research with the purpose to identify the authors' approaches through books, theses, articles, electronic sites and, case study, to analyze the development of a prototype of an electric energy meter using a LoRa network in a company in the Manaus Industrial Center. The LoRa meter was developed to meet the following needs of electricity utilities: Pricing, long-distance monitoring, and quality of services delivered to customers far from large urban centers and without internet access (rural areas). With this development, it was possible to monitor customers' energy consumption, monitor the quality of energy delivered, and safely and effectively check the bad weather to which the meters are subjected at their installation site with measurement of temperature and humidity.



## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 - MOTIVAÇÃO.....	1
1.2 - OBJETIVOS.....	2
<b>1.2.1 - Objetivo geral.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2.2 - Objetivos específicos.....</b>	<b>2</b>
1.3 - CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO.....	3
1.4 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	3
<b>CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
2.1 - MEDIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA.....	5
2.2 - MEDIDORES ELETROMECHANICOS.....	5
<b>2.2.1 - Medidores eletrônicos.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.2 - Medidores inteligentes.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.3 - Principais ensaios e procedimentos.....</b>	<b>12</b>
2.3 - ENERGIA ELÉTRICA.....	13
2.4 - POTÊNCIA.....	14
<b>2.4.1 - Potência ativa.....</b>	<b>14</b>
<b>2.4.2 - Potência reativa.....</b>	<b>15</b>
<b>2.4.3 - Potência aparente.....</b>	<b>16</b>
<b>2.4.4 - Fator de potência.....</b>	<b>16</b>
<b>2.4.5 - Watt.....</b>	<b>17</b>
<b>2.4.6 - Kilowatt.....</b>	<b>17</b>
<b>2.4.7 - Kilowatt hora.....</b>	<b>18</b>
<b>2.4.8 - Diferença entre kW e kWh.....</b>	<b>18</b>
<b>2.4.9 - Convertendo kW em kWh.....</b>	<b>18</b>
<b>2.4.10 - Resistor <i>shunt</i>.....</b>	<b>18</b>
<b>2.4.11 - Unidades de medida de energia.....</b>	<b>19</b>
2.5 - INDÚSTRIA 4.0.....	20
<b>2.5.1 - Internet of things.....</b>	<b>21</b>
<b>2.5.2 - Big data.....</b>	<b>22</b>
2.6 - REDE LORA.....	23
<b>2.6.1 - Arquitetura da rede LoRa.....</b>	<b>24</b>

<b>2.6.2 - Principais benefícios para a internet das coisas.....</b>	<b>26</b>
<b>CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>
3.1 - MATERIAIS.....	27
<b>3.1.1 - Módulo sensor de corrente ACS712.....</b>	<b>28</b>
3.2 - METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....	29
<b>3.2.1 - Desenvolvimento experimental.....</b>	<b>30</b>
3.2.1.1 - Desenvolvimento de hardware mecânico e pneumático.....	32
3.2.1.2 - Desenvolvimento de hardware elétrico e eletrônico.....	43
3.2.1.3 - Desenvolvimento de software.....	45
3.3 - ANÁLISE DA MONTAGEM DO PROJETO.....	47
<b>3.3.1 - Arduino Nano ATmega 328P.....</b>	<b>48</b>
<b>3.3.2 - LoRa ESP32.....</b>	<b>49</b>
<b>3.3.3 - Comunicação serial.....</b>	<b>50</b>
<b>3.3.4 - Velocidade de comunicação serial.....</b>	<b>50</b>
<b>3.3.5 - Interface entre LCD12864 com Arduino Nano.....</b>	<b>51</b>
<b>3.3.6 - Interface entre LCD12864 com Arduino nano.....</b>	<b>52</b>
<b>3.3.7 - Módulo DTH22 - Sensor de temperatura e umidade.....</b>	<b>52</b>
<b>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>54</b>
4.1 - IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO.....	54
<b>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....</b>	<b>61</b>
5.1 - CONCLUSÕES.....	61
5.2 - SUGESTÕES.....	62
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXO I - CÓDIGO FONTE INTERFACE GRÁFICA.....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXO II - CÓDIGO FONTE DO MEDIDOR LORA.....</b>	<b>74</b>
<b>ANEXO III - CÓDIGO FONTE DO MATLAB.....</b>	<b>79</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Medidor de energia elétrica com ponteiros.....	6
Figura 2.2	Medidor de energia elétrica com mostrador ciclométrico.....	6
Figura 2.3	Elementos do medidor eletromecânico.....	8
Figura 2.4	Princípio de funcionamento do medidor eletrônico.....	9
Figura 2.5	Infraestrutura de medição inteligente.....	11
Figura 2.6	Resistor <i>shunt</i> comercial.....	19
Figura 2.7	Efeito hall.....	19
Figura 2.8	Pilares da Indústria 4.0.....	19
Figura 2.9	Distância x Vida útil da bateria.....	24
Figura 2.10	Arquitetura LoRaWAN.....	25
Figura 3.1	Modulo de corrente ACS712.....	28
Figura 3.2	Fluxograma do desenvolvimento do projeto.....	30
Figura 3.3	Arquitetura proposta do transmissor: Medidor de energia.....	31
Figura 3.4	Arquitetura proposta modulo receptor do medidor de energia....	31
Figura 3.5	Brainstorming do desenvolvimento do projeto.....	32
Figura 3.6	Vista perspectiva da base do medidor.....	33
Figura 3.7	Vista perspectiva da tampa do medidor.....	34
Figura 3.8	Vista perspectiva do bloco de terminais.....	35
Figura 3.9	Vista perspectiva da tampa do bloco de terminais.....	35
Figura 3.10	A, B, C - Circuito <i>shunt</i> , neutro e parafuso.....	36
Figura 3.11	Zincagem eletrolítica.....	37
Figura 3.12	Montagem mecânica do medidor.....	38
Figura 3.13	Desenhos 2D.....	38
Figura 3.14	Montagem do novo medidor.....	39
Figura 3.15	Circuito <i>shunt</i> .....	40
Figura 3.16	Circuito neutro.....	41
Figura 3.17	Montagem do bloco de terminais.....	41
Figura 3.18	Base do medidor.....	42
Figura 3.19	Tampa da base com display.....	42
Figura 3.20	Ligação eletrônico do sensor de corrente (ACS712).....	43
Figura 3.21	Datasheet do sensor de corrente ACS712.....	44

Figura 3.22	Circuito eletrônico para ligação do LCD 128x64.....	45
Figura 3.23	Interface do sistema LoRa para controle de medição.....	46
Figura 3.24	Circuito eletrônico com o auxílio do sensor de corrente ACS712.....	47
Figura 3.25	Ligação do Arduino Nano com o sensor de corrente.....	48
Figura 3.26	Conexão Arduino Nano com o Arduino LoRa.....	48
Figura 3.27	Diagrama Arduino Nano.....	49
Figura 3.28	ESP32 LoRa.....	50
Figura 3.29	Pinagem do barramento SPI do Arduino.....	51
Figura 3.30	LCD12864 interface ISP com o Arduino Nano.....	52
Figura 3.31	Sensor de temperatura e umidade DTH22.....	53
Figura 4.1	Todos os dispositivos conectados e funcionando.....	55
Figura 4.2	Dados recebidos pela interface do VsCode.....	56
Figura 4.3	Interface gráfica com o Matlab, leitura do consumo.....	56
Figura 4.4	Interface gráfica com o Matlab, todas as informações coletadas.	57
Figura 4.5	Interface mobile.....	57
Figura 4.6	Peças mecânicas do medidor 1.....	58
Figura 4.7	Peças mecânicas do medidor 2.....	58
Figura 4.8	Versão final do protótipo.....	59
Figura 4.9	Fixture de teste do medidor.....	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Ferramentas utilizados no trabalho.....	27
Tabela 3.2	Tecnologias utilizadas no trabalho.....	28
Tabela 3.3	Pinagens do sensor e Arduino.....	44
Tabela 3.4	Pinagens do display e Arduino.....	45

## NOMENCLATURA

AD	ANALÓGICO DIGITAL
AMI	ADVANCED METERING INFRASTRUCTURE
AMI	ADVANCED METERING INFRASTRUCTURE
BD	BIG DATA
BPS	BITS PER SECOND
CAD	COMPUTER-AIDED DESIGN
CSS	CHIRP SPREAD SPECTRUM
CSS	CHIRP SPREAD SPECTRUM
FP	FATOR DE POTÊNCIA
I	CORRENTE
IEDI	INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL
IIoT	INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS
IOE	INTERNET OF ENERGY
IOT	INTERNET OF THINGS
IP	INTERNET PROTOCOL
KW	QUILOWATT
KWH	QUILOWATT-HORA
LORA	LONG RANGE
NBR	NORMA BRASILEIRA
OMS	ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE
P	POTÊNCIA
RED	RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUÍDOS
REI	REDE ELÉTRICA INTELIGENTE
RTM	REGULAMENTO TÉCNICO METROLÓGICO
SG	SMART GRID
SM	SMART METER
TIC	TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO
TP	TRANSFORMADOR DE POTENCIAL
V	TENSÃO
VA	VOLT AMPÈRE

W            WATT  
WIFI        WIRELESS FIDELITY

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 - MOTIVAÇÃO

Medidores de energia elétrica são equipamentos capazes de mensurar o consumo de energia elétrica de uma unidade consumidora. Os aparelhos de medição de energia elétrica, estão presentes na maioria das casas e habitações no mundo, desde uma pequena sala comercial a uma grande indústria (BERGES, 2010). O uso dele é de extrema importância para a verificação e cálculo do consumo de energia elétrica do circuito elétrico que está interligado junto a ele. Dentre os medidores de energia elétrica convencionais, vem se destacando medidores eletrônicos, onde através da eletrônica, consegue-se obter maiores facilidade e inovação na maneira usual de se medir energia elétrica (SUN, 2015), (AVANCINI, 2019). O emprego de medidores de energia elétrica associados com redes de comunicação de dados vem com o intuito não só de diminuir o número de ocorrências de falhas, mas principalmente para fornecer mais informações em tempo real do usuário da rede elétrica e a busca da inovação do sistema elétrico no mundo (LEMERCIER *et al.*, 2018).

Existem basicamente dois tipos de medidores de energia elétrica, o medidor eletromecânico e o medidor eletrônico (KRISHNAMURTI *et al.*, 2012). Podendo variar entre medidores monofásicos, bifásicos e trifásicos, apresentando outras diversas características.

Com o avanço na tecnologia, em especial, no Sistema de distribuição de energia elétrica, percebeu-se uma modernização na aferição de consumo de energia elétrica, que antes, eram feitas através de leituras manuais por medidores eletromecânicos (KRISHNAMURTI, 2008). Os medidores eletrônicos, por sua vez, conseguem garantir uma leitura mais precisa dos consumos e em tempo real, o que o torna mais eficaz na aferição (MAKONIN *et al.*, 2015). Outro ponto de bastante importância, é o fato de quando interligado a uma rede, é possível acompanhar o consumo remotamente, evitando prejuízos de mão de obra e deslocamento para fazer as leituras (ANTMANN, 2009).

Com isso, o consumidor final pode ter uma energia de melhor qualidade, reduzindo problemas com interrupção e variações no sistema de energia. Com o uso dos



medidores de eletrônico, é possível obter vantagens significantes em comparação com os medidores de energia eletromecânicos (ZHOU, 2010), sendo elas:

- Automatização do processo de aferição de energia elétrica;
- Redução do tempo do funcionário em realizar as medições manuais;
- Acompanhamento em tempo real;
- Confiabilidade nas medições aferidas.

A empresa em estudo é o fornecedor líder de medição inteligente chinesa, distribuição e utilização de energia inteligente e solução integrada de gerenciamento de economia de energia com a missão de se comprometer a ser o “Especialista em Medição de Energia e Economia de Energia”. Em 2005 iniciou o desenvolvimento de soluções energéticas fora de seu país origem, em 2019 iniciou suas atividades em Manaus, buscando fornecer soluções em medidores eletrônicos de energia para todo território nacional.

Com o foco no desenvolvimento de medidores com mostrador de cristal líquido, observando-se a maior demanda do mercado os quais tiveram uma grande aceitação junto a seus clientes, a qual criou uma grande expectativa por outros produtos e a consequente necessidade de ampliação de sua linha de produtos. Este trabalho visa desenvolver um protótipo de medidor eletrônico de energia elétrica monofásico utilizando rede LoRa. Sua principal vantagem é estabelecer comunicação remota entre produto e a rede da concessionária.

## 1.2 - OBJETIVOS

### 1.2.1 - Objetivo geral

Desenvolver um protótipo de medidor eletrônico de energia elétrica monofásico utilizando rede LoRa.

### 1.2.2 - Objetivos específicos

- Desenvolver projetos mecânicos 3D;
- Desenvolver projetos de placa e circuitos eletrônicos do medidor monofásico;
- Desenvolver firmware em linguagem C/C++.

### 1.3 - CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho apresentou contribuições importantes para a área de medição de energia elétrica. Explorou a aplicação de características da Indústria 4.0, como Internet das Coisas e Big Data. As contribuições mais relevantes deste trabalho se estendem nos contextos tecnológico e empresarial.

No que diz respeito à tecnologia, um dispositivo LoRa consegue oferecer ótima relação entre potência de transmissão, sensibilidade do receptor em longas distâncias, baixo custo do hardware e uma baixa taxa de inconsistência na leitura das informações transmitidas. Em aplicações de IoT no campo, estas são características que auxiliam na implantação da conectividade rural. Dessa forma, sensores (que normalmente não teriam rede) podem ser dispostos em diversos locais remotos (urbanos e rurais), com uma transmissão de dados eficiente, segura e com capacidade de oferecer aos dispositivos a conectividade da internet através dos Gateways. Ou seja, a tecnologia é bastante adequada para que os dados atinjam distâncias consideráveis em áreas extensas, consumindo pouca energia para transmissão.

No contexto empresarial, a estratégia da empresa, de forma a se destacar dos concorrentes, é fazer um *design* voltado para a manufatura e de alto desempenho em campo e se diferenciar em custos produtivos e excelência operacional. Os medidores produzidos pela empresa utilizam sistema visual de aferição pelo operador, o sistema ciclométrico, esse sistema possui incerteza de medição realizada pelos profissionais das concessionárias de energia elétrica, uma vez que, quando os números estavam entre um dígito e outro, o pessoal responsável pela medição do KWATTS/HORAS do consumidor atribui o maior valor, não sendo, portanto, o valor correto medido. Com o desenvolvimento do medidor de energia utilizando o *display* LCD fica muito mais fácil e prático a medição de consumo pelos profissionais das concessionárias, evitando assim erros de medição. A empresa se especializou no desenvolvimento de medidores eletrônicos monofásico – Mede apenas uma fase da rede elétrica (Clientes domésticos), com a evolução tecnológica, pretende-se implementar LoRa em seus produtos.

### 1.4 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho é organizado em cinco capítulos.

O Capítulo 1 é composto pela motivação, objetivos, contribuições da dissertação e a forma de organização do trabalho.

O Capítulo 2 trata da revisão da literatura do trabalho, dividida em duas partes. A primeira parte aborda conceitos da Indústria 4.0 no qual foi aplicado ao longo deste projeto e redes LoRa. A segunda parte enfatiza os aspectos gerais de processos de medição de energia elétrica.

O Capítulo 3 é dedicado aos procedimentos metodológicos, composto pelo local de estudo e metodologia utilizada.

O Capítulo 4 expõe os resultados preliminares e discussões obtidos pelo trabalho, será abordado inicialmente o desenvolvimento do medidor eletrônico de energia elétrica. Com o desenvolvimento de software, mecânico e eletrônico.

O Capítulo 5 demonstra as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

As Referências Bibliográficas listam todos as fontes consultadas para o desenvolvimento deste trabalho, como fontes de livros, artigos de periódicos científicos, normas nacionais e internacionais.

## CAPÍTULO 2

### REVISÃO DA LITERATURA

#### 2.1 - MEDIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA

Desde sua invenção, o medidor de quilowatt-hora (kWh) passou a ser utilizado pelas concessionárias para medir o consumo da energia elétrica dos seus consumidores, para isso é utilizado dois tipos de medidores: eletromecânico e eletrônico (CETINA, 2017 e CAICERES *et al.*, 2006), (LEFERINK, 2016). O eletromecânico utiliza o princípio da indução eletromagnética para o seu funcionamento e o eletrônico funciona através circuitos integrados, sendo ambos projetados para funcionar em tensões puramente senoidais (SIMOES, 2004).

Dentro da faixa de consumo de baixa tensão, geralmente utiliza-se o medidor de indução, conhecido por essa denominação por ter funcionamento idêntico ao de um motor de indução. Alguns desses medidores possuem mostradores eletrônicos, com uso de display, porém a forma de medição permanece a mesma (SUMNER, 2012).

#### 2.2 - MEDIDORES ELETROMECAÑNICOS

Esse tipo de medidor funciona pelo princípio da indução eletromagnética, através de bobinas que medem a tensão e corrente (KIM *et al.*, 2013). É uma tecnologia consolidada, robusta e confiável. Para uso de consumidores residenciais, eles registram apenas a informação da energia ativa consumida na escala de quilowatt-hora (kWh).

Medidores por indução são basicamente compostos de um motor cujo torque é proporcional ao fluxo de energia passando por ele, e um disco de referência conectado a esse motor (KIM, 2017). Através do princípio das correntes de *Foucault* induzidas no motor e disco, a interação eletromagnética entre as correntes induzidas produzirá uma força que fará o conjunto girar, e um registrador que conta o número de revoluções do motor converterá em seu equivalente em watts por hora (HAGEDORN, 2018).

O medidor de energia elétrica de uma residência é comumente encontrado em duas configurações: ponteiros e ciclométrico (JIANG, 2007). O medidor de ponteiros é composto por quatro ou cinco círculos com números semelhantes a um relógio e o valor do número registrado da leitura depende da posição em que se encontra o ponteiro.



Figura 2.1 - Medidor de energia elétrica com ponteiros.  
 Fonte: COELBA (2021).

Conforme mostrado na Figura 2.1, a configuração deste modelo de medidor conta com quatro ponteiros. Para efetuar a leitura, faz-se necessário identificar a posição do ponteiro nos relógios da esquerda para direita.

Os medidores de energia elétrica ciclométricos, contam com mostrador numérico que apresenta a leitura do consumo acumulado e o número é indicado no painel numérico, conforme mostrado a Figura 2.2.



Figura 2.2 - Medidor de energia elétrica com mostrador ciclométrico.  
 Fonte: (COELBA, 2021).

Mostrado na Figura 2.2, a configuração ciclométrica possui o registrador de consumo similar ao hodômetro veicular, no qual o registro é feito conforme consumo.

Segundo (DAS *et al.*, 1990), (CORWIN, 1990). O princípio de funcionamento deste modelo de medidor é baseado no fenômeno de indução eletromagnética, a qual afirma que, um condutor percorrido por uma corrente  $I$  na presença de um campo magnético  $B$ , fica submetido a uma força  $F$  cujo sentido é dado pela regra da mão direita e possui módulo que é dado pela Eq. (2.1):

$$F = B \times I \times L \times \sin \alpha \quad (2.1)$$

Onde:

$L$ : Comprimento do condutor sob ação do campo magnético;

$\alpha$ : É o ângulo compreendido entre o vetor do campo magnético e a direção do vetor  $IL$  no espaço.

O princípio construtivo do medidor de energia ativa eletromecânico consiste no acoplamento dos campos magnéticos produzidos por 02 bobinas, de corrente e de tensão, de uma fase, que tem como consequência um torque eletromagnético em um disco de alumínio que gira arrastando um marcador (BAUER, 2014). O torque é proporcional a potência que flui no medidor. A bobina de corrente conduz a corrente de linha e a bobina de tensão é alimentada pela tensão de linha. Ambos os enrolamentos são feitos sobre uma estrutura metálica de forma a criar 02 circuitos magnéticos. Um disco leve de alumínio é suspenso na região do campo magnético criado pela corrente na bobina de corrente. No disco são induzidas correntes parasitas (corrente de Foucault). A reação destas correntes e o campo magnético criado pela outra bobina gera um torque, causando a rotação do disco. O torque desenvolvido é proporcional à intensidade do campo da bobina de potencial e intensidade das correntes parasitas. As correntes parasitas dependem da intensidade do campo que as produziu. Essa interação produz 02(duas) forças eletromagnéticas, e de mesma direção. A força é produzida pelas correntes parasitas criadas pela bobina 1 e o campo magnético da bobina 2. A força é produzida pelas correntes parasitas criadas pela bobina 2 e o campo magnético da bobina 1. Dessa forma, o número de rotações no disco é proporcional à energia consumida pela carga em determinado intervalo de tempo. A medida é feita em kWh. A

indicação é feita por engrenagens mecânicas ligadas ao eixo do disco (WARRINGTON, 2012), (WEBSTER, 2003), (THOMPSON, 1978).

A Figura 2.3 mostra os principais elementos responsáveis pela medição da energia do medidor eletromecânico.

