

**JOSÉ WASHINGTON COELHO NOGUEIRA  
LUCAS HENRIQUE ALVES DE DEUS**

**Medidor de consumo de potência residencial à distância e em tempo real**



**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
Autarquia Municipal de Regime Especial  
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76  
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP  
CNPJ 45.176.153/0001-22

**Departamento de Engenharia Elétrica**  
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi  
Taubaté-Sp 12060-440  
Tel.: (12) 3625-4190  
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

**JOSÉ WASHINGTON COELHO NOGUEIRA**  
**LUCAS HENRIQUE ALVES DE DEUS**

**Título:** Medidor de consumo de potência residencial à distância e em tempo real

Trabalho de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Taubaté, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador (a): Prof. Rubens Castilho

**Grupo Especial de Tratamento da Informação - GETI  
Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBi  
Universidade de Taubaté - UNITAU**

D486m Deus, Lucas Henrique Alves de  
Medidor de consumo de potência residencial à distância e em tempo real  
/ Lucas Henrique Alves de Deus, José Washington Coelho Nogueira. -- 2020.  
95 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de  
Engenharia Mecânica e Elétrica, 2020.

Orientação: Prof. Rubens Castilho, Departamento de Engenharia  
Elétrica.

1. Telemetria. 2. Eficiência energética. 3. Medidor de energia.  
4. Arduino. I. Nogueira, José Washington Coelho. II. Universidade de  
Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica. Graduação em  
Engenharia Elétrica e Eletrônica. III. Título.

CDD – 621.31



**Universidade de Taubaté**  
Autarquia Municipal de Regime Especial  
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76  
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP  
CNPJ 45.176.153/0001-22

**Departamento de Engenharia Elétrica**  
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi  
Taubaté-Sp 12060-440  
Tel.: (12) 3625-4190  
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

## **MEDIDOR DE CONSUMO DE POTÊNCIA RESIDENCIAL À DISTÂNCIA E EM TEMPO REAL**

**JOSÉ WASHINGTON COELHO NOGUEIRA  
LUCAS HENRIQUE ALVES DE DEUS**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE “GRADUADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA”

### **BANCA EXAMINADORA:**

Prof. Esp. RUBENS CASTILHO  
Orientador/UNITAU-DEE

Eng. JOÃO ROBERTO DE MORAES  
UNITAU-DEE

Prof. Dr. MAURO PEDRO PERES  
UNITAU-DEE

Dezembro de 2020



**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
Autarquia Municipal de Regime Especial  
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76  
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP  
CNPJ 45.176.153/0001-22

**Departamento de Engenharia Elétrica**  
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi  
Taubaté-Sp 12060-440  
Tel.: (12) 3625-4190  
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

de modo especial, à Deus e aos nossos pais Aurora, Leonel e Andréia que mesmo com as dificuldades em toda nossa trajetória acadêmica, foram grandes incentivadores para que pudéssemos continuar no curso.



**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
Autarquia Municipal de Regime Especial  
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76  
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP  
CNPJ 45.176.153/0001-22

**Departamento de Engenharia Elétrica**  
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi  
Taubaté-Sp 12060-440  
Tel.: (12) 3625-4190  
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradeço a Deus, criador do universo. Agradeço pelas nossas vidas, nossa inteligência, nossa família e nossos amigos.

Ao nosso orientador, Prof. Rubens Castilho que jamais deixou de nos incentivar. Sem a sua atenção, orientação e auxílio, o estudo aqui apresentado seria impossível.

Aos nossos pais, que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram nossos estudos.

Em especial ao nosso amigo Engenheiro João Roberto, que nos acolheu com muito carinho, educação e experiência do início ao fim de nossas visitas ao laboratório da universidade.

Aos nossos amigos Eduardo Brito e João Pedro pelas técnicas ensinadas em relação à programação e hospedagem do servidor.

Ao Prof. Dr. Mauro Pedro e às funcionárias da Biblioteca do pela dedicação, presteza e principalmente pela vontade de ajudar.

À UNITAU e à todos os seus funcionários e professores, em especial, nosso amigo Gilberto, que deixou à disposição os componentes para teste no laboratório.



**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
Autarquia Municipal de Regime Especial  
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76  
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP  
CNPJ 45.176.153/0001-22

**Departamento de Engenharia Elétrica**  
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi  
Taubaté-Sp 12060-440  
Tel.: (12) 3625-4190  
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

“O segredo da criatividade está em dormir bem e abrir a mente às possibilidades infinitas. O que é um homem sem sonhos?”

Albert Einstein



**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
Autarquia Municipal de Regime Especial  
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76  
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP  
CNPJ 45.176.153/0001-22

**Departamento de Engenharia Elétrica**  
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi  
Taubaté-Sp 12060-440  
Tel.: (12) 3625-4190  
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

DE DEUS, L. H. A. e NOGUEIRA, J. W. C. **Medidor do consumo de potência residencial à distância e em tempo real.** 2020. 95 f. Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Taubaté, Taubaté, 2020.

## **RESUMO**

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento e implementação de um sistema de medição de tensão, corrente e potência através da plataforma Arduino e seus módulos, em tempo real e com a possibilidade de utilizar uma rede local ou um banco de dados armazenado em um servidor. Os módulos utilizados são sensores com funcionamento análogo ao TP e TC, gerando valores menores e proporcionais que serão lidos pelo Arduino e representados em um navegador de internet. Com isso é possível conscientizar os consumidores sobre os seus gastos diários, desperdícios, má utilização da energia, equipamentos ineficientes por meio de dados apresentados de maneira simples e direta, além de auxiliar no monitoramento de algum processo ou do consumo quando o consumidor se encontra afastado do local.