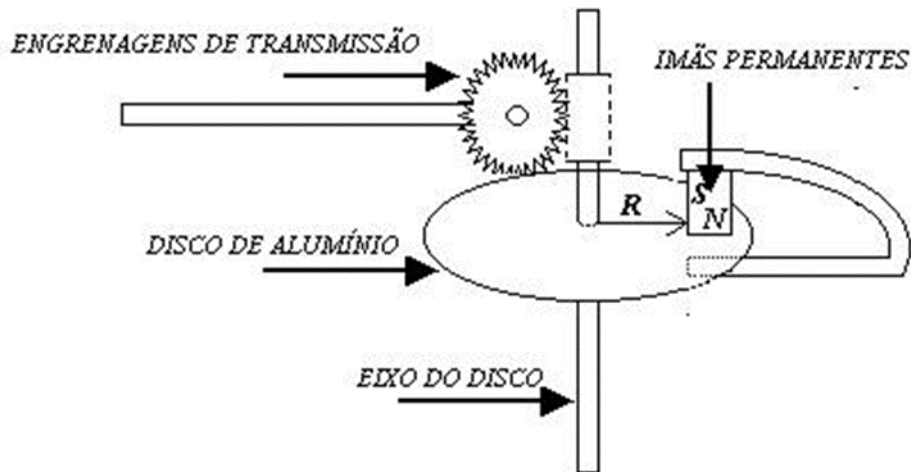


Figura 2.3 - Elementos do medidor eletromecânico.  
Fonte: OLIVEIRA (2021).

Conforme Figura 2.3, o amortecimento do movimento do disco é produzido por dois pequenos ímãs permanentes diametralmente opostos, localizados na borda do disco. Quando o disco gira, os ímãs induzem correntes parasitas no mesmo que reagem aos campos magnéticos destes ímãs. O resultado é um torque de frenagem (FILATOV, 2016).

### 2.2.1 - Medidores eletrônicos

Os medidores eletrônicos de energia funcionam com referência na medição feita por sensores associados a transdutores, que obtêm valores de corrente e potencial a partir de sinais de entrada. Os valores obtidos são multiplicados, obtendo-se a potência instantânea, e por seguinte integrados, para obtenção da energia. Uma vez que a energia é integralizada ela é então registrada (MASNICK, 2018).

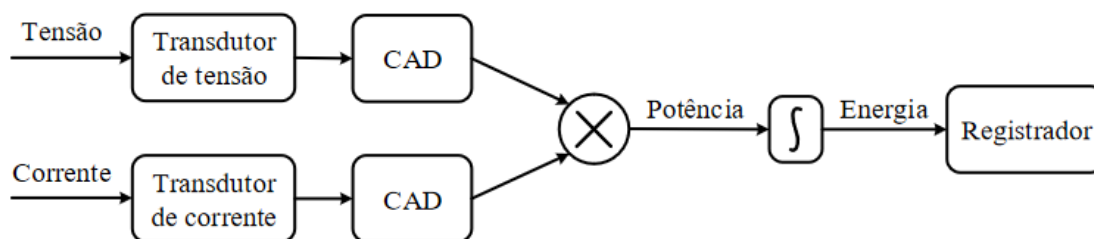


Figura 2.4 - Princípio de funcionamento do medidor eletrônico.  
 Fonte: Adaptado de NICOLAU (2013).

Conforme o diagrama da Figura 2.4, os transdutores têm fundamental importância para o funcionamento do medidor eletrônico, os transdutores de tensão e corrente são responsáveis por receber os sinais de entrada do medidor e adequá-los de modo a serem multiplicados. A potência é obtida através do bloco multiplicador, representado pela caixa CAD. A energia é obtida através do bloco integrador, que recebe o CAD, ilustrado pelo X e, finalmente esse valor é armazenado e registrado no bloco registrador (NICOLAU, 2013).

Os transformadores de tensão, também conhecidos como transformadores de potencial (TP), são instrumentos desenvolvidos para controle e medição de potencial elétrico. São utilizados com intuito de reduzir a tensão primária do sistema a níveis aceitáveis para o dispositivo de medição sendo altamente precisos e normalmente referidos pela sua relação de transformação, por exemplo, 60:1 indicando que a cada 60 volts no primário tem-se 1 volt no secundário (GRAHAM *et al.*, 2014).

Os *shunts*, transdutores de correntes, são resistores com construção especial que permitem que tensões proporcionais a corrente que o circulam sejam medidas segundo a lei de *Ohm* ( $V=RI$ ). Ressalta-se que resistores *shunt* não proporcionam nenhuma isolamento entre os sistemas primário e secundário (DUNN, 2017).

Para realizar a leitura das variáveis os medidores eletrônicos utilizam amostras em pequenos intervalos de tempo através de conversores analógico para digital (A/D). A quantidade de bits nos conversores A/D e precisão de processamento definem a classe de exatidão do equipamento, possibilitando a estes uma maior precisão do que os medidores eletromecânicos convencionais (UREKAR *et al.*, 2017), (DE LIMA, 2017).

Diferentemente dos medidores eletromecânicos que mede somente o consumo de potência ativa, os medidores eletrônicos possuem características para realizar várias tarefas simultaneamente em um mesmo equipamento. Os medidores eletrônicos além da potência ativa podem medir potência reativa, potência aparente, demanda máxima, fator



de potência, tensão e corrente, e ainda o uso de memória de massa para registro do consumo com informação de data e hora (MOHASSEL *et al.*, 2017), (VICIANA *et al.*, 2018).

### **2.2.2 - Medidores inteligentes**

*Smart Grid* (SG), é um sistema de fornecimento de energia inteligente, utiliza uma plataforma de comunicação de troca de informações melhorando a eficiência, confiabilidade e sustentabilidade dos serviços de energia elétrica. Para que este sistema ocorra, é necessário dispor de infraestrutura de comunicação bilateral de troca de informações em tempo real entre consumidores e fornecedores (KHUSHIEV *et al.*, 2020).

Para (KAYASTHA *et al.*, 2014), *Smart Grid* é definido como um conjunto de redes e equipamentos do sistema de distribuição de energia, no qual o controle e comando é realizado com a utilização da tecnologia digital de informação, de medição, de monitoramento e de telecomunicações. Sua implementação permite a disponibilização de novos serviços aos consumidores e a melhoria dos serviços existentes.

Os medidores de consumo de energia tradicionais, eletromecânicos ou eletrônicos, operam de forma isolada. Eles registram o consumo acumulado de energia elétrica ativa que, usualmente, é lido manualmente uma vez ao mês, disponibilizando a informação através de um processo rudimentar, oneroso e vulnerável a falhas (FORTES *et al.*, 2017). Dentre o conjunto de soluções inteligentes para o sistema SG, estão os medidores inteligentes, *Smart Meters* (SM).

Os elementos que compõem este modelo de medidor proporcionam a capacidade para coletar, processar, responder e comunicar novos dados (BARAI, 2015). O compartilhamento das informações com os outros elementos integrantes do sistema elétrico, como as unidades de geração de energia ou ainda elementos do sistema de transmissão e controle, viabilizam, entre outras coisas, maior agilidade na identificação e solução de problemas operacionais e gestão mais eficiente do fluxo de energia, no qual passa a ser direcionado por meio de rotas mais confiáveis para os pontos que tem demanda a ser atendida.

Com a implementação da SG e utilização de SM no sistema elétrico, (TOLEDO, 2012), afirma inúmeros benefícios como:

- Detecção e correção inteligente de falhas na rede em tempo real;
- Reconfiguração automática da rede;
- Gestão pelo lado da demanda;
- Gestão em tempo real da oferta versus demanda de energia;
- Medição inteligente.

Com a implementação de SG, as redes de distribuição e SM terão papel fundamental no que diz respeito a monitoramento do desempenho e característica da rede. Os SM podem auxiliar na detecção de fraudes e roubos, otimizando a eficiência e qualidade de energia (DEPURU *et al.*, 2011).

A Figura 2.5 mostra por meio do fluxo a exemplificação da infraestrutura de medição inteligente.

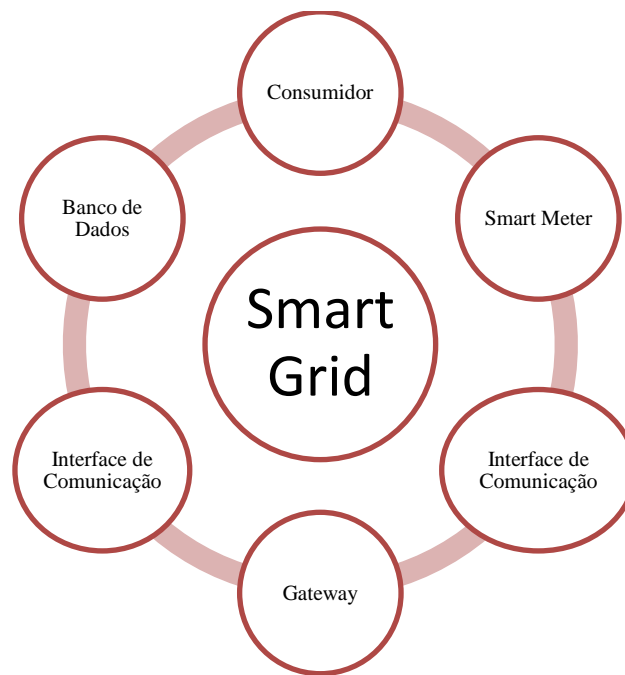


Figura 2.5 - Infraestrutura de medição inteligente.  
Fonte: Adaptado de DEPURU *et al.* (2011).

Conforme Figura 2.5, a *Smart Grid*, integra de forma remota o consumidor com medidores inteligentes, existe a interface para leitura e comunicação entre concessionária e medidores. A integração ocorre de forma remota, podendo ser acessada diretamente da concessionária de energia.

### 2.2.3 - Principais ensaios e procedimentos

A fabricação dos medidores requer condições mínimas a serem observadas na apreciação técnica de modelo, na verificação inicial, na verificação após reparos e na verificação por solicitação do usuário/proprietário, em medidores eletrônicos de energia elétrica ativa e/ou reativa, monofásicos e polifásicos.

Os procedimentos para execução dos ensaios estão descritos no Regulamento Técnico Metrológico (RTM) (Portaria INMETRO, 2011).

- Anexo A, refere-se a Ensaio de Apreciação Técnica de Modelo em Medidores;
- Anexo B, refere-se a Metodologia de Ensaio para Verificação Inicial ou Após Reparos;
- Anexo C, trata da Metodologia de Ensaio para Verificação por Solicitação do Usuário/Proprietário.

Os ensaios descritos conforme o anexo B, do RTM, são seguidos para fabricação e após reparos, os seguintes ensaios são realizados nos medidores:

- **Inspeção visual de correspondência aprovado:**

Finalidade: A inspeção consiste em verificar se o medidor apresenta as mesmas características construtivas que o modelo aprovado.

- **Inspeção geral do medidor:**

Finalidade: tem por objetivo averiguar a possível existência de falhas nas diversas peças e conjuntos que compõem o medidor e que possam acarretar danos físicos a pessoas e a bens materiais, diminuir a vida útil do medidor ou exigir maior manutenção.

- **Ensaio de tensão aplicada:**

Finalidade: Verificar se o isolamento do medidor é satisfatório.

- **Ensaio de exatidão:**

Finalidade: Constatar se os medidores foram devidamente ajustados.

- **Ensaio de corrente de partida:**

Finalidade: Averiguar o início de registro de energia elétrica com uma determinada porcentagem da corrente nominal.

- **Ensaio de controle das funções e grandezas com elevação de temperatura:**  
Finalidade: Checar se os medidores estão funcionando corretamente em temperatura elevada.
  
- **Ensaio das saídas periféricas:**  
Finalidade: Averiguar a adequação e funcionalidade de todas as saídas periféricas.
  
- **Ensaio de verificação do limite inferior da tensão de alimentação:**  
Finalidade: Constatar que o medidor funciona no limite inferior da faixa de operação.
  
- **Ensaio do mostrador:**  
Finalidade: Averiguar se a indicação da energia medida corresponde a energia consumida.

### 2.3 - ENERGIA ELÉTRICA

A eletricidade pode ser definida por uma série de propriedades que a distinguem de outros produtos (LALOUX, 2014), sendo:

- Não é suscetível na prática, para ser armazenada ou inventariada;
- Deve ser gerada e transmitida, uma vez que é consumida, portanto, deve haver um equilíbrio entre oferta e demanda;
- Os sistemas elétricos são dinâmicos, complexos e imensos;
- A transmissão é determinada por leis de *Kirchhoff*, no qual a distribuição de corrente depende da impedância nas linhas e outros elementos por onde corre a eletricidade.

Conforme (LAUGHTON, 2013), a energia elétrica é uma das formas de energia dentro de um sistema. Corresponde ao produto da diferença de potencial (Watts), por uma corrente elétrica (Ampères), pelo tempo (Segundos) em que é fornecida.

## 2.4 - POTÊNCIA

Para (NIELSON, 2003), potência pode ser definida como uma grandeza física com relação diretamente proporcional entre a tensão e a corrente elétrica. A Eq. (2.2) é utilizada para o cálculo da potência instantânea, que é a potência dada em um instante qualquer de tempo considerando V (Tensão) e I (Corrente) como sinais senoidais no regime estacionário.

$$P = V \times I \quad (2.2)$$

Onde:

P: Potência instantânea medida em W (Watts);

V: Tensão medida em V (Volts);

I: Corrente elétrica medida em A (Ampères).

A potência instantânea pode ser representada por três potências constantes, sendo:

- Potência ativa;
- Potência reativa;
- Potência aparente.

Nas seções seguintes são abordadas as demais potências.

### 2.4.1 - Potência ativa

A potência ativa também chamada de potência média ou real (AREDES, 1998), é uma grandeza elétrica que mede o valor médio da potência instantânea em um determinado período que representa a parcela da potência presente em um circuito, convertida em formas não-elétricas de energia. A potência ativa é a potência que realiza trabalho, gerando calor ou movimento (SINGH *et al.*, 2013), (SUHETT *et al.*, 2009), afirma que potência ativa é a parcela da potência que realiza trabalho na carga.

Para realizar o cálculo da potência ativa é seguido conforme a Eq. (2.3):

$$P = U \times I \times \cos(\theta_v - \theta_i) \quad (2.3)$$

Onde:

P: Potência ativa dada em Watts;

U: Tensão dada em Volts;

I: Corrente elétrica dada em Ampères;

$\theta v$ : Ângulo de fase de tensão;

$\theta i$ : Ângulo de fase da corrente elétrica.

### 2.4.2 - Potência reativa

A potência reativa representa a quantidade de potência elétrica devido à parcela de corrente que está defasada da tensão. O valor médio da potência reativa calculado em um período da frequência da linha é zero, evidenciando que esta não contribui para a transferência de energia da fonte para a carga (SUHETT *et al.*, 2009).

Segundo NIELSON (2003) a potência reativa é uma grandeza elétrica que não é convertida em formas não elétricas de energia. Esta potência pode ser armazenada no campo magnético de um indutor, como ocorre nos motores e cargas indutivas ou armazena também no campo elétrico de um capacitor.

Em outras palavras, potência reativa pode entendida como a não realização de trabalho, mas que tem a finalidade de formar campos magnéticos necessário para o funcionamento de componentes, como motores indutivos, sendo dada pela Eq. (2.4).

$$Q = U \times I \times \text{sen} (\theta v - \theta i) \quad (2.4)$$

Onde:

P: Potência reativa dada em kVARh;

U: Tensão dada em Volts;

I: Corrente elétrica dada em Ampères;

$\theta v$ : Ângulo de fase de tensão;

$\theta i$ : Ângulo de fase da corrente elétrica.

### 2.4.3 - Potência aparente

A unidade de medida da potência aparente é o Volt-Ampère (VA). Esta potência aparente quantifica a máxima potência que poderia ser gerada ou consumida se a tensão e a corrente fossem senoidais e estivessem perfeitamente em fase. Em outras palavras, potência aparente representa a máxima potência ativa que seria alcançada com fator de potência unitário (SUHETT *et al.*, 2009).

A potência aparente é o módulo da soma quadrática de potência ativa e reativa, dada em Volt-Ampère (VA), (NIELSON, 2003), conforme a Eq. (2.5):

$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.5)$$

Onde:

S: Potência aparente, dada em VA;

P: Potência ativa, dada em W;

Q: Potência reativa, dada em kVArh.

#### **2.4.4 - Fator de potência**

Fator de Potência (FP) mede a fração da potência máxima que poderia ser transferida, considerando as magnitudes de tensão e corrente dadas (BOYS, 2008). A fração deixa de ser máxima quando a potência reativa é diferente de zero, ou seja, pode-se dizer que a potência reativa reduz o fator de utilização da linha. (ISLAM, 2020). Além disso, a potência reativa, por ser uma energia oscilatória, com média nula, teoricamente não necessita de fonte primária de energia para existir (WATANABE, 2008).

Diversos tipos de dispositivos eletromagnéticos possuem enrolamentos, como: motores, transformadores, lâmpadas de descargas, fornos de indução, entre outros. Para funcionar, estes equipamentos magnetizam os núcleos de ferro, armazenando energia reativa, energia que não produz trabalho e diminui o fator de potência da instalação (SOMMERFELD JUNIOR, 2012).

O fator de potência serve para indicar a eficiência do uso da energia e é definido matematicamente como a razão entre duas quantidades representadas pela mesma

unidade de potência, a potência ativa e a potência aparente, é um número adimensional (EMANUEL, 2011).

O fator de potência fornece a relação entre a potência ativa realmente entregue ou consumida em um circuito e a potência aparente no mesmo ponto. Quanto mais próximo da unidade é o valor do fator de potência, melhor é o aproveitamento do circuito. As grandezas descritas anteriormente e como elas se relacionam pode ser representado graficamente através do triângulo de potências mostrado (SUHETT *et al.*, 2009).

Para indicar se a corrente está atrasada ou adiantada em relação à tensão, é utilizado os termos atrasado e adiantado no qual indicam se a diferença  $\theta_v - \theta_i$  é positiva ou negativa e, portanto, se a carga é indutiva ou capacitiva.

A Eq. (2.6) é dada por:

$$FP = \cos(\theta_v - \theta_i) \quad (2.6)$$

#### **2.4.5 - Watt**

Watt é uma unidade de potência, cujo símbolo é W, que corresponde a um joule por segundo. Basicamente, é a medida de potência para a capacidade de realizar um trabalho. É caracterizado pela quantidade de energia convertida em joules, sendo utilizada ou simplesmente dissipada em um segundo. Na energia solar, o Watt seria a unidade de energia de um sistema com uma corrente de um ampère sob uma voltagem de um volt, como o produto da tensão pela intensidade.

#### **2.4.6 - Kilowatt**

Kilowatts ou kilowatts (kW) são unidades de potência que equivalem a  $10^3$  watts, ou seja, 7 kilowatts (7 kW) é igual a 7000 watts (7000 W). Além disso, o kW representa o tamanho de um sistema de energia solar. Isso quer dizer que quanto maior a medida de kW de um sistema, maior será sua capacidade de produzir energia em dias ensolarados.



#### 2.4.7 - Kilowatt hora

No caso do kilowatts hora, ou kWh, estamos falando da energia produzida ou consumida. Essa unidade indica o volume de energia que pode ser gerada por meio de um sistema de energia solar dentro de uma determinada hora. Portanto, se seus painéis produzem 1 kW em um período de 60 minutos, serão produzidos 1.000 W de energia a cada hora.

#### 2.4.8 - Diferença entre kW e kWh

Vamos primeiro explicar o que cada letra representa:

- k significa quilo. O que significa “mil”;
- W significa Watt. Que é uma medida de potência;
- h significa hora. Que é, obviamente uma medida de tempo.

Assim kW significa Quilowatt que é 1000 Watts. Estamos falando de uma medida de potência. Observe que, a maneira correta de se escrever é sempre com o k minúsculo e um W maiúsculo. O tamanho de um sistema solar é definido pela sua potência. Por exemplo: um sistema de 1kW pode produzir 1 kW de potência em dias realmente ensolarados. kWh representa Quilowatt-hora. Um kWh é uma medida de energia (não potência).

#### 2.4.9 - Convertendo kW em kWh

A fórmula de conversão de kW para kWh é: Consumo (kWh) = Potência (kW) x tempo (h), uma potência de 10 kW (ou 10.000 W) gerada durante 6 horas equivalerá a 60 kWh, portanto, será preciso multiplicar a potência gerada pelo período de horas utilizadas.

#### 2.4.10 - Resistor *shunt*

O *shunt* é um resistor de baixo valor. Isso depende do projeto, mas normalmente na casa dos 0.01 Ohms. Isso porque ele vai ligado em série com a carga, e por meio da queda de tensão sobre esse resistor podemos determinar a corrente que ali circula e saber quando existe variação, conforme a Figura 2.6:



Figura 2.6 - Resistor *shunt* comercial.

#### 2.4.11 - Unidades de medida de energia

Um sensor de efeito *Hall* é um transdutor que, quando sob a aplicação de um campo magnético, responde com uma variação em sua tensão de saída. Um semicondutor sob a aplicação de um campo magnético, demonstrando o Efeito *Hall*. Se uma diferença de potencial é aplicada a um material semicondutor de modo que flua uma corrente, e ao mesmo tempo o este material é submetido a um campo magnético, no deslocamento através deles as cargas tendem a se desviar de sua trajetória normal, acumulando-se numa das faces laterais, e com isso uma tensão será detectada, conforme a Figura 2.7.

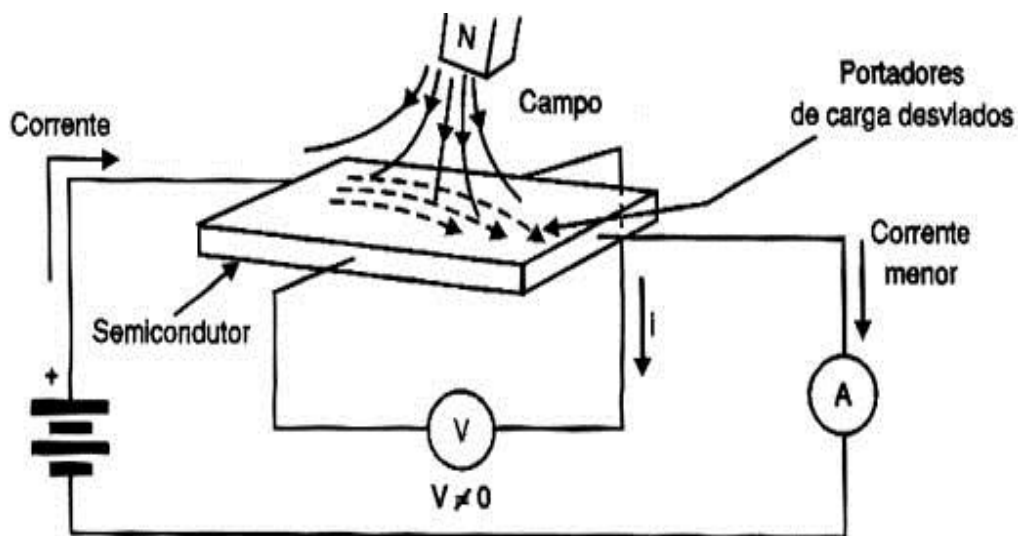


Figura 2.7 - Efeito hall.

## 2.5 - INDÚSTRIA 4.0

No contexto do desenvolvimento tecnológico proporcionado, principalmente, pela integração de tecnologias emergentes, como Redes (Elétricas) Inteligentes, Internet das Coisas, Internet Móvel, Big Data, Computação em Nuvem, Sistemas Embarcados e demais pilares, o setor industrial entrou na quarta revolução, denominada de Indústria 4.0 (VERMESAN, 2013), (ACETO, 2020). As empresas imersas no conceito de Indústria 4.0 fazem uso de investimentos em pesquisa, desenvolvimento tecnológico buscando a modernização, os quais são essenciais para manter a competitividade das empresas (GONZÁLEZ-CANCELAS *et al.*, 2021). É relevante destacar que o conceito de Indústria 4.0 pode existir independentemente do setor industrial estar ou não inserido em uma Rede Elétrica Inteligente (REI), embora a coexistência delas potencialize os benefícios e vantagens para ambas.

Conforme (ISSA, 2017) nas recomendações para a implementação da iniciativa estratégica 4.0, há alguns pontos chave para o sucesso do projeto, que são:

- Normalização e referência arquitetura;
- Infraestrutura de comunicação para o setor industrial;
- Segurança da informação;
- Reorganização do trabalho;
- Regulamentação;
- Utilização eficiente dos recursos.

Os pilares que fazem parte da Indústria 4.0 são tecnologias, objetos e conceitos. Eles estão muito bem integrados entre si, mas são interdependentes.



Figura 2.8 - Pilares da Indústria 4.0.  
Fonte: SIGGA (2021).

Conforme a Figura 2.8, nove pilares fazem parte da Indústria 4.0, sendo *Big Data e Analytics*, Robôs Autônomos, Realidade Aumentada, Simulação, Integração com Sistemas, Manufatura Aditiva, Cybersegurança, Nuvem e Internet Industrial.

Para este trabalho e aplicação do projeto, será abordado conceitos de IoT e Big Data (BD), descrito na seção seguinte.

### 2.5.1 - Internet of things

O Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial (IEDI, 2021), define IoT como o meio digital por onde as versões virtuais de sistemas inteligentes se comunicam, destacando o crescente número de objetos conectados à Internet (*Smart Objects*). O conceito está relacionado com a predisposição de conectar componentes que podem desempenhar atividades como coleta de informações, monitoramento e troca de dados, por meio de redes de comunicação, com ou sem fio, e sem a necessidade permanente da presença humana (ATZORI, 2010), (VERMESAN, 2013).

A Internet da Energia (*Internet of Energy* – IoE) é um exemplo de derivados do conceito de IoT, no qual transforma os Recursos Energéticos Distribuídos (RED) em coisas da internet para permitir o gerenciamento e controle da energia elétrica (BLANCO-NOVOA et al., 2017). Outro exemplo de derivado da IoT é a Internet Industrial das Coisas (*Industrial Internet of Things* – IIoT), no qual transforma os elementos industriais em coisas da internet para oportunizar o gerenciamento e controle da indústria (MUNIRATHINAM, 2020).

Dentre as novas tecnologias, o desenvolvimento e derivações da IoT junto à expansão do uso dos RED emergem o conceito de Rede Elétrica Inteligente (REI). Este conceito moldou-se com a necessidade de tornar a operação da rede elétrica mais interativa, interconectada, confiável, segura, estável e flexível (TRAB et al., 2018).

De modo geral, a caracterização de rede elétrica inteligente, define-se como a capacidade de integrar as ações de todos os agentes conectados à rede, sejam geradores de energia ou consumidores. À vista disso, as REIs junto com a Indústria 4.0 estão crescendo no mundo todo.

### **2.5.2 - Big data**

Atualmente, no mundo empresarial dispor de informação no momento certo pode determinar o sucesso ou fracasso de um negócio. Tendo em vista este cenário, organizações buscam informações para garantir a sobrevivência e sucesso de suas operações e para alcançá-los o investimento está sendo feito em *Big Data* (BD).

Segundo (SAS, 2017), Big Data refere-se a um grande volume de dados estruturados ou não que utilizados de maneira precisa podem contribuir com conhecimentos que podem auxiliar na tomada de decisões e no planejamento estratégico das empresas.

Big data é comumente discutido no contexto de produtos e serviços completamente novos, bem como sistemas de aplicativos de negócios inovadores (LYTRAS, 2017). De modo geral, pode-se dizer que Big Data é, essencialmente, tudo que é coletado ou gravado digitalmente pelas modernas Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), tais como IoT, redes de sensores, objetos e dispositivos inteligentes, a internet e mídias sociais (MAGRANI, 2018).

Com utilização de BD, empresas podem processar um fluxo de dados em tempo real, e permitir a tomada de decisões com mais agilidade, acompanhar as recentes

tendências, reparar equívocos rapidamente e investir em novos negócios (TRIGO, 2014).

Tendo em vista as características da Indústria 4.0 com os pilares IoT e BD o setor energético busca inovar a rede, seja em medidores modernos e inteligentes ou na forma da geração e distribuição.

## 2.6 - REDE LORA

Segundo (LAVRIC, 2017), LoRa é um tipo de modulação para transmissão de dados que faz parte da camada física da tecnologia de comunicação sem fio. (KNIGHT, 2016), essa rede foi desenvolvida para ser utilizada em comunicações de baixa taxa de transferência de dados, baixo consumo de energia e longas distâncias. Para (AUGUSTIN *et al.*, 2016), LoRa (Long-Range) trata-se de uma tecnologia proprietária de radiofrequência que possibilita a comunicação a longas distâncias com baixo consumo de energia.

As ondas de radiofrequência em que se encontram a rede LoRa estão entre as faixas de  $10^2$  e  $10^6$  Hz, comumente tratadas por ciclos por segundo. Essa tecnologia utiliza técnicas de modulação para correção de erros, chamada *Chirp Spread Spectrum* (CSS), tornando mais robusto a interferência e ao ruído, fazendo com que o receptor receba a mensagem com uma relação sinal ruído baixa (MROUE *et al.*, 2018).

Para os medidores SM, além da leitura digital do consumo de energia é possível coletar as informações de cada consumidor remotamente e enviá-las para uma central de operações. Desta forma, o conjunto destes medidores inteligentes com comunicação digital compõem uma *Advanced Metering Infrastructure* (AMI) (A. Harney, 2009).

As tecnologias com longa vida de bateria e com longo alcance de transmissão são as que apresentam melhores oportunidades de desenvolvimento de aplicações para IoT.

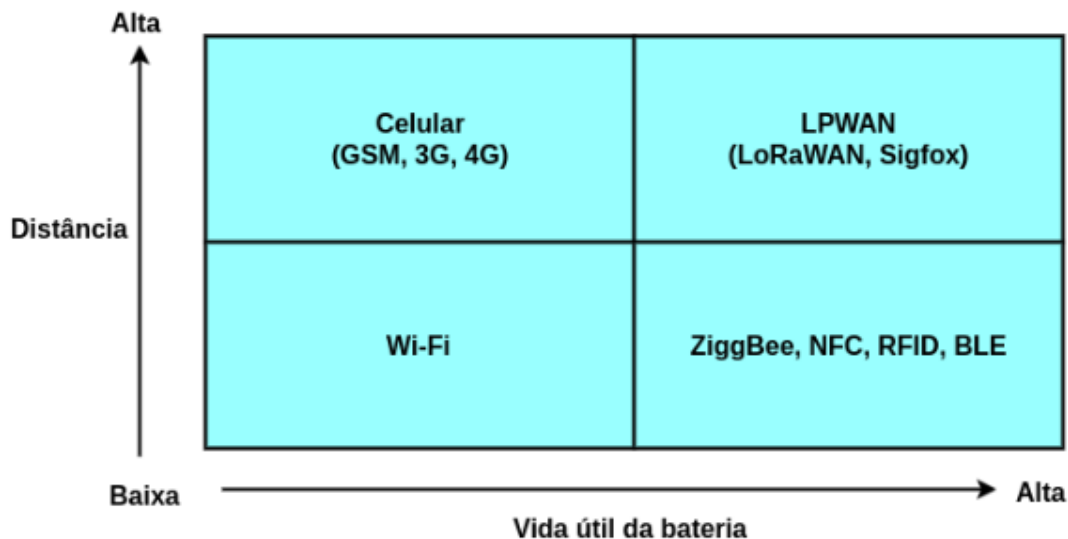


Figura 2.9 - Distância x Vida útil da bateria.  
 Fonte: CENTENARO *et al.* (2016).

Conforme Figura 2.9, observa-se que redes LoRa são promissoras para aplicações em longas distâncias com vida útil das baterias em nível alto.

### 2.6.1 - Arquitetura da rede LoRa

LoRaWAN é uma especificação aberta de um protocolo de redes de grandes áreas que utiliza a tecnologia LoRa e oferece comunicação bidirecional entre dispositivos, suporte a criptografia de ponta-a-ponta, mobilidade e serviços de localização (CENTENARO *et al.*, 2016). Assim, LoRa seria a camada física para transmissão de informação e o LoRaWAN, o protocolo de redes para prover a interoperabilidade entre os equipamentos.

A modulação LoRa permite uma sensibilidade do receptor de até -150dBm, tornando-o possível a comunicação em distâncias de até 5 quilômetros em ambientes urbanos e até 10 quilômetros em ambientes rurais, permitindo uma taxa de dados variável de acordo com critérios de alcance, robustez e consumo de energia (SINGH, 2018).

LoRaWAN é uma rede com modulação própria de sinal e protocolo aberto patrocinado pela LoRa Alliance com o objetivo de implementar o funcionamento da rede LoRa. A rede LoRa necessita de protocolos de comunicação com regras de como os dados serão tratados para se obter uma rede de qualidade. Unindo-se a modulação LoRa e as especificações técnicas do LoRaWAN, obteve-se alcance de 2 a 5 km em

áreas urbanas e 15km em áreas descampadas e, por conta da baixa potência, uma duração de bateria de até 10 anos (NOGUEIRA *et al.*, 2019).

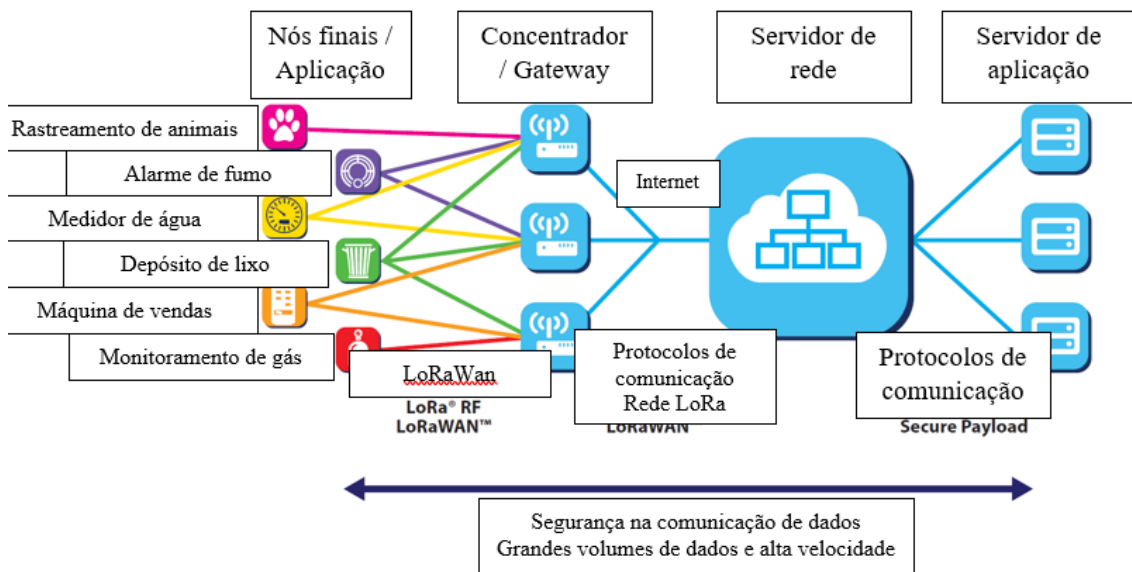


Figura 2.10 - Arquitetura LoRaWAN.  
Fonte: ALLIANCE (2015).

Conforme Figura 2.10, o sistema consiste em três componentes principais, sendo:

- End nodes: São sensores conectados por meio de interfaces de rádio LoRa a um ou mais gateways LoRa.
- Concentrator/Gateway: Fazem ligação entre dispositivos finais e o Servidor de Rede.
- Network Server: O servidor que controla todas as etapas da rede, como segurança, integração, gestão de recursos.

Em uma rede LoRaWAN™, os nós não estão associados a um gateway específico. Em vez disso, os dados transmitidos por um nó geralmente são recebidos por vários gateways. Cada gateway encaminha o pacote recebido do nó final para o servidor de rede baseado em nuvem por meio de algum *backhaul* (celular, Ethernet, satélite ou Wi-Fi) (SINHA, 2017).

A inteligência e a complexidade são transferidas para o servidor de rede, que gerencia a rede e filtra pacotes recebidos redundantes, executa verificações de segurança, agendar reconhecimentos através do gateway ideal e executa taxa de dados adaptativa etc. Se um nó estiver móvel ou em movimento, não haverá necessariamente transferência de gateway para gateway, que é um recurso crítico para habilitar



aplicativos de rastreamento de ativos – um aplicativo de destino principal vertical para a IoT (YICK, 2008).

## 2.6.2 - Principais benefícios para a internet das coisas

Basicamente, a tecnologia LoRa revolucionou a IoT, ao permitir que os dispositivos acomodem uma vasta gama de aplicativos. Assim, ela transmite vários pacotes com informações importantes. Existem vários diferenciais importantes que devem ser citados para você entender na prática essa importância no mercado tais como:

- **Baixo custo de implantação e operação:**

Reduz o investimento em infraestrutura, despesas de substituição de bateria e, em última instância, despesas operacionais.

- **Baixo consumo de potência:**

Necessita de pouca energia. Assim, a vida útil da bateria é prolongada até 10 anos, o que reduz os seus custos de compra.

- **Longo alcance:**

Conecta dispositivos em grandes distâncias nas áreas rurais e infiltra em densos ambientes internos ou urbanos.

- **Mobilidade:**

Mantém a comunicação com dispositivos em movimento sem sobrecarregar o consumo de energia.

- **Padronizado:**

Os sinais emitidos são robustos, não propagam ruídos e não sofrem interferência na sua faixa de frequência. Logo, a implementação de aplicativos IoT é rápida em qualquer lugar.

## CAPÍTULO 3

### MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 - MATERIAIS

A tecnologia do trabalho é a implementação da rede LoRa em um novo modelo de medidor eletrônico e o mostrador digital, que nos atuais não possuem ambas as tecnologias. LoRa consiste em uma tecnologia de envio de dados sem fio (via rádio frequência), para habilitar a transmissão de longa distância e que conta com baixo consumo de energia. É uma das ferramentas em crescimento para soluções em IoT. E o mostrador digital é referente à acuracidade da leitura da informação do consumo.

A tecnologia se baseia em uma rede com topologia estrela, de modo semelhante a uma de telefonia celular. Seus módulos mandam e recebem dados de gateways específicos — similar a redes WiFi, porém com um alcance mais amplo —, que os reencaminham por meio de conexão *Internet Protocol* (IP) para servidores remotos ou locais.

Foram utilizados ferramentas e softwares para o desenvolvimento deste trabalho, no qual podem ser vistos na tabela a seguir.

Tabela 3.1 - Ferramentas utilizados no trabalho.

<b>Ferramenta</b>	<b>Conceito</b>	<b>Aplicação no projeto</b>
SolidWorks	Software destinado a criação de protótipos mecânicos virtuais tridimensionais. Nele é possível também simular funcionamento de peças, conjuntos.	No projeto, o software foi utilizado para modelar todas as peças e dispositivos mecânicos. A partir de protótipos tridimensionais, foi gerado desenhos 2D e encaminhado para processo de usinagem/fabricação.
Proteus VSM	Software que permite a criação de circuitos elétricos e eletrônicos para simular e elaborar <i>layouts</i> de aplicações analógicas e digitais, inclusive microcontroladores.	Foi aplicado para o desenvolvimento de placas e ligações eletrônicas.

Tabela 3.2 - Tecnologias utilizadas no trabalho.

Tecnologias	Conceito	Aplicação no projeto
Linguagem C	É uma linguagem de programação compilada de propósito geral, estruturada, imperativa, procedural.	Neste projeto, foi utilizada para o desenvolvimento do módulo firmware e sistema.
Internet das Coisas	Refere-se a integração de objetos físicos e virtuais em redes conectadas à internet, permitindo que os objetos colem, troquem e armazenem dados que foram processados e analisados, gerando informações e serviços em grande escala.	A implementação da internet das coisas neste projeto, foi para a coleta de dados em tempo real, dados de estado de sensores, produtividade, alertas, erros. Situações que ocorrem no equipamento foram informados ao operador por meio de monitor.
Big Data	É a área do conhecimento que estuda como tratar, analisar e obter informações a partir de conjuntos de dados grandes demais para serem analisados por sistemas tradicionais.	Neste projeto, foi utilizado para medir, coletar e informar ao usuário dados de consumo de energia em tempo real.
LoRa	Tecnologia de rede de área ampla de baixa potência (LPWAN). Baseia-se em técnicas de modulação de espectro de propagação derivadas da tecnologia <i>chirp spread spectrum</i> (CSS)	Aplicado como principal tecnologia para efetuar a leitura de dados de consumo no protótipo do medidor de energia elétrica.

### 3.1.1 - Módulo sensor de corrente ACS712

O módulo ACS712 é um sensor de corrente invasivo, onde é necessário interromper o circuito para que ele seja instalado. O módulo ACS712 50A, consegue ler valores de corrente de até 50 Ampères, conforme a Figura 3.1.



Figura 3.1 - Modulo de corrente ACS712.

O ACS712 utiliza do efeito *Hall* para realizar a interface entre a corrente real do circuito com o Arduino, no qual, segundo preleciona THOMAZINI no livro Sensores Industriais:

“O efeito *Hall* caracteriza-se basicamente pelo aparecimento de um campo elétrico transversal em um condutor percorrido por uma corrente elétrica, quando ele se encontra mergulhado em um campo magnético”.

Os sensores por efeito *Hall* são constituídos por dispositivos semicondutores que sofrem influência de campo magnético. Quando colocamos esse dispositivo semicondutor em série com a fonte e a carga, ocorre a passagem de elétrons por meio dele.

Quando ocorre a passagem de corrente elétrica por um material semicondutor. Ao adicionarmos um campo magnético perpendicular ao movimento dos elétrons, surge uma força magnética, chamada de força de Lorentz. Sob influência dessa força, os elétrons livres não se moverão mais de forma retilínea, mas se concentrarão na direção da força magnética.

### 3.2 - METODOLOGIA EXPERIMENTAL

O presente estudo pode ser considerado de forma exploratória por proporcionar maior conhecimento sobre o tema, de natureza aplicada estabelecendo a prática dos problemas específicos da organização na intenção de resolvê-los e qualitativa buscando compreender seus conceitos, sob dois aspectos, pesquisa bibliográfica com o propósito de identificar as abordagens dos autores por meio de livros, teses, artigos, sites eletrônicos e, estudo de caso, com o objetivo de analisar o desenvolvimento de um protótipo de medidor de energia elétrica utilizando rede LoRa na empresa.

O desenvolvimento foi realizado em uma empresa do Polo Industrial de Manaus, localizada no Distrito Industrial II. As etapas foram realizadas conforme o fluxograma da Figura 3.2.

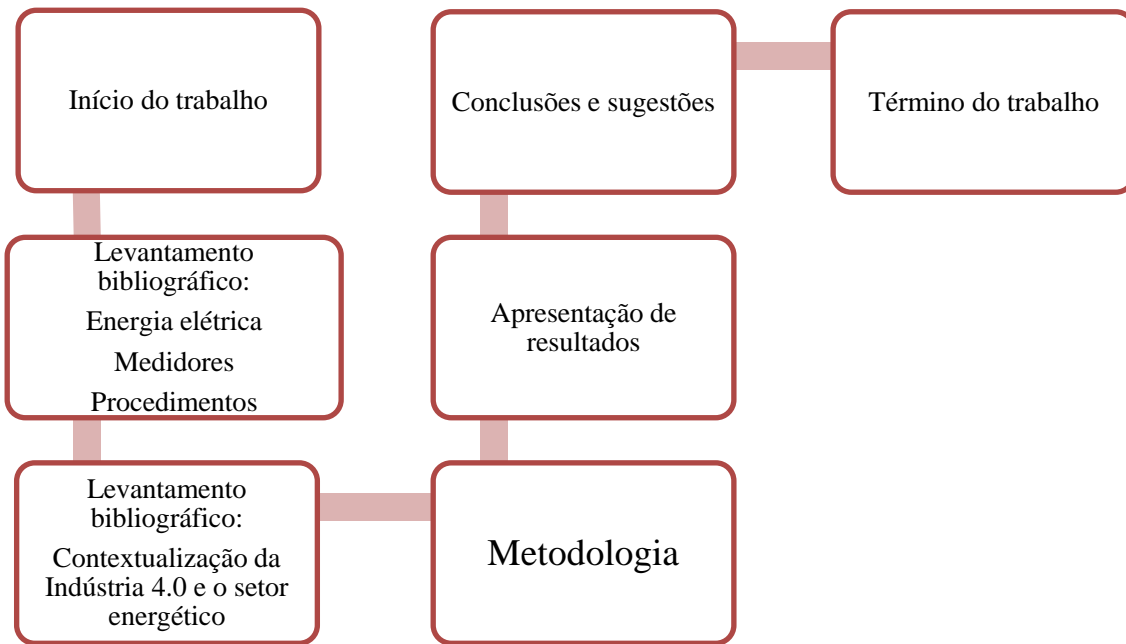


Figura 3.2 - Fluxograma do desenvolvimento do projeto.

### 3.2.1 - Desenvolvimento experimental

O desenvolvimento do protótipo do novo medidor foi dividido em três etapas, sendo:

- Desenvolvimento de hardware pneumático e mecânico;
- Desenvolvimento de hardware elétrico e eletrônico;
- Desenvolvimento de software.

Os três subconjuntos de desenvolvimento citados acima foram relevantes para obtenção do protótipo do novo medidor. A seguir, será descrito como foi realizado cada etapa.

Para o desenvolvimento desse trabalho são necessários os seguintes componentes:

- 1 Placa Arduino Nano ATmega328p;
- 1 Resistor Shunt de 100A;
- 1 Módulo sensor de corrente ACS712 50A;
- LCD 12864;
- Módulo DHT (Sensor de temperatura e Umidade);
- 1 Módulo transmissor Lora;
- Jumpers e fios para ligação elétrica;

- 1 Módulo receptor Lora;
- 1 Módulo interface Web ESP8266.

A Figura 3.3 e 3.4, mostra a arquitetura de ligação dos itens citados. Será descrito a função de cada itens e sua finalidade no projeto.

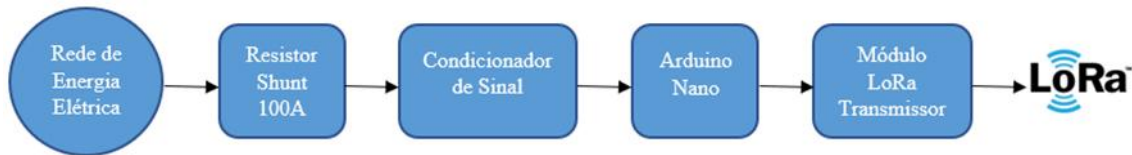


Figura 3.3 - Arquitetura proposta do transmissor: Medidor de energia.

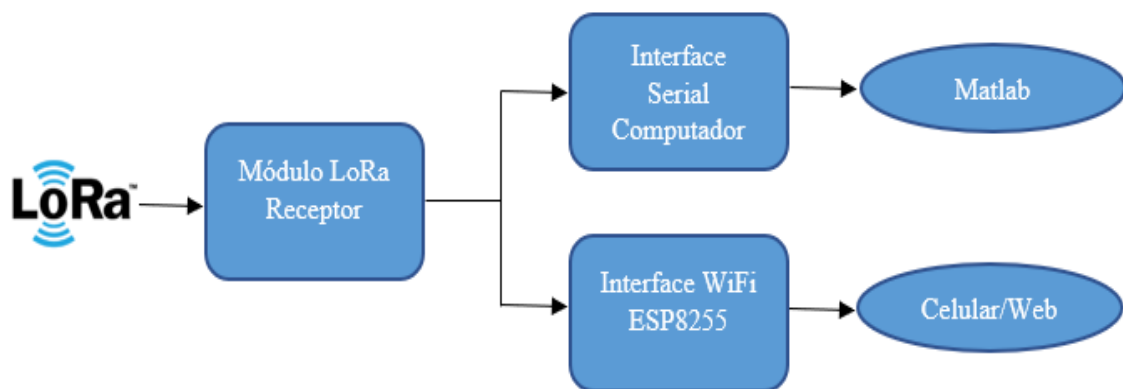


Figura 3.4 - Arquitetura proposta modulo receptor do medidor de energia.

A rede LoRa permite comunicação a longas distâncias, com um consumo mínimo de energia. Por exemplo, o seu alcance é de 3 a 4 km em áreas urbanas, mas isso depende das condições de instalação, como o bloqueio por prédios ou a topologia do terreno. Em áreas rurais, esse mesmo alcance chega a 20 km ou mais.

A tecnologia LoRa é uma solução que serve para a transmissão de dados, principalmente em locais de difícil acesso. Para esse funcionamento, um exemplo de aplicação seria no sistema IoT, como os sensores.

Inicialmente, utilizou-se a ferramenta *Brainstorming* para descrever a necessidade de aquisição de máquinas, equipamentos, ferramentas, materiais de consumo e serviços. Utilizando o *Brainstorming* o trabalho foi dividido em pneumático, mecânico, elétrico, eletrônico e software. A Figura 3.5 mostra o *Brainstorming*.

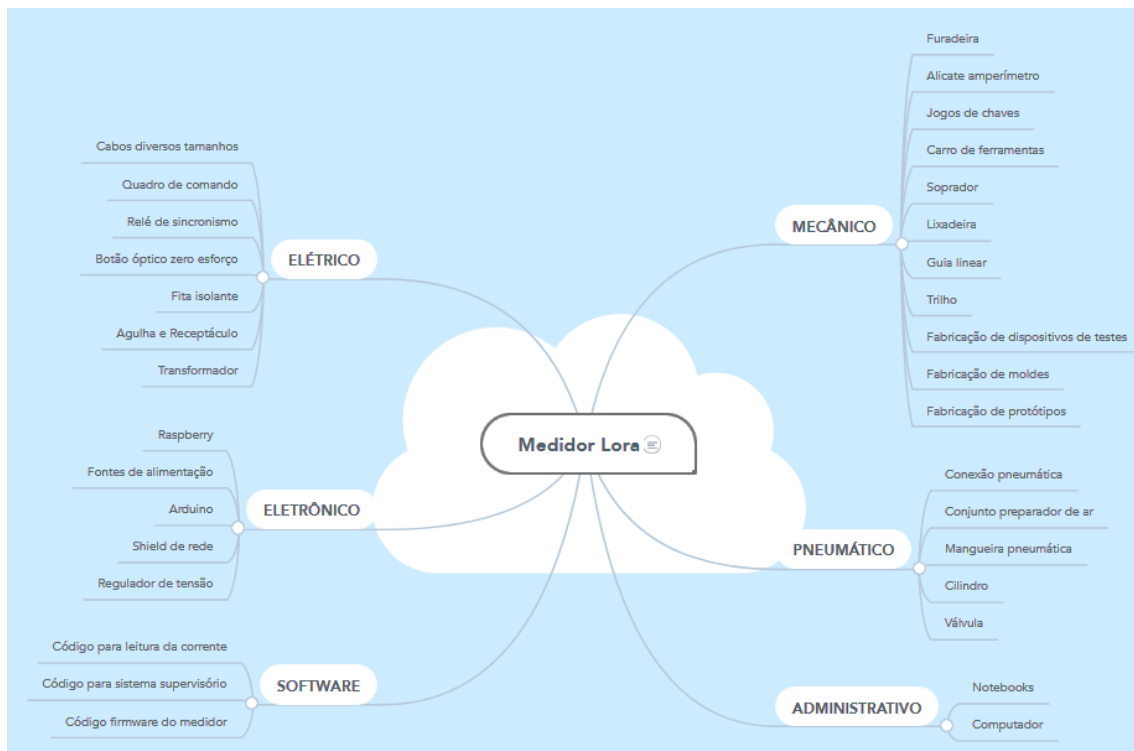


Figura 3.5 - Brainstorming do desenvolvimento do projeto.

### 3.2.1.1 - Desenvolvimento de hardware mecânico e pneumático

O desenvolvimento de hardware pneumático e mecânico contemplou a modelagem mecânica do protótipo, foi utilizado para esta modelagem o software SolidWorks 2018. Foi realizado a modelagem de todos os componentes do novo produto:

- Base do medidor;
- Tampa da base
- Bloco de terminais do medidor;
- Tampa do bloco de terminais;
- Parafuso;
- Circuito neutro;
- Circuito shunt;
- Display.

Cada modelagem se fez necessário para avaliar aspectos mecânicos, funcionalidades e a montagem dos componentes.

O novo medidor foi desenvolvido pensando de modo que evitem gerar perigo quando em uso, de modo a assegurar especialmente a segurança pessoal contrachocos

elétricos e os efeitos de temperaturas excessivas, a proteção contra a propagação de fogo e a proteção contra a penetração de objetos sólidos, poeira e água. As partes que contém em sua fabricação material do tipo aço, receberam um revestimento protetor para evitar corrosões, as peças externas foram feitas de plástico e receberam proteção para evitar a degradação significativa quando exposta a radiação solar.

Além do aspecto geral de fabricação, foi seguido conforme recomendações do INMETRO a fabricação da base do medidor, teve a construção rígida, ou seja, não foi inserido parafusos, rebites ou dispositivos de fixação das partes internas do medidor que pudessem ser retirados sem violação dos lacres da tampa do medidor. Na base, foi projetado um furo não passante para sustentar o medidor, como pode ser observado na Figura 3.6.

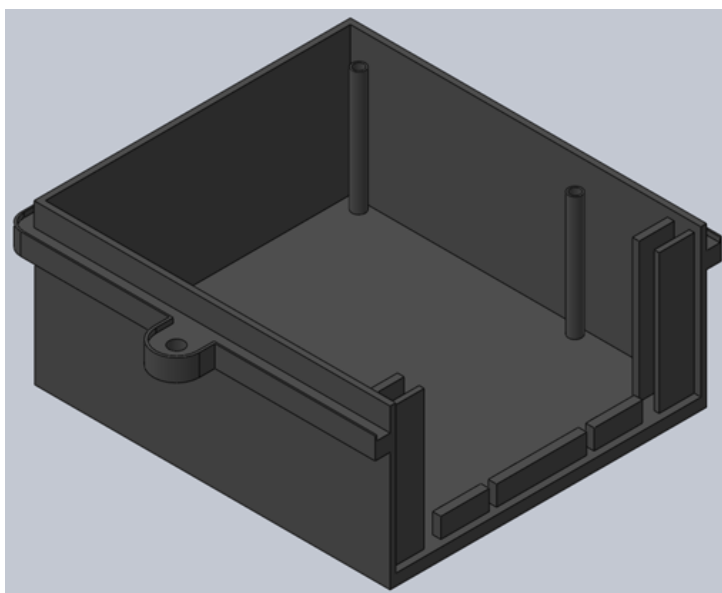


Figura 3.6 - Vista perspectiva da base do medidor.

Conforme mostrado na Figura 3.6, a base foi projetada para ter sua fabricação em material plástico do tipo preto. Possui a característica de ser antichama, para não propagar eventuais incêndios no produto, sua característica mecânica envolve torres para fixação do bloco de terminais, ranhuras e extrusão de materiais para o encaixe da tampa da base, além de orifício para fixação do lacre.

A base possui comprimento de 111,20mm, largura de 103,80 e 47,70mm de altura. O dispositivo foi pensado em otimização do espaço físico para minimizar custos de injeção plástica e associado ao desenvolvimento eletrônico. Concluído a modelagem da base, iniciou-se a modelagem da tampa da base.



A tampa da base do medidor, Figura 3.7, foi projetada com material não transparente, e seguindo norma do INMETRO, foi colocado um display para leitura do mostrador e observação do indicador de funcionamento. O display foi projetado de forma que não será possível removê-lo sem que haja danos à tampa da base.

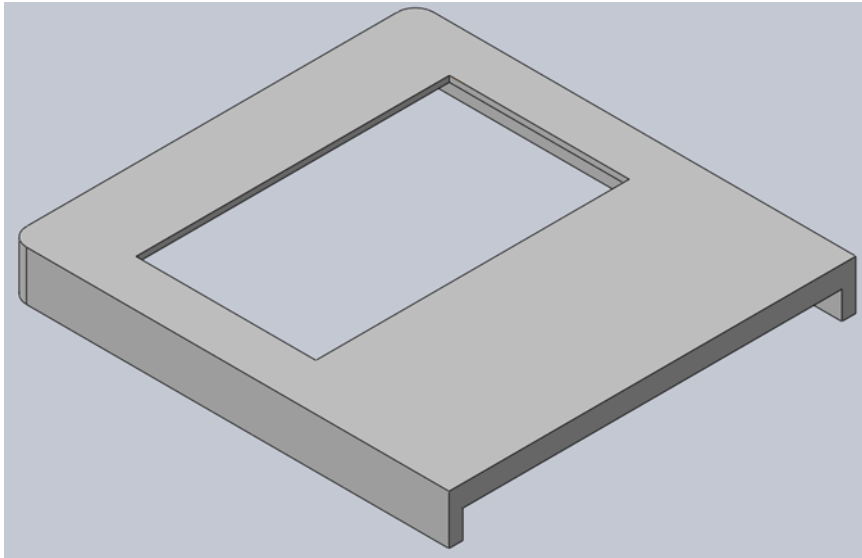


Figura 3.7 - Vista perspectiva da tampa do medidor.

Durante a modelagem do item, foi projetado que o display fosse montado na tampa e posteriormente a tampa pudesse ser encaixada na base.

O bloco de terminais do medidor, Figura 3.8, foi projetado com material do tipo isolante capaz de não apresentar deformações após o medidor ter sido submetido ao ensaio de aquecimento com corrente máxima. Foi fixado na base do medidor e quando for submetido a soldagem somente poderá ser retirado com a violação dos lacres da tampa.

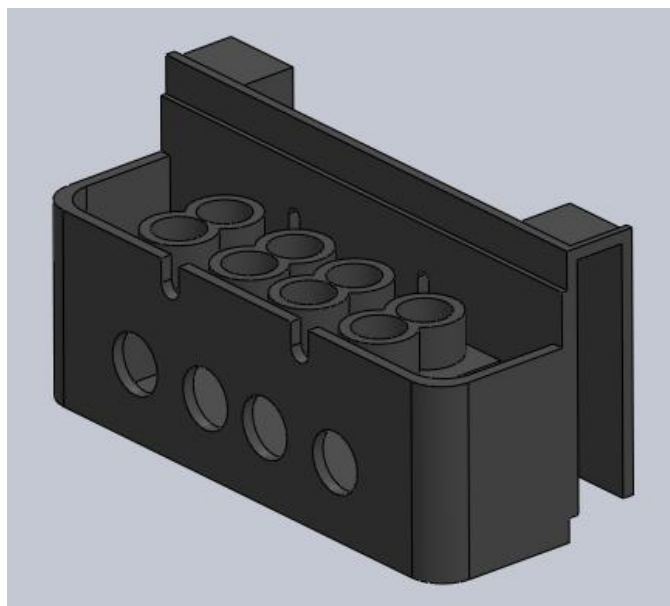


Figura 3.8 - Vista perspectiva do bloco de terminais.

Conforme a Figura 3.8, o bloco possui oito furos para o posicionamento dos parafusos, possui quatro entradas para ligação dos cabos e espaço físico para acomodação dos circuitos shunt e neutro.

A tampa do bloco de terminais, Figura 3.9, foi projetada para ser fabricado em plástico e possui a marcação de LINHA e CARGA, sinalizando ao instalador o posicionamento dos cabos.

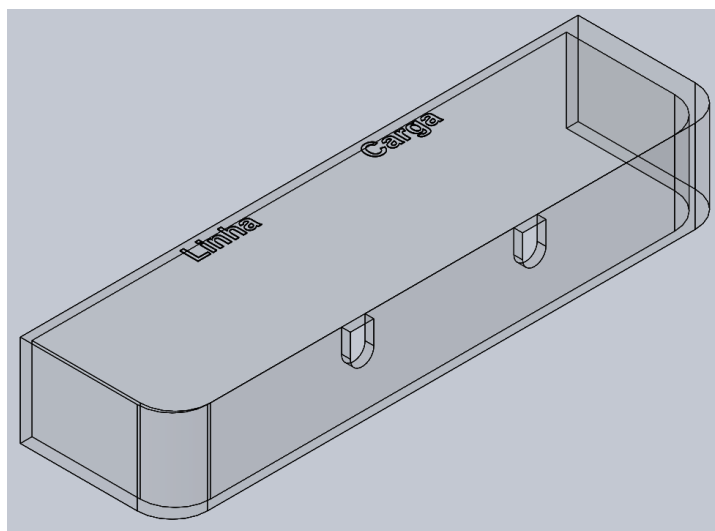


Figura 3.9- Vista perspectiva da tampa do bloco de terminais.

A tampa tem a finalidade de evitar o acesso do cliente final aos parafusos para fazer desvios de energia, e preservar a integridade mecânica dos parafusos.

Também fez parte do protótipo a inclusão de parafusos, por se tratar de medidor monofásico, foi utilizado oito parafusos por medidor e foram aplicados nos circuitos shunt e neutro, que foram fixados ao bloco de terminais. Os circuitos fazem um jumper para que possa existir a ligação de cabos oriundos da rede elétrica (Linha) e distribuídos para o quadro de distribuição do cliente (Carga).

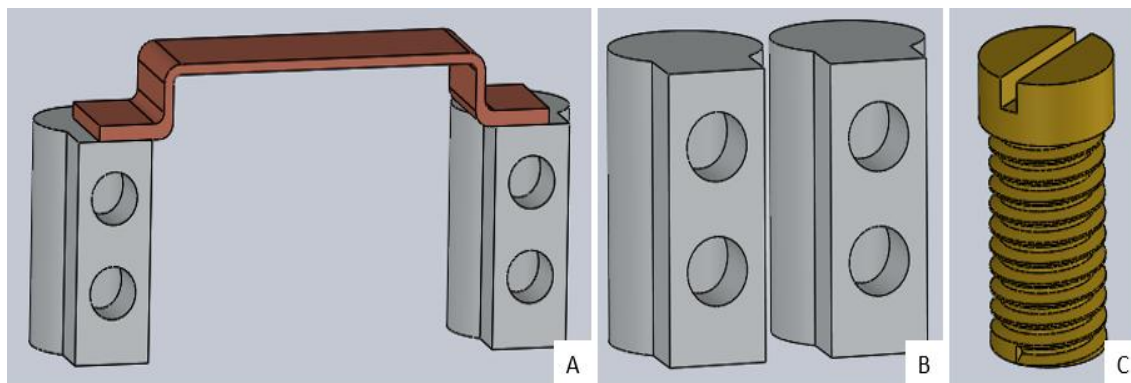


Figura 3.10 - A, B, C - Circuito *shunt*, neutro e parafuso.

Na Figura 3.10A mostra o projeto 3D do circuito *shunt*, possui dois terminais com 4 furos para a colocação dos parafusos e uma chapa em material manganina para ligar os dois terminais. Na Figura 3.10B está ilustrado o circuito neutro, projetado para ser fabricado em aço 1020 também possui 4 furos para os parafusos e a Figura 3.10C mostra a representação do parafuso M6x16.

Todas as peças foram projetadas para receber tratamento superficial. O tratamento superficial é um procedimento que melhora consideravelmente as características e propriedades de uma peça e oferece um excelente custo-benefício que não pode ser obtido por outros procedimentos.

O parafuso recebeu o zinco bicromatizado, trata-se de um procedimento de passivação pós-processo de zinco alcalino ou banho de zinco com camada determinada pela Norma ou especificação do cliente. O tratamento oferece alta resistência à corrosão branca e corrosão vermelha. São tratamentos térmicos contêm cromo IV e são utilizados com características específicas em determinada superfície de metal. Esta proteção de zinco bicromatizado, existe em duas tonalidades diferentes a branca (zincado branco) e zincado amarelo (zinco bicromatizado), para este parafuso optou-se pelo zinco bicromatizado e para os circuitos shunt e neutro foi utilizado o zincado branco.

Existe diversas formas para zincar peças, foi projetado a aplicação de forma eletrolítica, um dos metais mais eficientes e econômicos para proteger o ferro e aço

contra corrosão. Por meio dos diversos banhos de zinco são realizados os revestimentos do ferro ou aço com uma camada protetora de zinco, que funciona como uma barreira isolante do metal base, protegendo-o contra corrosão (proteção catódica).

O processo consiste na deposição do zinco através de passagem de corrente elétrica, transformada de alternada para contínua por meio de retificadores, dividindo a corrente em positiva (cátodo) e negativa (ânodo).

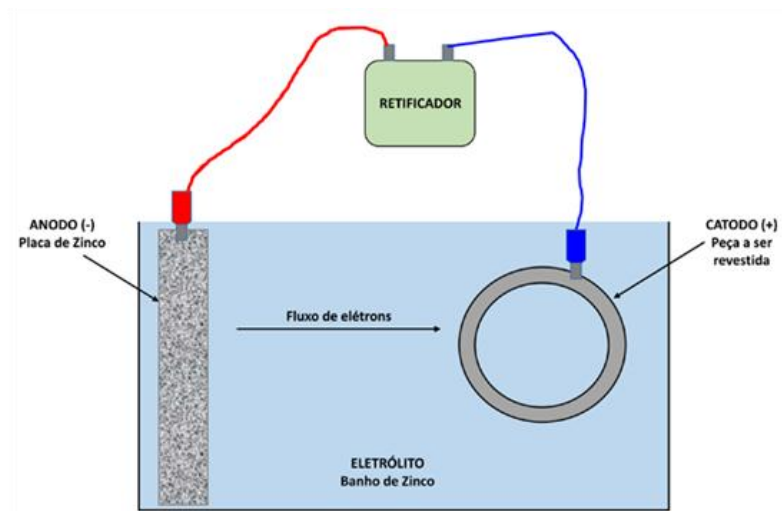


Figura 3.11 - Zincagem eletrolítica.

O zinco é colocado junto ao ânodo e por meio do banho (eletrólito) será conduzido até o cátodo, onde está o material a ser revestido (ferro/aço), sendo depositado em sua superfície. O tempo de imersão irá variar conforme o tipo de banho, a geometria do material e a espessura de camada desejada. Para definição da espessura da camada de zinco aplicado e tipo de acabamento deve-se levar em consideração três fatores principais:

- Ambiente de exposição do material;
- Funcionalidade;
- Durabilidade.

Ao finalizar a modelagem de todo o conjunto mecânico, foi realizado a montagem tornando o produto em uma única peça, conforme Figura 3.12.

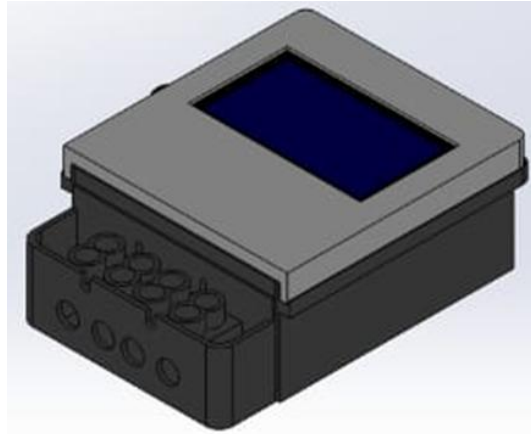


Figura 3.12 - Montagem mecânica do medidor.

Com as modelagens concluídas, foi realizado a criação de desenhos técnicos 2D, nesses desenhos constou todas as especificações dos itens a serem fabricados. O desenho técnico mecânico é a base de qualquer projeto mecânico. Trata-se da representação gráfica altamente detalhada de peças, partes e montagens de produtos e aparelhos em geral, visando representar todas as formas, dimensões, posições, materiais e o processo de fabricação para o bom entendimento da peça quanto a seus detalhes, proporções e funcionamento.

Os desenhos técnicos, Figura 3.13, são de extrema importância para a documentação, divulgação, padronização e o processo de fabricação de peças, máquinas e mecanismos, pois auxiliam na maximização da eficiência dos processos, facilitando o entendimento do operador e evitando perdas de material e tempo, além de diminuir as irregularidades no produto gerado.

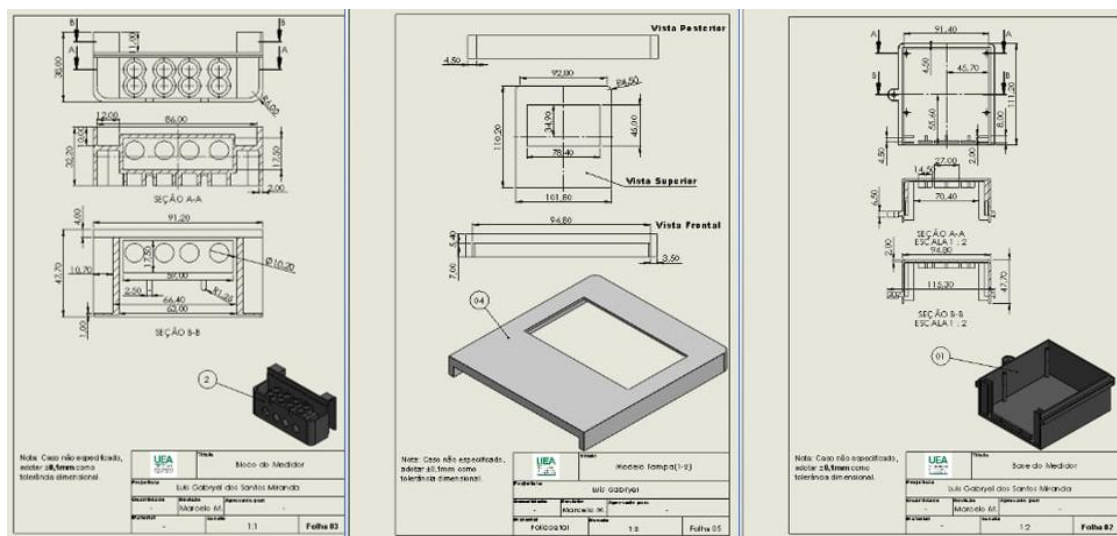


Figura 3.13 - Desenhos 2D.

Os desenhos 2D auxiliaram a fabricação dos itens do produto, e após esta atividade, o medidor foi montado.

A Figura 3.13 mostra a montagem final do protótipo, produto nesta fase ficou pronto para ser validado a montagem mecânica e avaliar também aspectos possíveis violações, acessos internos dentre outros.

Foi observado que a construção do novo medidor, Figura 3.14, se manteve dentro dos parâmetros especificados do INMETRO, não ultrapassando as medidas externas.



Figura 3.14 - Montagem do novo medidor.

O bloco de terminais acomoda os circuitos shunt e neutro, é por meio deles que a conexão da rede elétrica será feita. Com a utilização do medidor de corrente tipo shunt, é possível realizar a medição de energia ativa e reativa. O desenvolvimento deste produto visa a medição do consumo de energia remotamente para clientes residenciais e comerciais de baixa tensão. O registro bidirecional apresenta ao consumidor, o consumo obtido da rede e o excedente exportado para a distribuidora. O circuito neutro é um elemento de circuito ou de sistema que apresenta em regime permanente a corrente elétrica e a diferença de potencial elétrico nulos, indiferente da sua forma ou natureza. E mesmo com essas características, ele pode ser utilizado como um condutor ativo.

Ainda tratando sobre os circuitos shunt e neutro, foi importante para aplicação no protótipo o entendimento de energia ativa e reativa. A energia ativa refere-se a energia tangível, que gera funcionamento de equipamentos elétricos e eletrônicos. É a energia que efetivamente é consumida e paga pelos clientes das concessionárias. A

energia reativa não produz trabalho direto, mas é importante para criar fluxo magnético em bobinas, transformadores, geradores e equipamentos afim.

Existem 2 subtipos de energia reativa, que são o reativo indutivo e o reativo capacitivo. O primeiro, o indutivo, é consumido pelo cliente, conforme foi escrito, através de geração de campo magnético para funcionamento de certos equipamentos.

O segundo tipo, é retornado à rede elétrica externa. Tanto a energia reativa indutiva quanto a energia reativa capacitativa é prejudicial ao cliente e ao sistema elétrico nacional. Nas instalações elétricas, geram superaquecimentos, quedas de tensão, aumento do consumo de energia ativa e pode gerar multas desnecessárias pelo excesso do uso da reativa. A Reativa, ao retornar a rede, ele “toma espaço” nos cabos elétricos e acaba por atrapalhar o sistema elétrico nacional, pois segundo alguns estudos, 85% das grandes empresas não são adequadas a usar e controlar esta energia.

O circuito shunt foi fabricado em aço 1020 com uma ponte de manganina, uma liga composta por cobre, manganês e níquel. Possui como característica a não influência de campos eletromagnéticos devido as características resistivas. Na Figura 3.15 abaixo é mostrado o circuito shunt.

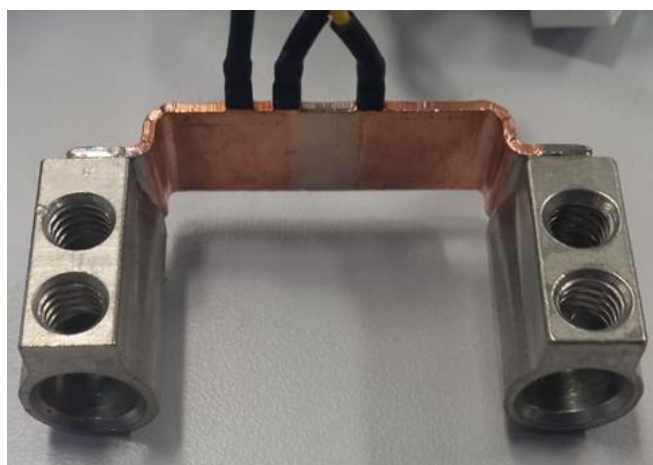


Figura 3.15 - Circuito *shunt*.

O circuito possui duas peças, chamadas de terminal, cada peça possui dois furos para fixação de parafusos M6. Conforme Figura 3.15, o terminal do lado esquerdo recebe o cabo Linha, oriundo da rede elétrica, conforme regulamento do INMETRO, este tipo de medidor pode receber cabos de até 35mm, os parafusos são para fixação e aperto do cabo. No lado direito, deste mesmo circuito, é ligado o cabo de carga, que será fixado do medidor para o quadro de disjuntores do cliente. A união dos terminais foi feita por uma peça de manganina, por solda a ponta.

O circuito neutro, Figura 3.16, também foi fabricado com aço 1020, com quatro furos para fixação dos parafusos e duas entradas para a fixação dos cabos.

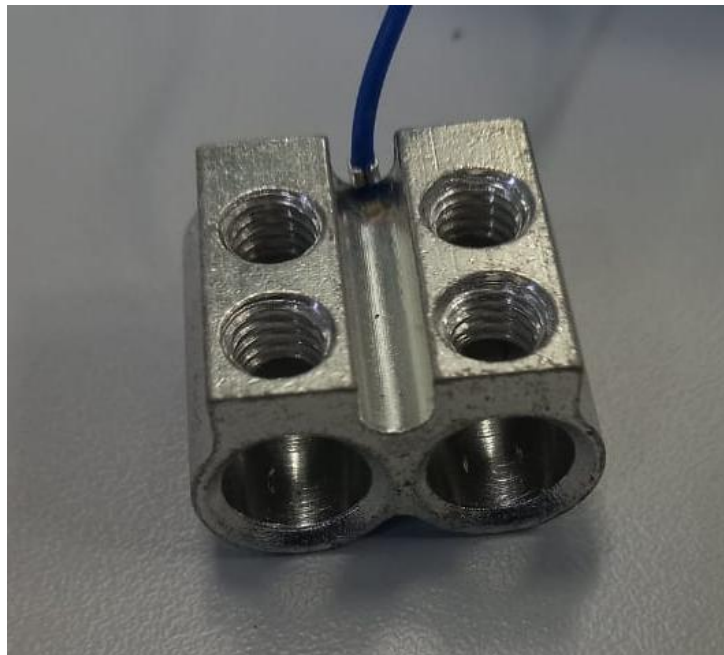


Figura 3.16 - Circuito neutro.

Foi utilizado uma peça maciça e usinado. Segue o mesmo princípio de ligação do circuito shunt, furos do lado esquerdo recebe o cabo Linha, da concessionária e do lado direito o cabo Carga será ligado no quadro de disjuntores do cliente.



Figura 3.17 - Montagem do bloco de terminais.

Na Figura 3.17, é mostrado o bloco de terminais montado. Durante o processo de fabricação desse novo produto, poderá ser realizado uma sub montagem, com o encaixe dos circuitos shunt, neutro e aperto de oito parafusos.



Outro componente fabricado foi a base do medidor, Figura 3.18, fabricado em plástico preto, a base serve para acomodar a placa eletrônica e display com mostrador digital, bem como o encaixo do bloco de terminais.



Figura 3.18 - Base do medidor.

A base do medidor possui partes que servem para o correto posicionamento do bloco de terminais e tampa da base, além de pequenas torres para fixação da placa eletrônica e o posicionamento do display. Possui característica de antichama, atendendo especificação do INMETRO.

A tampa do novo produto foi fabricada em poliacetal branco, Figura 3.19, conforme desenhos 2D, foi previsto a acomodação de um *display* do tipo LCD gráfico 128x64 *backlight* azul, conforme Figura abaixo.



Figura 3.19 - Tampa da base com display.

A tampa da base possui espaço na parte ao redor do display para serigrafia conforme padrões do INMETRO, nela será possível gravar os dados via gravadora a laser, equipamento comumente utilizado por empresas fabricante de medidores eletrônicos de energia.

### 3.2.1.2 - Desenvolvimento de hardware elétrico e eletrônico

O desenvolvimento eletrônico contou inicialmente com a desenvolvimento da interface, esta etapa teve o objetivo de apresentar dados ao usuário do produto, como corrente, tensão, consumo gasto.

#### – Interface LoRa

A interface serviu para facilitar a relação entre dois sistemas ou entre o usuário e o sistema a ser utilizado. No caso do sistema LoRa, para facilitar o processo de comunicação entre máquina e usuário, a interface foi desenvolvida para que a leitura de dados fosse transmitida com mais clareza e objetividade, facilitando a inspeção de monitoramento de dados.

#### – Circuito Eletrônico

O desenvolvimento desta interface, necessitou da utilização do LCD gráfico 128x64 e um sensor de corrente (ACS712) de 30A. O sensor captura os dados de medição e transfere para o LCD, informando os parâmetros medidos no equipamento. Já o LCD tem por objetivo informar para o usuário os dados capturados pelo sensor de corrente, com o intuito de facilitar a inspeção de dados.

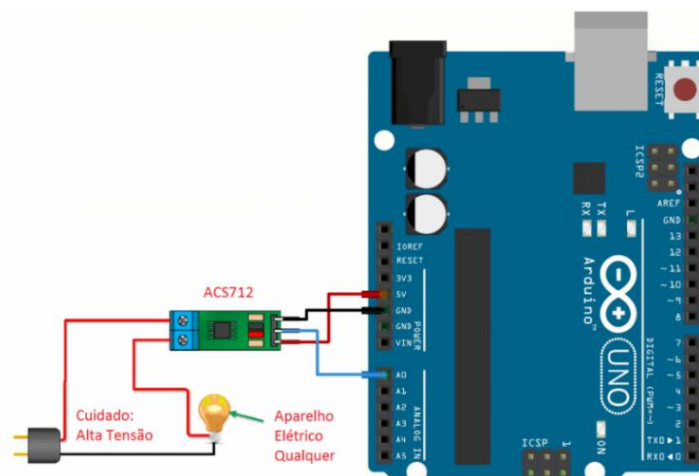


Figura 3.20 - Ligação eletrônico do sensor de corrente (ACS712).

A ligação mostrada na Figura 3.20 trata-se da ligação eletrônica do sensor de corrente ACS712, o datasheet do mesmo informa as seguintes pinagens, conforme Figura 3.21:

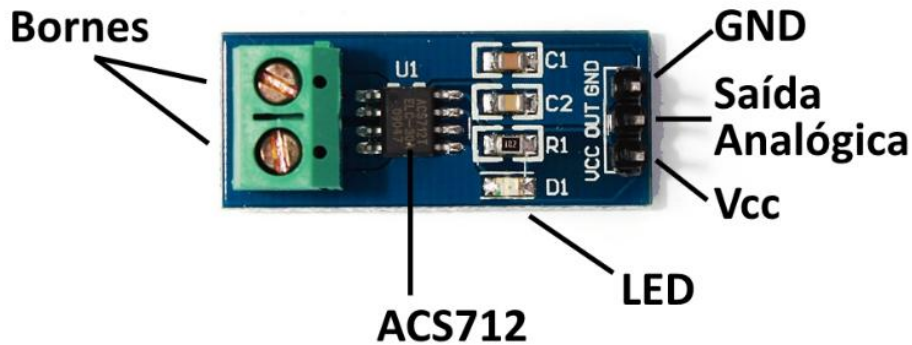


Figura 3.21 - Datasheet do sensor de corrente ACS712.

Na Tabela 3.3 informa as pinagens do sensor de corrente a serem conectadas nas pinagens do Arduino:

Tabela 3.3 - Pinagens do sensor e Arduino.

ACS712	ARDUINO
<b>GND</b>	<b>GND</b>
<b>SAÍDA ANALÓGICA</b>	<b>A3</b>
<b>VCC</b>	<b>5V</b>

As pinagens dos bornes foram conectadas ao objeto que precisa ser medido, no caso do LoRa, os pinos do borne foram conectados na entrada da alimentação do medidor eletrônico.

Em seguida, a ligação eletrônica para a comunicação com o LCD gráfico 168x64, foram feitas da seguinte forma, Figura 3.22.

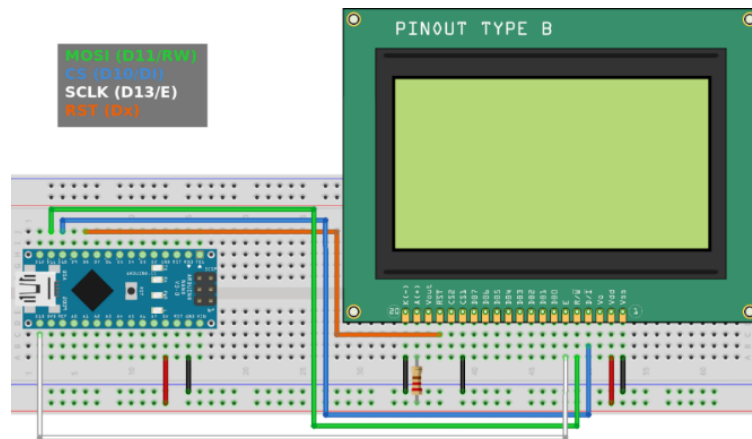


Figura 3.22 - Circuito eletrônico para ligação do LCD 128x64.

Na Tabela 3.4 é informado as pinagens do LCD gráfico 128x64 que foram conectadas nas pinagens do Arduino:

Tabela 3.4 - Pinagens do display e Arduino.

LCD 128x64	ARDUINO
<b>VCC</b>	<b>5V</b>
<b>GND</b>	<b>GND</b>
<b>PSB</b>	<b>GND</b>
<b>BLA</b>	<b>5V</b>
<b>BLK</b>	<b>GND</b>
<b>RST</b>	<b>D9</b>
<b>ENABLE</b>	<b>D8</b>
<b>R/W</b>	<b>D7</b>
<b>R/S</b>	<b>D6</b>

### 3.2.1.3 - Desenvolvimento de software

– Código Fonte

No processo de criação da interface, a comunicação com a máquina foi de suma importância, pois é através dela que se consegue informar o que se espera da máquina, o que precisa ser testado ou não e, o que precisa ser transmitido para o usuário.

O desafio alcançado foi conseguir parametrizar esses quesitos acima citados numa forma simples, clara, objetiva e intuitiva para o operador, pois quanto menos

complexo as informações são transmitidas, mais produtivo é o processo de inspeção de dados.

O código fonte estabelece as ordens de medição, ou seja, ele parametriza como cada variável deverá agir em determinados pontos, como por exemplo, a medição da potência é a multiplicação da voltagem com a corrente, ou seja,  $P = V \times I$ . Assim procedeu as demais ordens de medição do sensor, os cálculos para cada variável foram feitos conforme a NBR 5410 que trata das “Instalações Elétricas de Baixa Tensão”. Os parâmetros gráficos foram desenvolvidos para que a interface seja interativa com o usuário, sendo assim, a transmissão de dados e comunicação com ele torna-se simples, claro e objetivo.

Com este desenvolvimento, foi possível criar a versão da interface, com os parâmetros de medição de corrente, tensão, potência e consumo em tempo real.

O código fonte deste desenvolvimento está descrito no ANEXO IV.

A primeira versão da interface ficou conforme mostrado na Figura 3.23.



Figura 3.23 - Interface do sistema LoRa para controle de medição.

Quatro parâmetros foram utilizados nesta fase de desenvolvimento, sendo:

- Corrente;
- Tensão;
- Potência;
- Energia.

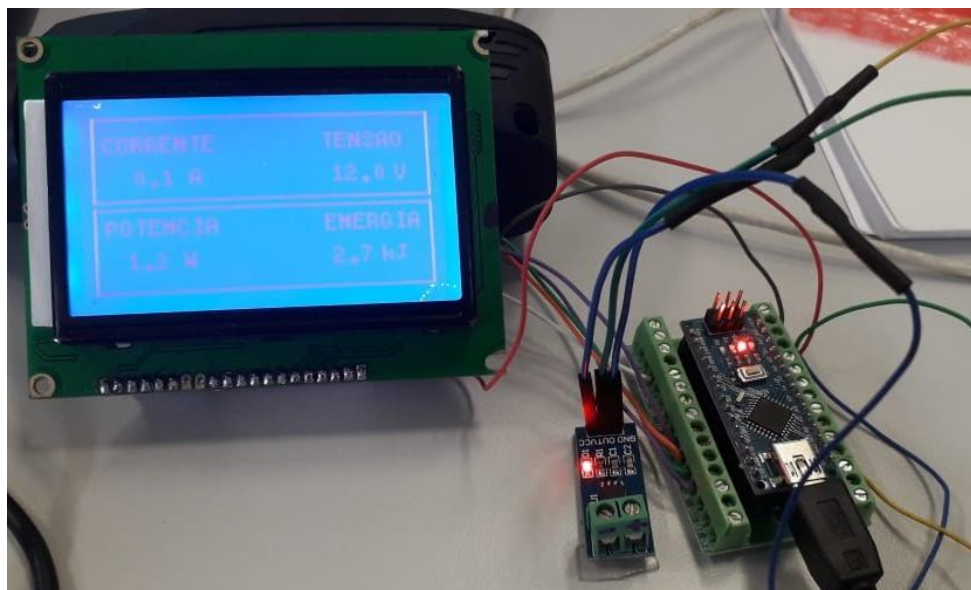


Figura 3.24 - Circuito eletrônico com o auxílio do sensor de corrente ACS712.

Para o desenvolvimento do circuito eletrônico foi utilizado o módulo de corrente ACS712, Arduino Nano, LoRa Esp32 e display para informar ao usuário os dados coletados.

### 3.3 - ANÁLISE DA MONTAGEM DO PROJETO

Por se tratar de um sensor de corrente invasivo, é necessário realizar a interrupção do circuito para que o ACS712 possa ser conectado ao circuito, como mostrado abaixo. Após isso, conecta-se a alimentação (5V e GND) do ACS712 no Arduino, e o pino OUT é conectado ao pino analógico A0, de acordo com o diagrama abaixo, Figuras 3.25 e 3.26. O Resistor Shunt está ligado em série com a lâmpada para a conexão com o sensor de corrente.

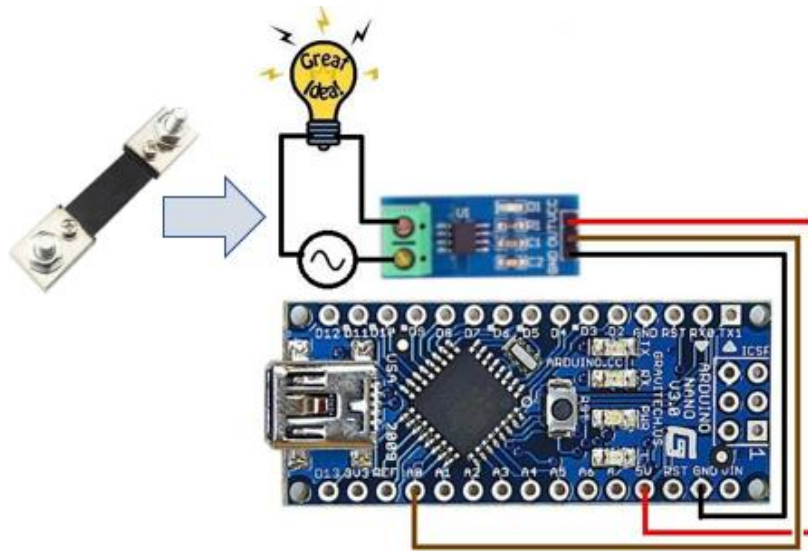


Figura 3.25 - Ligação do Arduino Nano com o sensor de corrente.



Figura 3.26 - Conexão Arduino Nano com o Arduino LoRa.

### 3.3.1 - Arduino Nano ATmega 328P

A Placa Arduino Nano ATmega328P pode ser programada com o software do Arduino. O ATmega168 na Placa Nano vem com o *bootloader* pré-gravado e possibilita o envio de novos códigos sem o uso de um programador de hardware externo. Ele se comunica usando o protocolo original STK500, também se pode ignorar o *bootloader* e programar o microcontrolador. Na Figura 3.27 está representado o diagrama do Arduino Nano.

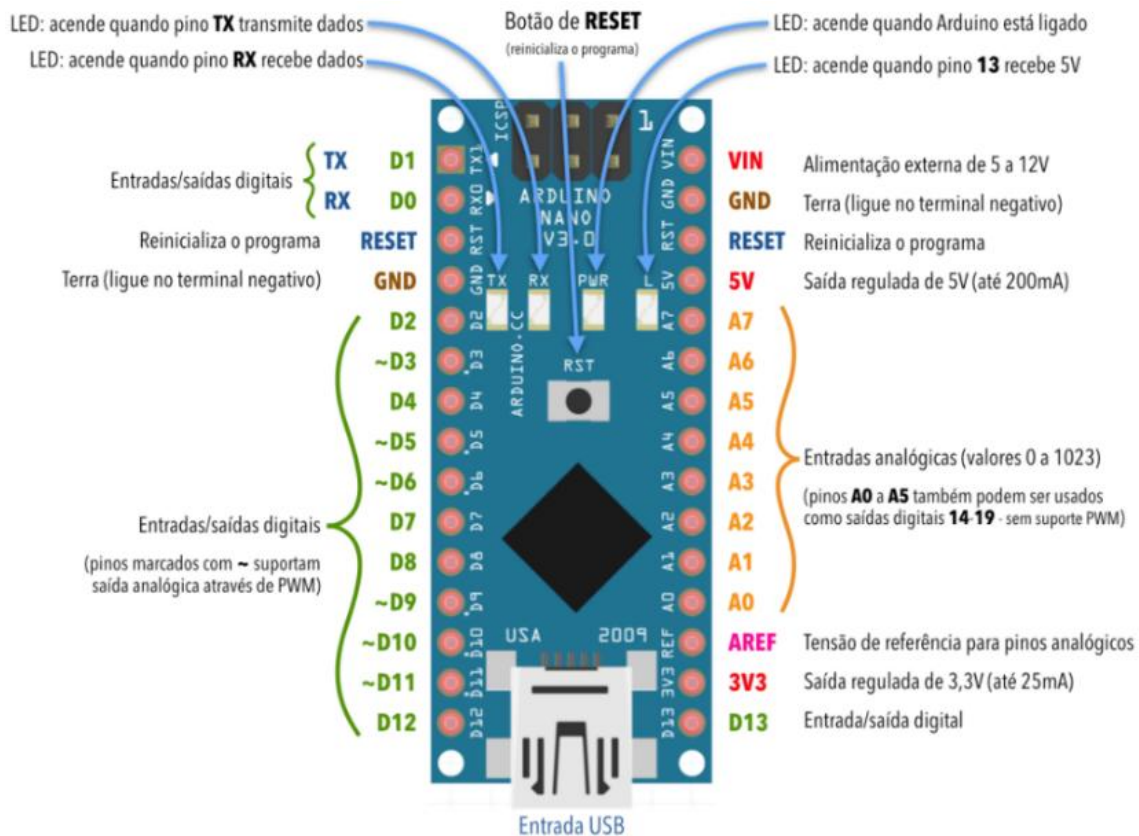


Figura 3.27 - Diagrama Arduino Nano.

Conforme Figura 3.27, o diagrama foi utilizado como referência para as ligações eletrônicas, por meio dele foi possível obter o circuito eletrônico do medidor.

### 3.3.2 - LoRa ESP32

O módulo ESP32 LoRa 868/915Mhz com OLED 0.96" é uma placa compacta e extremamente conectada, pois conta com: *Bluetooth*, WiFi e Lora. Além da conectividade, esse módulo também embarca um display Oled 0,96, uma antena SMA e ainda uma conexão para bateria. O Módulo ESP32 é um módulo de alta performance que se conecta em redes WiFi 802.11 b/g/n, caracterizando-se como um módulo com baixo consumo de energia ideal pra aplicações IoT. Como adicional, o módulo também possibilita conexão *Bluetooth*. E para completar, programa-se o ESP32 usando LUA ou a IDE do Arduino utilizando um cabo micro-usb. Oferecendo comunicação superior a 20km.





Figura 3.28 - ESP32 LoRa.

### 3.3.3 - Comunicação serial

A comunicação serial é utilizada largamente e tem grande importância na automação, pois grande parte dos equipamentos ainda utilizam essa tecnologia para comunicação seja através do padrão RS-232, como de muitos outros que transmitem seus dados serialmente como RS-485, Ethernet, USB entre vários outros. Certamente o uso mais comum é a comunicação serial com microcontroladores. A comunicação é feita através da transmissão de informação bit a bit sequencialmente, normalmente caracteres ASCII, através de uma única via (fio), na grande maioria dos padrões existem vias de transmissão e recepção chamados de RX e TX. O padrão mais utilizado para transmissão serial é o RS232 que utiliza tensões diferenciais tipicamente de +12V,-12V, mas outras podem ser admitidas como +-5 e +-15,o fato de ser diferencial facilita a transmissão de dados por grandes distancias (evitando ruídos). Na comunicação serial a transmissão pode ser síncrona ou assíncrona, vamos abordar a transmissão assíncrona que é amplamente utilizada.

### 3.3.4 - Velocidade de comunicação serial

A velocidade de transmissão serial é expressa como "bps" (*bits-per-second*) ou "baud" (*baud rate*) isso representa quantos *bits* podem ser transmitidos por segundo.

- 9600 bps ou 9,6 kbps;
- 19200 bps ou 19,2 kbps;
- 115200 bps ou 115,2 kbps.

Ambos os dispositivos que forem se comunicar devem estar configurados exatamente iguais, com a mesma velocidade, paridade e configuração de *stop bit*, caso contrário a comunicação não será possível.

Podem ser empregados três sistemas de comunicação:

- *Simplex*: Onde apenas um terminal transmite e o outro recebe.
- *Half Duplex*: Também apenas um terminal transmite de cada vez, mas ambos podem fazê-lo.
- *Full Duplex*: É possível transmitir e receber ao mesmo tempo.

### 3.3.5 - Interface entre LCD12864 com Arduino Nano

O LCD comunica-se com o Arduino através do protocolo ISP. Esse conjunto de 6 pinos segue um padrão fixo, normalmente chamado de ISP header de 6 pinos, e costumeiramente indicado com a sigla ICSP nas placas Arduino. ISP e ICSP são duas siglas que se referem a um mesmo conceito geral: a capacidade de transferir programas para um componente enquanto ele está instalado em um sistema (a sigla ICSP se refere especificamente a fazê-lo por meio de protocolos seriais). No caso dos Arduinos, o ICSP se refere à capacidade de programar diretamente os microcontroladores da placa usando o protocolo serial SPI, e é por isso que – além dos pinos de tensão e controle (VCC, GND e RESET) – estão presentes nele os 3 pinos necessários para uma conexão ponto-a-ponto usando SPI: MOSI, MISO e SCK, que são, respectivamente, os pinos pelos quais o mestre envia dados ao periférico, o mestre recebe dados do periférico e o mestre controla o pulso/clock da conexão. A configuração dos pinos adota o padrão unificado conforme a Figura 3.29, sendo que o pino 1 geralmente é indicado por um ponto estampado na placa:



Figura 3.29 - Pinagem do barramento SPI do Arduino.

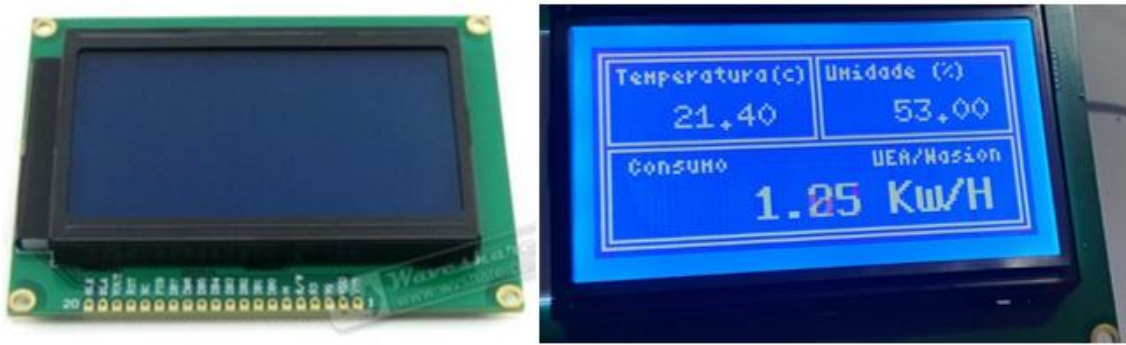


Figura 3.30 - LCD12864 interface ISP com o Arduino Nano.

### 3.3.6 - Interface entre LCD12864 com Arduino nano

Para interface *Web* e *Mobile* (celular) foi utilizado o *Blynk* em conjunto com o ESP8266 ESP-01. O *Blynk* aliado a estas plataformas vai possibilitar desenvolver projetos IoT de interface *Mobile* utilizando o WiFi.

Para conectar o ESP-01 ao computador é necessário utilizar um conversor USB Serial. Utilizei o PL2303HX, contudo, podemos usar qualquer conversor USB Serial que forneça 3.3V para alimentação do ESP-01.

### 3.3.7 - Módulo DTH22 - Sensor de temperatura e umidade

Umidade é a quantidade de vapor de água na atmosfera. A umidade relativa do ar é uma importante medida usada na previsão do tempo, e indica a possibilidade de precipitação chuva. A alta quantidade de vapor de água na atmosfera favorece a ocorrência de chuvas. Já com a umidade do ar baixa, é difícil chover. A alta umidade durante dias quentes faz a sensação térmica aumentar, ou seja, a pessoa tem a impressão de que está mais calor, devido à redução da eficácia da transpiração da pele, e assim reduzindo o resfriamento corporal. De acordo com a OMS (Organização Mundial da Saúde), valores de umidade abaixo de 20% oferecem risco à saúde, podendo provocar desidratação nas pessoas.

Essas são algumas aplicações para os Sensores de Umidade e Temperatura:

- Estação meteorológica,
- Controle de irrigação para plantas,
- Controle de umidade e temperatura em ambientes controlados,
- Frigoríficos,

- *Data Centers,*
- *Data loggers, etc.*

O DHT22, Figura 3.31 é um sensor de temperatura e umidade que permite fazer leituras de temperaturas entre -40 a +80 graus Celsius e umidade entre 0 a 100%, sendo muito fácil de usar com Arduino e outros microcontroladores pois possui apenas 1 pino com saída digital. O DHT22 é um sensor de temperatura e umidade que permite fazer leituras de temperaturas entre -40 a +80 graus Celsius e umidade entre 0 a 100%. É muito fácil de usar com Arduino e outros microcontroladores, pois possui apenas 1 pino com saída digital.

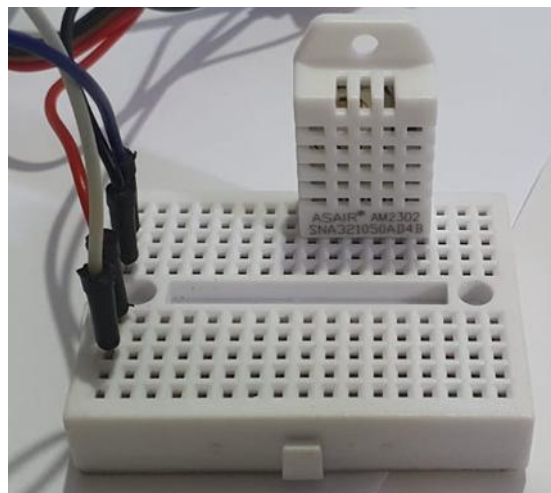


Figura 3.31 - Sensor de temperatura e umidade DTH22.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.1 - IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO

Antes de partir para a *sketch* do medidor de corrente AC com ACS712 foi necessário a instalação das bibliotecas utilizadas. Para isso a maneira mais simples foi utilizar o próprio utilitário da IDE do VsCode. Foi necessário instalar as seguintes bibliotecas no VsCode.

- Adafruit GFX Library (funções gráficas para o display) e Adafruit SSD1306 (driver para o *display*);
- Emonlib (biblioteca de medição).

Por segurança, sempre que trabalhar com um projeto envolvendo a rede elétrica é interessante manter o circuito desconectado da rede enquanto carrega o código, após completamente carregado o código fonte no Arduino deve-se conectar o modelo AC na tomada elétrica.

A biblioteca Emonlib foi desenvolvida de uma forma que sensores/transdutores para diversos ranges possam ser utilizados. Quando se configura a instância da biblioteca indica-se qual o canal do ADC utilizado e a constante de calibração. Para o ACS712-50A essa constante foi obtida de maneira empírica, ou seja, foi utilizado um multímetro como referência para então calcular a constante que foi utilizada. O loop de setup irá basicamente inicializar o display e a biblioteca Emonlib.

Dentro do loop é chamada a função “`emon1.calcIrms(1996)`” e uma das dúvidas mais comuns é de onde vem os valores dentro dos parênteses. Esse número indica a quantidade de amostras utilizadas no algoritmo RMS. Um ponto importante, para que a medição tenha boa exatidão é necessário que o número de pontos seja o equivalente de amostras dentro de N ciclos completos da rede.

Com algumas modificações na biblioteca (usando a função “`micros()`”) foi verificado que a função inicia uma conversão do ADC em média a cada 166,86us. Sabendo que um ciclo da rede de 60Hz tem duração de 16,66ms é possível de se calcular que é necessário de 99,84 amostras por ciclos. Quanto mais ciclos completos forem amostrados, mais estáveis serão as medições. Neste caso foram escolhidos 20 ciclos completos, ou seja, aproximadamente 1996 amostras. A função

“emon1.calcIrms()” realiza todo o trabalho de amostrar os sinais, realiza os cálculos e retorna resultado. Após isso os dados são apresentados no display.

A Figura 4.1 mostra a interface entre o Arduino, LCD, sensor de temperatura DHT22 e o transmissor LoRa. A interface gráfica utilizando o LCD serve para que o leiturista das concessionárias de energia elétrica faça a leitura de consumo do cliente. Os dados de consumo são mostrados nessa interface, bem como os dados de temperatura e umidade.

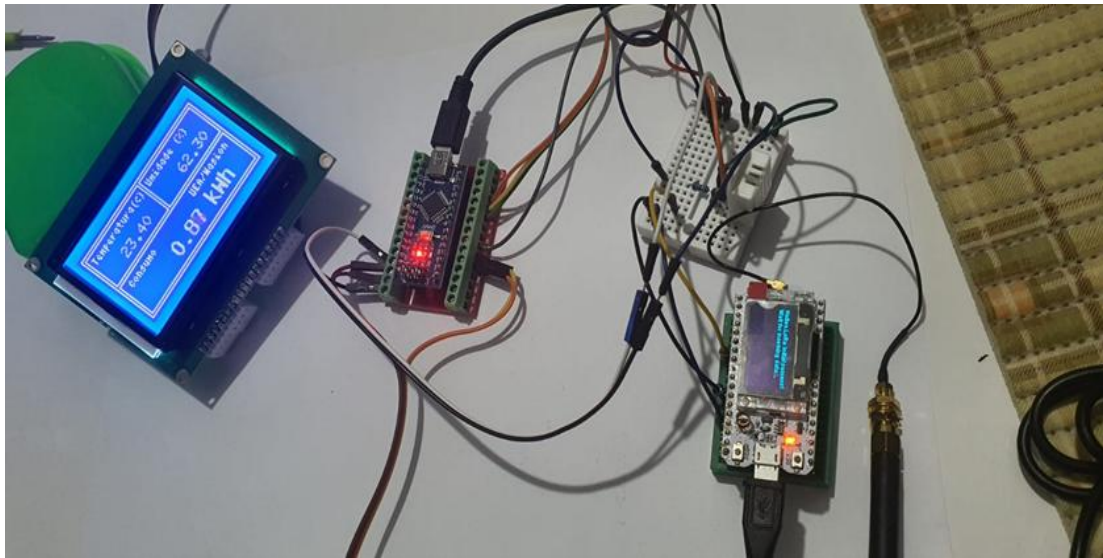


Figura 4.1 - Todos os dispositivos conectados e funcionando.

Apesar de não ter sido uma exigência da empresa para o desenvolvimento desse protótipo, a temperatura e umidade foram colocados nesse projeto porque essas informações afetam a vida útil do aparelho. Essas variáveis afetam no envelhecimento do medidor.

A Figura 4.2, mostra a saída de informações de consumo, temperatura e umidade que enviada pelo medidor para a rede LoRaWAN. Essas informações serão utilizadas pelas concessionárias de energia para monitorar o consumo do cliente, com a finalidade de obter o perfil de consumo, sabendo do perfil de consumo do cliente a concessionária poderá evitar possíveis fraudes.

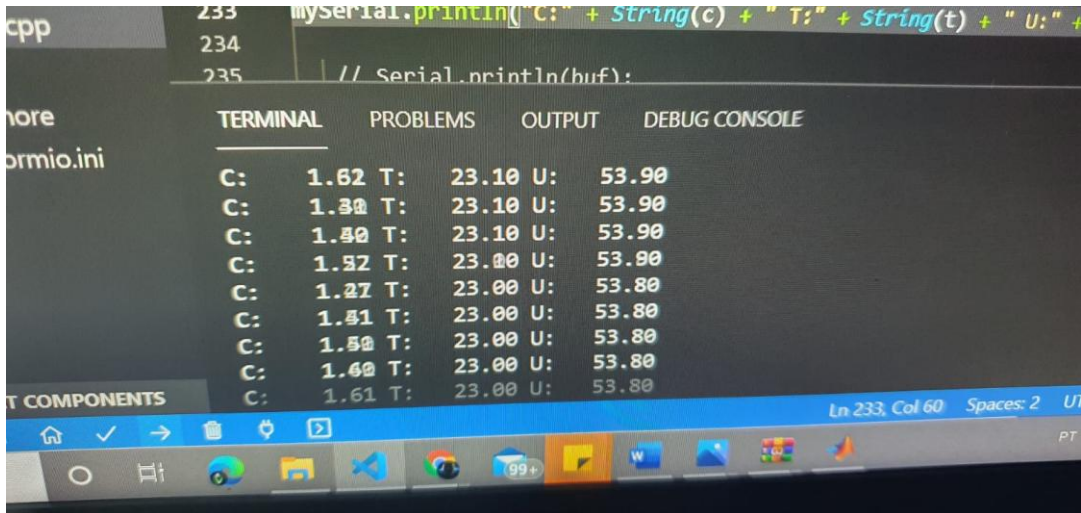


Figura 4.2 - Dados recebidos pela interface do VsCode.

As Figuras 4.3 e 4.4 mostram a captura de dados dos medidores pelo Matlab, esses dados são armazenados em um banco de dados, e futuramente poderá ser utilizado para traçar o perfil de cada usuário. Na região Norte, muitas comunidades do interior do estado não têm acesso a internet. Devido ao programa do governo federal “Luz para todos”, foram instalados medidores nas maiorias das comunidades na região. A concessionária não possui acesso aos medidores devido à distância. Através do medidor LoRa desenvolvido nesse projeto as informações de telemetria dos medidores poderão chegar a um ponto de acesso à internet existente na comunidade podendo assim transmitir para a concessionária as informações.

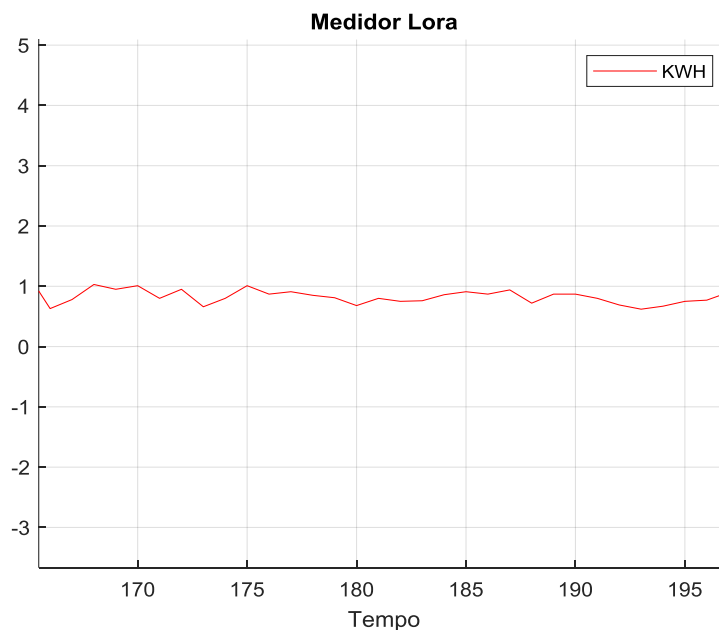


Figura 4.3 - Interface gráfica com o Matlab, leitura do consumo.

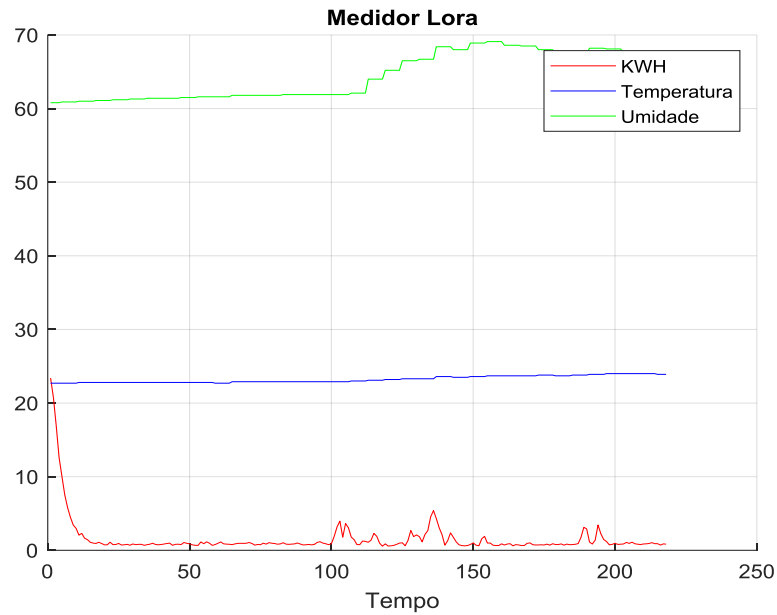


Figura 4.4 - Interface gráfica com o Matlab, todas as informações coletadas.

A Figura 4.5 mostra a interface mobile desenvolvida para o medidor lora. Utilizando essa interface a equipe de manutenção das concessionárias poderá visualizar qual dos clientes encontram-se sem energia elétrica em suas residências, podendo atuar rapidamente no religamento. Essa interface também poderá ser disponibilizada ao cliente para que acompanhem seus consumos em tempo real podendo assim reduzir seu consumo mensal contribuindo no valor mensal pago.



Figura 4.5 - Interface mobile.



Além do desenvolvimento de software para medição do consumo de energia elétrica com interface mobile, foi desenvolvido o projeto das partes mecânicas do medidor desde a modelagem 3D à versão final montada.

Dentre as peças modeladas estão a tampa da base, base, bloco de terminais, tampa do bloco de terminais, além dos circuitos *shunt* e neutro. A figura a seguir mostra o resultado deste desenvolvimento.

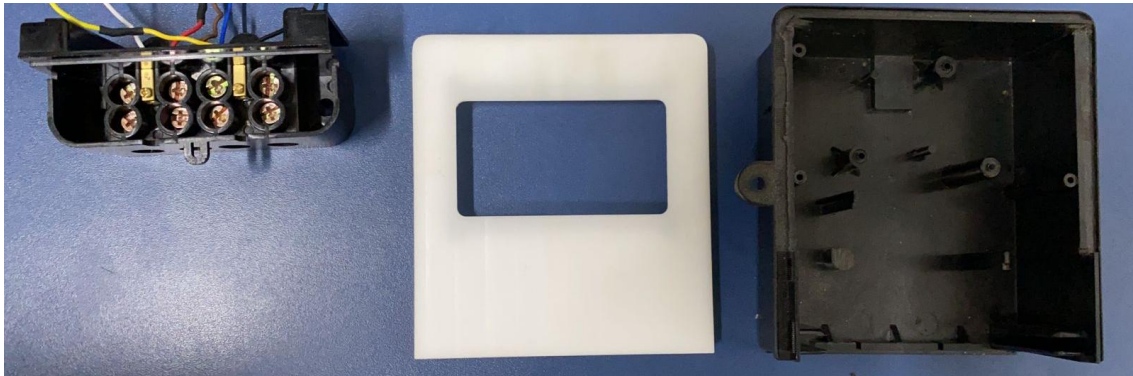


Figura 4.6 - Peças mecânicas do medidor 1.

O circuito eletrônico desenvolvido foi acomodado dentro da base do medidor e as ligações foram feitas com ligações entre as placas e os circuitos *shunt* e neutro, responsáveis pelo recebimento dos cabos elétricos da rede externa e distribuição para o quadro de disjuntores do cliente. A Figura 4.7 mostra o resultado desta etapa.

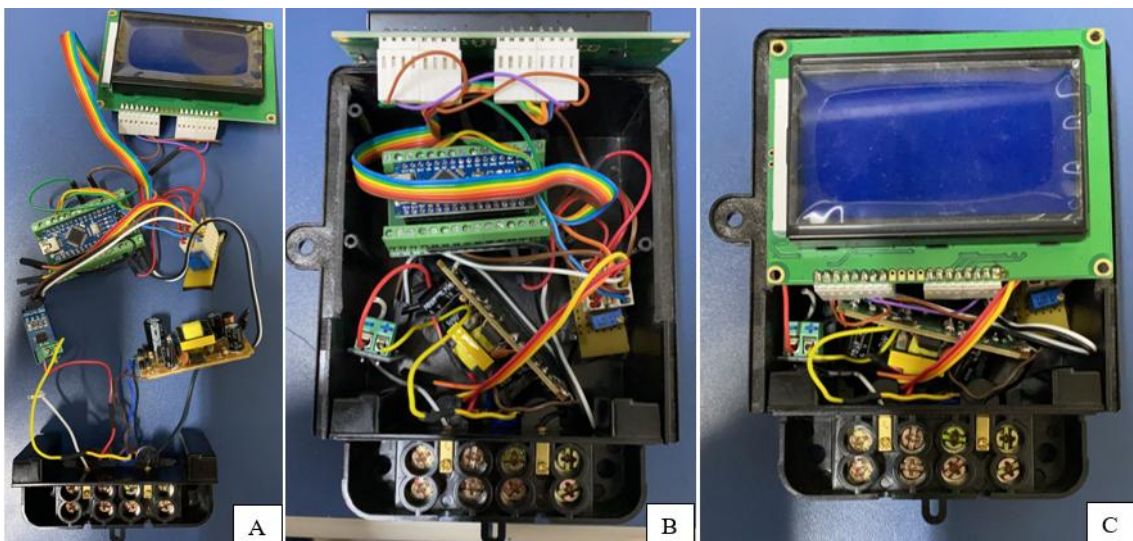


Figura 4.7 - Peças mecânicas do medidor 2.

Conforme a Figura 4.7A nota-se que os circuitos eletrônicos foram desenvolvidos utilizando quatro placas, mas pretende-se em trabalhos futuros o

desenvolvimento de um circuito que otimize esta solução. Na Figura 4.7B é mostrado a acomodação da eletrônica dentro da base do medidor e a 4.7C mostra o posicionamento do *display*.

A Figura 4.8, mostra o protótipo final do medidor LoRa na sua versão de prototipagem.



Figura 4.8 - Versão final do protótipo.

Conforme Figura 4.8, é possível observar que o medidor realiza a leitura da temperatura, umidade e do consumo e mostra por meio do *display* digital os dados coletados. A tampa da base, peça na cor branca, possui área reservada para marcação das informações mínimas exigidas pelo INMETRO e dados utilizados pela concessionária.

Para que fosse validado o conceito e testes elétricos, mecânicos do novo medidor, uma jiga de teste (*Fixture*) foi desenvolvido para esse medidor, Figura 4.9.

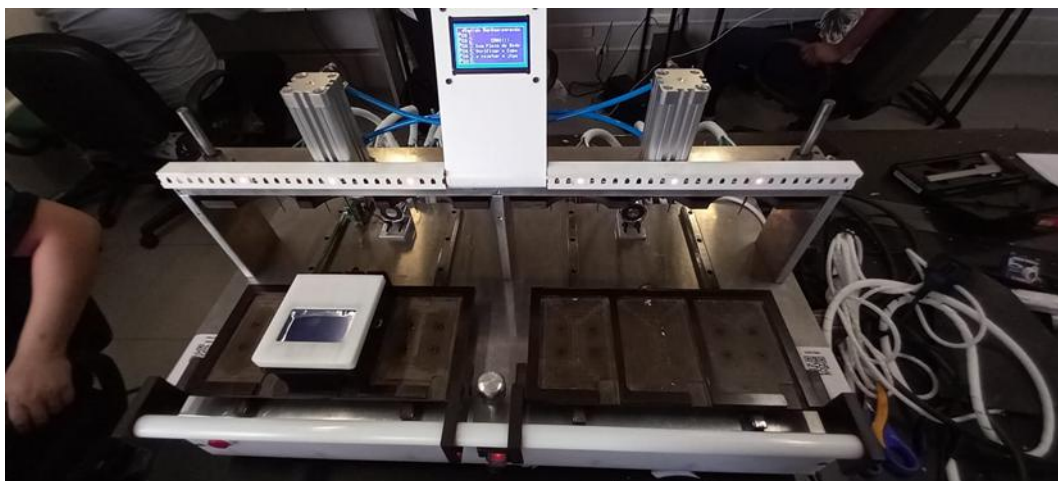


Figura 4.9 - Fixture de teste do medidor.

O dispositivo de teste conforme Figura 4.9, realiza o ensaio das saídas periféricas, que tem a finalidade em averiguar a adequação e funcionalidade de todas as saídas periféricas do medidor. O dispositivo conta com seis berços para acomodação dos produtos, o teste é realizado por meio do contato de agulhas diretamente nas saídas periféricas do medidor.

Os Anexos I e II apresentam os códigos fontes para o funcionamento da leitura do medidor protótipo LoRa e do Matlab, respectivamente.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES E SUGESTÕES

#### 5.1 - CONCLUSÕES

Os fabricantes de medidores de energia elétrica têm investido em estratégias que modernizem os produtos, otimizando as funcionalidades e buscando novos meios de comunicação com medidores. Medidores inteligentes utilizando a rede LoRa possuem como características alto alcance, baixo consumo de energia e taxa de dados reduzidas e destaca-se devido à arquitetura de rede ser flexível, no qual é possível enviar maior quantidade de mensagens durante do dia, seja no sentido medidor servidor ou servidor medidor.

Diante disso, esta dissertação apresenta uma proposta de desenvolvimento de protótipo de um medidor eletrônico para medição de energia elétrica utilizado rede LoRa, para uma empresa do Polo Industrial de Manaus, ganhando, com isso, modernização em seus produtos, maior acuracidade nas medições e modernização em parte do sistema de rede elétrica do Brasil. O projeto contou com três principais etapas, a modelagem e confecção de peças mecânicas do novo produto, os desenvolvimentos do projeto de placas e circuitos eletrônicos e de firmware.

A modelagem mecânica foi realizada utilizando software SolidWorks e seguir normas do INMETRO, como dimensões máximas e disponibilização de áreas para inserção de dados do cliente, fabricante INMETRO. Após modelagem, as peças foram confeccionadas e houve montagens para avaliar o processo de fabricação (montagem em linha). Observou-se que para montagem do produto as peças tiveram resultados satisfatórios, não gerando dificuldades durante encaixe das peças e utilização de dispositivos de testes.

O desenvolvimento eletrônico associa os circuitos do módulo de corrente, Arduino nano, LoRa Esp32 realizou a leitura do consumo de energia com eficiência, a esta etapa do protótipo pode ser mais bem trabalhada em trabalhos futuros com a otimização dos circuitos e confecção de placas industrializadas.

O desenvolvimento de firmware foi realizado utilizando bibliotecas do Arduino associado aos requisitos necessários para leitura do consumo de energia e monitoramento de fatores externos como temperatura e umidade. Optou-se por essas

medições pelo fato de ser dois meios que são utilizados para mensurar a vida útil de medidores de energia elétrica.

A proposta está em fase de desenvolvimento na empresa fabricante de medidores. Todas as partes que compõem a solução proposta foram testadas em laboratório através do desenvolvimento de protótipos. Em análise preliminar, observou-se a eficácia da leitura do consumo de energia, aspectos mecânicos de montagem do produto satisfatório e comunicação por meio de saídas periféricas em dispositivo de testes com bom desempenho.

## 5.2 - SUGESTÕES

Como trabalhos futuros, recomenda-se:

- A otimização dos circuitos eletrônicos para melhor acomodação dentro da base do medidor, o desenvolvimento de novos projetos de medidores com a possibilidade de cortar energia elétrica de forma remota;
- O estudo de implementação de pilares da Indústria 4.0 em medidores de energia elétrica e o desenvolvimento de medidores com rede LoRa para medidores bifásico e trifásico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACETO, G.; PERSICO, V.; PESCAPÉ, A. Industry 4.0 and health: Internet of things, big data, and cloud computing for healthcare 4.0. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 18, p. 100129, 2020.

ALLIANCE, L. **LoRaWAN What is it?** Lora Alliance, 2015.

ANTMANN, P. **Reducing technical and non-technical losses in the power sector.** 2009.

AREDES, M.; HEUMANN, K.; WATANABE, E. H. An universal active power line conditioner. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 13, n. 2, p. 545-551, 1998.

ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. **The internet of things: A survey.** Computer networks, v. 54, n. 15, p. 2787-2805, 2010.

AUGUSTIN, A. *et al.* A study of LoRa: Long range & low power networks for the internet of things. **Sensors**, v. 16, n. 9, p. 1466, 2016.

AVANCINI, D. B. *et al.* Energy meters evolution in smart grids: A review. **Journal of cleaner production**, v. 217, p. 702-715, 2019.

BARAI, G. R.; KRISHNAN, S.; VENKATESH, B. Smart metering and functionalities of smart meters in smart grid-a review. In: 2015 **IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC)**. IEEE, 2015. p. 138-145.

BAUER, W.; AMRHEIN, W. Electrical design considerations for a bearingless axial-force/torque motor. **IEEE Transactions on Industry Applications**, v. 50, n. 4, p. 2512-2522, 2014.

BERGES, M. E. *et al.* Enhancing electricity audits in residential buildings with nonintrusive load monitoring. **Journal of industrial ecology**, v. 14, n. 5, p. 844-858, 2010.

BLANCO-NOVOA, Ó. *et al.* An electricity price-aware open-source smart socket for the internet of energy. **Sensors**, v. 17, n. 3, p. 643, 2017.

BOYS, J. T.; HUANG, C.-Y.; COVIC, G. A. Single-phase unity power-factor inductive power transfer system. In: 2008 **IEEE Power Electronics Specialists Conference**. IEEE, 2008. p. 3701-3706.

CAICERES, R. *et al.* Study of active electric energy meters behavior of induction and electronic types. In: 2006 **IEEE/PES Transmission & Distribution Conference and Exposition: Latin America**. IEEE, 2006. p. 1-6.

CENTENARO, M. *et al.* Long-range communications in unlicensed bands: The rising stars in the IoT and smart city scenarios. **IEEE Wireless Communications**, v. 23, n. 5, p. 60-67, 2016.

CETINA, Q.; ROSCOE, R. A. J.; WRIGHT, P. S. Challenges for smart electricity meters due to dynamic power quality conditions of the grid: A review. In: 2017 **IEEE International Workshop on Applied Measurements for Power Systems (AMPS)**. IEEE, 2017. p. 1-6.

COELBA - **Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia. Aprenda a Ler seu Medidor**. Disponível em: <<http://servicos.coelba.com.br/residencial/aprenda-a-ler-seu-medidor>>. Acesso em: 14 de julho de 2021.

CORWIN, D. L.; RHOADES, J. D. **Establishing soil electrical conductivity-Depth relations from electromagnetic induction measurements**. *Communications in soil science and plant analysis*, v. 21, n. 11-12, p. 861-901, 1990.

DAS, Y. *et al.* Analysis of an electromagnetic induction detector for real-time location of buried objects. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 28, n. 3, p. 278-288, 1990.

DE LIMA, R. B.; DA SILVA, E. L. O. **Electrical Power Monitoring of Low-Power Devices Using a Smart Meter**. In: *Brazilian Technology Symposium*. Springer, Cham, 2017. p. 205-211.

DEPURU, S. S. S. R. *et al.* **Smart meters for power grid — Challenges, issues, advantages and status**. *Power Systems Conference and Exposition (PSCE), IEEE/PES*. 2011.

DUNN, P. F.; DAVIS, M. P. **Measurement and data analysis for engineering and science**. CRC press, 2017.

EMANUEL, A. E. **Power definitions and the physical mechanism of power flow.** John Wiley & Sons, 2011.

FILATOV, A.; HAWKINS, L.; MCMULLEN, P. **Homopolar permanent-magnet-biased actuators and their application in rotational active magnetic bearing systems.** In: Actuators. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2016. p. 26.

FORTES, M. *et al.* **Análise da adoção de medidores inteligentes como instrumento da política pública de eficiência energética.** ENGEVISTA, V. 19, n. 2, p. 316-327, maio 2017.

GONZÁLEZ-CANCELAS, N. *et al.* **Diagnosis of the digitalization of the Spanish ports: End to End tool.** World Scientific News, v. 155, p. 47-64, 2021.

GRAHAM, R. *et al.* **Handbook for Electricity Metering.** 11th Ed. Washington-D.C: Edison Electric Institute, 2014.

HAGEDORN, J.; SELL-LE BLANC, F.; FLEISCHER, J. **Handbook of coil winding.** Springer Berlin Heidelberg, 2018.

HARNEY, A. **Smart Metering Technology Promotes Energy Efficiency for a Greener World.** pp. 1-3, 2009.

IEDI, Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial. **Indústria 4.0: A Quarta Revolução Industrial e os Desafios para a Indústria e para o Desenvolvimento Brasileiro.** IEDI, 2017. Disponível em: <[https://iedi.org.br/artigos/top/estudos\\_industria/20170721\\_iedi\\_industria\\_4\\_0.html](https://iedi.org.br/artigos/top/estudos_industria/20170721_iedi_industria_4_0.html)>. Acesso em: 16 de julho de 2021.

ISLAM, A.; AL-AMIN, M.; HAQUE, I. **Reactive Power Management at High Voltage Long AC Transmission Line.** 2020.

ISSA, A.; LUCKE, D.; BAUERNHANSL, T. **Mobilizing SMEs towards Industrie 4.0-enabled smart products.** Procedia CIRP, v. 63, p. 670-674, 2017.

JIANG, Y.; CUKIC, B.; MENZIES, T. Fault prediction using early lifecycle data. In: The 18th **IEEE International Symposium on Software Reliability (ISSRE'07).** IEEE, 2007. p. 237-246.



KAYASTHA, N. *et al.* Smart grid sensor data collection, communication, and networking: a tutorial. **Wireless communications and mobile computing**, v. 14, n. 11, p. 1055-1087, 2014.

KHUSHIEV, S. *et al.* **Development of intelligent energy systems: the concept of smart grids in Uzbekistan**. In: E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2020. p. 04001.

KIM, G. *et al.* Level meter for the electromagnetic continuous casting of steel billet. **ISIJ international**, v. 43, n. 2, p. 224-229, 2003.

KIM, S. H. Electric motor control: DC, AC, and BLDC motors. **Elsevier**, 2017.

KNIGHT, M.; SEEBER, B. **Decoding LoRa: Realizing a modern LPWAN with SDR**. In: Proceedings of the GNU Radio Conference. 2016.

KRISHNAMURTI, T. *et al.* Preparing for smart grid technologies: A behavioral decision research approach to understanding consumer expectations about smart meters. **Energy Policy**, v. 41, p. 790-797, 2012.

LALOUX, D.; RIVIER, M. Technology and operation of electric power systems. In: Pérez-Arriaga, I.J. (Eds). Regulation of the power sector. **Springer**, 2014.

LAUGHTON, M. A.; SAY, M. G. (Ed.). Electrical engineer's reference book. **Elsevier**, 2013.

LAVRIC, A.; POPA, V. Internet of things and LoRa™ low-power wide-area networks: a survey. In: 2017 **International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS)**. IEEE, 2017. p. 1-5.

LEFERINK, F.; KEYER, C.; MELENTJEV, A. Static energy meter errors caused by conducted electromagnetic interference. **IEEE electromagnetic compatibility magazine**, v. 5, n. 4, p. 49-55, 2016.

LEMERCIER, F. *et al.* **Communication architectures and technologies for advanced smart grid services**. In: Transportation and Power Grid in Smart Cities: Communication Networks and Services. Wiley, 2018. cap. 8, p. 217-246.

LYTRAS, M. D.; RAGHAVAN, V.; DAMIANI, E. Big data and data analytics research: From metaphors to value space for collective wisdom in human decision making and smart machines. **International Journal on Semantic Web and Information Systems (IJSWIS)**, v. 13, n. 1, p. 1-10, 2017.

MAGRANI, E. **A internet das coisas**. Editora FGV, 2018.

MAKONIN, S. *et al.* **Exploiting HMM sparsity to perform online real-time nonintrusive load monitoring**. *IEEE Transactions on smart grid*, v. 7, n. 6, p. 2575-2585, 2015.

MASNICKI, R. Some remarks on the accuracy of energy meters. In: 2018 **IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe)**. IEEE, 2018. p. 1-5.

MOHASSEL, R. R. *et al.* A survey on advanced metering infrastructure. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, v. 63, p. 473-484, 2014.

MROUE, H. *et al.* Analytical and simulation study for LoRa modulation. In: 2018 25th **International Conference on Telecommunications (ICT)**. IEEE, 2018. p. 655-659.

MUNIRATHINAM, S. Industry 4.0: Industrial internet of things (IIOT). In: *Advances in computers*. Elsevier, 2020. p. 129-164.

NICOLAU, C. T. **Medição de Energia Elétrica: impactos da mudança tecnológica no setor jurídico de uma concessionária distribuidora de energia elétrica**. 2013. Departamento de Metrologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

NIELSON, J. W. **Circuitos Elétricos**. 6<sup>a</sup>.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

NOGUEIRA JÚNIOR, J. A. **Avaliação de utilização de uma rede LoRa para transmissão de dados aplicada a um sistema de minetracking**. 2019.

OLIVEIRA, P. B. A. **Medidor de kWh**. Punaro Bley. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/punarobley/medidor-de-kwh-atd>>. Acesso em: 14 de julho de 2021.

PORTARIA INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, nº587, de 05 de novembro de 2012.

SAS. **Big Data, o que é e por que é tão importante?** 2016. Disponível em: <[http://www.sas.com/pt\\_br/insights/big-data/what-is-big-data.html](http://www.sas.com/pt_br/insights/big-data/what-is-big-data.html)>. Acesso em: 16 de julho de 2021.

SIGGA. **Os 9 Pilares da Indústria 4.0 – Você conhece todos eles?** Disponível em: <<https://sigga.com.br/blog/os-pilares-da-industria-4-0/>> Acesso em: 15 de junho de 2021.

SIMOES, M. G.; FARRET, F. A. **Renewable energy systems: design and analysis with induction generators.** CRC press, 2004.

SINGH, D.; ALIU, O. G.; KRETSCHMER, M. LoRa wan evaluation for IoT communications. In: 2018 **International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)**. IEEE, 2018. p. 163-171.

SINGH, R. *et al.* Dynamic characteristics of a direct-heated supercritical carbon-dioxide Brayton cycle in a solar thermal power plant. **Energy**, v. 50, p. 194-204, 2013.

SINHA, R. S.; WEI, Y.; HWANG, S. H. **A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT.** Ict Express, v. 3, n. 1, p. 14-21, 2017.

SOMMERFELD JUNIOR, E. L.; PETRY, J. R. **Bancada didática para estudo de fator de potência.** 2012. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

SUHETT, M. R. *et al.* **Medição de Potência Reativa em Sistemas com Formas de Onda Não-Senoidais.** Blumenau-SC/FURB, 2009.

SUMNER, J. S. Principles of induced polarization for geophysical exploration. **Elsevier**, 2012.

SUN, Q. *et al.* A comprehensive review of smart energy meters in intelligent energy networks. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 3, n. 4, p. 464-479, 2015.

THOMPSON, R. B. A model for the electromagnetic generation of ultrasonic guided waves in ferromagnetic metal polycrystals. **IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics**, v. 25, n. 1, p. 7-15, 1978.

TOLEDO, F. **Desvendando as redes elétricas inteligentes**. Coordenador Geral Fabio Toledo. Rio de Janeiro. Brasport. 2012.

TRAB, S. *et al.* RFID IoT-enabled warehouse for safety management using product class-based storage and potential fields methods. **International Journal of Embedded Systems**, v. 10, n. 1, p. 71-88, 2018.

TRIGO, A.; BELFO, F.; ESTÉBANEZ, R. P. Accounting information systems: The challenge of the real-time reporting. **Procedia Technology**, v. 16, p. 118-127, 2014.

UREKAR, M. *et al.* **Accuracy improvement of the stochastic digital electrical energy meter**. *Measurement*, v. 98, p. 139-150, 2017.

VASCONCELOS, J. **Survey of regulatory and technological developments concerning smart metering in the European Union electricity market**. 2008.

VERMESAN, O.; FRIESS, P. (Ed.). *Internet of things: converging technologies for smart environments and integrated ecosystems*. River publishers, 2013.

VICIANA, E. *et al.* Open Zmeter: An efficient low-cost energy smart meter and power quality analyzer. **Sustainability**, v. 10, n. 11, p. 4038, 2018.

WARRINGTON, A. V. C. *Protective relays: their theory and practice Volume one*. **Springer Science & Business Media**, 2012.

WATANABE, E. H.; AKAGI, H.; AREDES, M. Instantaneous pq power theory for compensating nonsinusoidal systems. In: 2008 **International School on Nonsinusoidal Currents and Compensation**. **IEEE**, 2008. p. 1-10.

WEBSTER, J. G. (Ed.). **Electrical measurement, signal processing, and displays**. CRC Press, 2003.

YICK, J.; MUKHERJEE, B.; GHOSAL, D. **Wireless sensor network survey**. *Computer networks*, v. 52, n. 12, p. 2292-2330, 2008.

ZHOU, L.; XU, F. Y.; MA, Y. N. Impact of smart metering on energy efficiency. In: 2010 **International Conference on Machine Learning and Cybernetics**. **IEEE**, 2010. p. 3213-3218.

## ANEXO I

### CÓDIGO FONTE INTERFACE GRÁFICA

```
//=====Declaração das Bibliotecas=====//

#include <Arduino.h>
#include <U8glib.h> //biblioteca do LCD Gráfico 128x64

//=====Declaração das Variáveis Globais=====//

char *corrente_str = "00.0";
char *potencia_str = "00.0";
char *tensao_str = "00.0";
char *energia_str = "00.0";

float tensaoDC = 12.000; //defina aqui a tensão DC que você está usando para alimentar
// seu circuito
float corrente; //A variável que vai armazenar a corrente medida pelo sensor
float potencia; //A variável que vai armazenar potência a partir da fórmula  $P = V \times I$ 
float energia=0; //A variável que vai armazenar a energia gasta a partir da fórmula  $E = P$ 
// x t

//Defina a variável 'sensibilidade' a partir da corrente medida pelo seu sensor:
//- Para 30A, sensibilidade = 0.066;
//- Para 20A, sensibilidade = 0.100;
//- Para 5A, sensibilidade = 0.185;
float sensibilidade = 0.100;

//=====Declaração dos Objetos=====//

U8GLIB_ST7920_128X64_1X u8g( 8, 7, 6, 9); //(E, R/W, RS, RST)

//=====Configurações Iniciais do Display=====//

void setup()
{
  u8g.setFont(u8g_font_courB10); //seleciona fonte para display
  u8g.setColorIndex(0); //desenhar com pixels on
  u8g.setFontRefHeightExtendedText(); //seleciona a fonte de texto
  u8g.setDefaultForegroundColor(); //define a cor gráfica
  u8g.setFontPosTop();
} //end setup

//=====Comandos Lógicos=====//
```

```

void loop() {
  corrente = calculaCorrente(filtroDaMedia()); //Calcula a corrente
  potencia = abs(corrente * tensaoDC); //Calcula a potência a partir da fórmula  $P = V \times I$ 
  .
  //A potência é apresentada em valor absoluto pela função "abs"
  energia+=(potencia*1.2/1000); //calcula a energia gasta até o momento a partir da fórmula  $E = P \times t$ 
  //t = 1,2s ,pois esse é o tempo aproximado de ciclo da função loop de
  sse programa
  //=====Loop para o Display=====//
  u8g.firstPage();
  do {
    draw();
  } while( u8g.nextPage() );
} //end loop

//=====Função para Calcular a Corrente=====//

// A função "calculaCorrente" vai converter o sinal amostrado pelo arduino em A0 num
valor de corrente.
float calculaCorrente(int sinalSensor) {
  return (float)(sinalSensor-508)*(5.000)/(1023.000*sensibilidade);
}

//=====Função para Filtrar a Média=====//

// A função "filtroDaMedia", como o nome já diz, é um Filtro da Média.
//Esse é um filtro digital que serve para retirar o ruído do sinal do sensor.
// Nessa função, mostramos o sinal do sensor mil vezes, somamos essas amostras e divi
dimos por 1000.
//Obtemos assim a média aritmética de 1000 amostras.
int filtroDaMedia(){
  long somaDasCorrentes=0, mediaDasCorrentes;
  for(int i=0; i<1000; i++){
    somaDasCorrentes+=analogRead(A0);
    delay(1);
  }
  mediaDasCorrentes=somaDasCorrentes/1000;
  return mediaDasCorrentes;
}

//=====Desenvolvimento das Funções=====//
void draw()
{

  u8g.drawFrame(4,0,120,31); //desenha retângulo superior
  u8g.drawFrame(4,33,120,31); //desenha retângulo inferior
}

```

```

// converte float para strings char u8g
u8g.setFont(u8g_font_5x8);
u8g.drawStr(8, 13, "CORRENTE");           //mostra CORRENTE
dtostrf(corrente, 3, 1, corrente_str);
u8g.drawStr(18,25, corrente_str);
u8g.drawStr(33,25, " A");

u8g.drawStr(85, 13, "TENSAO");           //mostra TENSÃO
dtostrf(tensaoDC, 3, 1, tensao_str);
u8g.drawStr(88,25, tensao_str);
u8g.drawStr(106,25, " V");

u8g.drawStr(8, 43, "POTENCIA");         //mostra POTÊNCIA
dtostrf(potencia, 3, 1, potencia_str);
u8g.drawStr(15,55, potencia_str);
u8g.drawStr(30,55, " W");

u8g.drawStr(85, 43, "ENERGIA");         //mostra ENERGIA
dtostrf(energia, 3, 1, energia_str);
u8g.drawStr(87,55, energia_str);
u8g.drawStr(100,55, " kJ");

} //end draw

```



## ANEXO II

### CÓDIGO FONTE DO MEDIDOR LORA

#### Código fonte do Medidor LoRa

```
#include <Arduino.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <U8glib.h>
#include <DHT.h>
#include "EmonLib.h"

#define CURRENT_CAL 18.40 //VALOR DE CALIBRAÇÃO (DEVE SER AJUSTADO EM
PARALELO COM UM MULTÍMETRO MEDINDO A CORRENTE DA CARGA)
#define BAUD          9600 //500000    // Velocidade serial do Debug

// #define DHTTYPE DHT11    // DHT 11
#define DHTTYPE DHT22    // DHT 22 (AM2302), AM2321
// #define DHTTYPE DHT21    // DHT 21 (AM2301)

#define DHTPIN 4

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
SoftwareSerial mySerial(2, 3); // RX, TX

//-----
//-----
//Utilize a linha abaixo para utilizar a comunicacao serial
//(Enable, RW, RS, RESET)
U8GLIB_ST7920_128X64_1X u8g(7, 8, 9, 10);
EnergyMonitor emon1; //CRIAR UMA INSTÂNCIA

const int pinoSensor = A0; //PINO ANALÓGICO EM QUE O SENSOR ESTÁ
CONECTADO
float ruído = 0.08; //RUÍDO PRODUZIDO NA SAÍDA DO SENSOR (DEVE SER
AJUSTADO COM A CARGA DESLIGADA APÓS CARREGAMENTO DO CÓDIGO NO ARDUINO)

String inputString = ""; // Buffer Serial de Entrada
volatile boolean comandoSerial = false; // Global do flag de palavra
serial recebida
bool debug = true;
int tmpX;
int tmpY;
int display = 1;

float temperatura = 21.54;
float umidade = 67.85;
float f = 2;
float consumo = 120.54;

char t[10];
char h[10];
char c[10];

char buf[20];
```

```

void lerSensorDHT() {

    // Ler sensor de humidade a cada 250 milliseconds!
    umidade = dht.readHumidity();
    // Ler sensor de temperatura Celsius
    temperatura = dht.readTemperature();
    // Ler temperatura como Fahrenheit (isFahrenheit = true)
    f = dht.readTemperature(true);

    // Checa se efetuou a leitura do sensor.
    if (isnan(umidade) || isnan(temperatura) || isnan(f)) {
        Serial.println(F("Falhou leitura do Sensor!"));

    }

    // Compute heat index in Fahrenheit (the default)
    float hif = dht.computeHeatIndex(f, umidade);
    // Compute heat index in Celsius (isFahreheit = false)
    float hic = dht.computeHeatIndex(temperatura, umidade, false);
    /*
    Serial.print(F("Umidade: "));
    Serial.print(h);
    Serial.print(F("% Temperature: "));
    Serial.print(t);
    Serial.print(F("°C "));
    Serial.print(f);
    Serial.print(F("°F Heat index: "));
    Serial.print(hic);
    Serial.print(F("°C "));
    Serial.print(hif);
    Serial.println(F("°F"));
    */
}

void processarComandoSerial() {
    // Processa os comandos recebidos pela Serial do Computador
    if (comandoSerial) {
        comandoSerial = false; // reinicia o flag já que vamos tratar o
comando atual
        String str = inputString;
        inputString = "";

        String conX = str.substring(4, 8);
        String conY = str.substring(13, 18);
        tmpX = conX.toInt();
        tmpY = conY.toInt();

        Serial.print("X1= ");
        Serial.print(tmpX);
        Serial.print("; Y1= ");
        Serial.println(tmpY);

    }
}

//-----

void u8g_prepare ()
{
    u8g.setFont(u8g_font_6x10);
}

```

```

// u8g.setFontRefHeightExtendedText();
// u8g.setDefaultForegroundColor();
u8g.setFontPosTop();
}

void u8g_Tela1() //Tela 1 - Arduino e Cia - Retangulos
{
  u8g.setFont(u8g_font_unifont);
  u8g.drawStr( 11, 35, "Arduino e Cia");
  u8g.drawStr( 12, 35, "Arduino e Cia");
  u8g.drawFrame(0,0,128,64);
  // u8g.drawFrame(2,2,124,60);
}

void u8g_Tela2() //Tela 2 - Linhas horizontais e verticais
{
  for (int i = 0; i<127 ; i=i+2)
  {
    u8g.drawLine(i,0,i,64);
  }
  for (int c = 0; c<64 ; c=c+2)
  {
    u8g.drawLine(0,c,128,c);
  }
}

void u8g_Tela3() //Tela 3 - Arduino e Cia - Retangulo preenchido
{

u8g.setFont(u8g_font_4x6);
  u8g.drawStr( 7, 12, "Temperatura(c)");

u8g.setFont(u8g_font_4x6);
  u8g.drawStr( 68, 12, "Umidade (%)");

  u8g.setFont(u8g_font_4x6);
  u8g.drawStr( 10, 40, "Consumo");

  u8g.setFont(u8g_font_4x6);
  u8g.drawStr( 80, 40, "UEA/Empresa");

  u8g.setFont(u8g_font_unifont);

// Consumo
  dtostrf(consumo,8,2,c);
  sprintf(buf,"%s kWh",c);

  u8g.drawStr( 11, 55, buf); //" 110.34 KW/H");
  u8g.drawStr( 12, 55,buf); //" 110.34 KW/H");
  u8g.drawFrame(2,2,124,60);

//Temperatura
u8g.setFont(u8g_font_6x10);
  dtostrf(temperatura,8,2,t);
  sprintf(buf,"%s",t);

  u8g.drawStr( 5, 26, buf);

//Humidade
u8g.setFont(u8g_font_6x10);
  dtostrf(umidade,8,2,h);
  sprintf(buf,"%s",h);
}

```

```

    u8g.drawStr( 70, 26,buf);

u8g.drawFrame(4,32,120,28);

// u8g.drawFrame(4,4,120,27);
u8g.drawFrame(4,4,60,27);

    u8g.drawFrame(65,4,59,27);
}

void draw() //Rotina Desenho
{
    u8g_prepare();
    u8g_Tela3();
}

//-----

void setup(){
    Serial.begin(BAUD);      // Para DEBUG !!!
    mySerial.begin(BAUD);

    dht.begin();

    while (!Serial) { ; } // wait for serial port to connect. Needed
for native USB port only
    emon1.current(pinoSensor, CURRENT_CAL); //PASSA PARA A FUNÇÃO OS
PARÂMETROS (PINO ANALÓGICO / VALOR DE CALIBRAÇÃO)

    //Serial.println(F("Inicializado Serial para Debug")); // Para
DEBUG !!!
    inputString.reserve(200);
    comandoSerial = false;

// assign default color value
    if ( u8g.getMode() == U8G_MODE_R3G3B2 )
        u8g.setColorIndex(255); // white
    else if ( u8g.getMode() == U8G_MODE_GRAY2BIT )
        u8g.setColorIndex(1); // max intensity
    else if ( u8g.getMode() == U8G_MODE_BW )
        u8g.setColorIndex(1); // pixel on
}

void loop(){
    processarComandoSerial();

    emon1.calcVI(17,100); //FUNÇÃO DE CÁLCULO (17 SEMICICLOS / TEMPO
LIMITE PARA FAZER A MEDIÇÃO)
    double currentDraw = emon1.Irms; //VARIÁVEL RECEBE O VALOR DE
CORRENTE RMS OBTIDO
    currentDraw = currentDraw-ruído; //VARIÁVEL RECEBE O VALOR
RESULTANTE DA CORRENTE RMS MENOS O RUÍDO

    if(currentDraw < 0){ //SE O VALOR DA VARIÁVEL FOR MENOR QUE 0, FAZ
        currentDraw = 0; //VARIÁVEL RECEBE 0
    }

    consumo = currentDraw;
}

```

```

// sprintf(buf,"%04.2f %03.2f
%03.2f", (double)consumo, (double)temperatura, (double)humidade);
// Leitura do sensor de temperatura e Umidade
lerSensorDHT();
dtostrf(consumo,8,2,c);
dtostrf(temperatura,8,2,t);
dtostrf(humidade,8,2,h);

Serial.println(String(c) + "," + String(t) + "," + String(h));
mySerial.println("C:" + String(c) + " T:" + String(t) + " U:" +
String(h));

// Serial.println(buf);

u8g.firstPage();
do
{
draw();
}
while( u8g.nextPage() );

while (mySerial.available()) {
char inChar = (char)mySerial.read(); // get the new byte:
inputString += inChar; // add it to the inputString:
if (inChar == '\n') { // if the incoming character is a newline,
set a flag so the main loop can
comandoSerial = true; // do something about it:
}
}
}
}

```

## ANEXO III

### CÓDIGO FONTE DO MATLAB

#### Código fonte Matlab

```
%% %run('clean');

delete(instrfindall); %limpa todos os instrumentos anteriormente
abertos na serial
clear all;
close all;
clc;

arduino=serial('COM5');
set(arduino,'BaudRate',9600);
fopen(arduino);

line1 = line (nan,nan,'color','red');
line2 = line (nan,nan,'color','blue');
line3 = line (nan,nan,'color','green');

i =1;
while(1)

    data = char(fscanf(arduino));
    commas = strfind(data,',');
    array1 = (data(1:commas(1)-1));
    array2 = (data(commas(1):commas(2)-1));
    array3 = (data(commas(2):end));
    % array3 = str2num(data(commas(2):commas(3)-1));
    % array4(i) = str2num(data(commas(3):end));

    dataC = str2double(array1);
    dataT = str2double(array2);
    dataU = str2double(array3);

    x1 = get(line1,'xData');
    y1 = get(line1,'yData');

    x2 = get(line2,'xData');
    y2 = get(line2,'yData');

    x3 = get(line3,'xData');
    y3 = get(line3,'yData');

    x1 = [x1 i];
    y1 = [y1 dataC];
    x2 = [x2 i];
    y2 = [y2 dataT];
    x3 = [x3 i];
    y3 = [y3 dataU];

    set(line1,'xData',x1,'yData',y1);
    % set(line2,'xData',x2,'yData',y2);
    %set(line3,'xData',x3,'yData',y3);

    %plot(x);
```

```
grid ON
drawnow
%plot(dataC);
% plot(dataT);
% plot(dataU);

% figure(1)
% plot(dataC);
% plot(dataT);
title('Medidor Lora'); xlabel('Tempo'); ylabel('');
%legend('KWH','Temperatura','Umidade');
legend('KWH');

pause(0.01);
i = i+1;

end
fclose(arduino)
```