**PALAVRAS-CHAVE:** Telemetria. Eficiência Energética. Conscientização. Medidor de Energia. Arduino.



**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
Autarquia Municipal de Regime Especial  
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76  
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP  
CNPJ 45.176.153/0001-22

**Departamento de Engenharia Elétrica**  
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi  
Taubaté-Sp 12060-440  
Tel.: (12) 3625-4190  
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

DE DEUS, L. H. A. e NOGUEIRA, J. W. C. **Remote power consumption meter and real time.** 2020. 95 f. Graduate Work in Electrical Engineering - Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Taubaté, Taubaté, 2020.

### **ABSTRACT**

This work aims to develop and implement a voltage, current and power measurement system using the Arduino platform and its modules, in real times and with the possibility of using a local network or a database stores on a server. The modules used are sensors with operation analogous to TP and TC, generating smaller and proportional values that will be ready by the Arduino and represented in an internet browser. This makes it possible to make consumers aware of their daily expenses, waste, misuse of energy, inefficient equipment through data presented in a simple and direct way, in addition to assisting in the monitoring of some process or consumption when the consumer is away the location.

**KEYWORDS:** Telemetry. Energy Efficiency. Awareness. Energy Meter. Arduino.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Consumo das fontes de energia no Brasil .....	23
Figura 2 – Bandeiras tarifárias .....	26
Figura 3 – Valor final da energia elétrica .....	28
Figura 4 – Medidores .....	31
Figura 5 – Medidor químico de energia elétrica desenvolvido por Thomas Edison .....	32
Figura 6 – Medidor de watt-hora de Duncan .....	32
Figura 7 – Medidor eletromecânico .....	34
Figura 8 – Medidor eletrônico .....	34
Figura 9 – Arquitetura da comunicação smartgrid .....	36
Figura 10 – Funcionalidades do snapgrid .....	37
Figura 11 – Dispositivo Kill a Watt.....	38
Figura 12 – Medidor OEM.....	39
Figura 13 – Presença dos harmônicos em um sistema elétrico .....	43
Figura 14 – Placa Arduino Uno.....	45
Figura 15 – Interface utilizada para a criação do sketch .....	46
Figura 16 – Ethernet shield acoplado ao Arduino Uno.....	47
Figura 17 – Módulo GSM shield para Arduino + antena.....	48
Figura 18 – Módulo bluetooth HC-05 .....	49
Figura 19 – Ligação de um transformador de potencial .....	50
Figura 20 – Sensor de tensão ZMPT101B .....	53
Figura 21 – Ligação de transformador de corrente.....	54
Figura 22 – Sensor de corrente SCT-013-000 .....	55
Figura 23 – Bobina do sensor de corrente.....	55
Figura 24 – Forma de onda da tensão no resistor de carga .....	58
Figura 25 – Forma de onda com offset .....	59
Figura 26 – Primeira parte da programação .....	60
Figura 27 – Segunda parte da programação .....	61
Figura 28 – Terceira parte da programação .....	62
Figura 29 – Quarta parte da programação.....	63



Figura 30 – Quinta parte da programação .....	64
Figura 31 – Estrutura básica do HTML .....	66
Figura 32 – Exemplo de página simples com HTML e Javascript.....	69
Figura 33 – Primeira parte programação HTML .....	70
Figura 34 – Segunda parte programação HTML.....	70
Figura 35 – MySQL Workbench .....	73
Figura 36 – MySQL Command .....	74
Figura 37 – Interface para configuração do phpMyadmin.....	75
Figura 38 – Seleção do banco de dados .....	75
Figura 39 – Seleção do phpMyadmin .....	76
Figura 40 – Caminho percorrido pelos dados.....	78
Figura 41 – Circuito estudado .....	79
Figura 42 – Introdução da biblioteca MySQL.....	80
Figura 43 – Luminária utilizada .....	81
Figura 44 – Osciloscópio analisando a forma de onda da placa com circuito .....	82
Figura 45 – Ligações realizadas .....	82
Figura 46 – Forma de onda no resistor de carga .....	84
Figura 47 – Sistema de medição com conexões finalizadas .....	84
Figura 48 – Cargas conectadas .....	85
Figura 49 – Sistema operando .....	85
Figura 50 – Tarifa encontrada .....	88
Figura 51 – Medições realizadas .....	88
Figura 52 – Site desenvolvido .....	89



**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
Autarquia Municipal de Regime Especial  
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76  
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP  
CNPJ 45.176.153/0001-22

**Departamento de Engenharia Elétrica**  
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi  
Taubaté-Sp 12060-440  
Tel.: (12) 3625-4190  
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Principais hidrelétricas do país .....	21
Tabela 2 – Utilização da energia no Brasil.....	24
Tabela 3 – Tarifas pelo Brasil .....	24
Tabela 4 – Medição de potência no consumidor “X” e “Y” .....	41
Tabela 5 – Conservação de energia por meio do LFC’S no Brasil.....	41
Tabela 6 – Modelo de sensores de correntes .....	56
Tabela 7 – Valores obtidos em laboratório .....	83
Tabela 8 – Medições obtidas .....	86
Tabela 9 – Teorização da tarifa .....	87



**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
Autarquia Municipal de Regime Especial  
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76  
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP  
CNPJ 45.176.153/0001-22

**UNITAU**

**Departamento de Engenharia Elétrica**  
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi  
Taubaté-Sp 12060-440  
Tel.: (12) 3625-4190  
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Especificações do Snapgrid .....	38
Quadro 2 – Comparação entre os módulos .....	49
Quadro 3 – Quadro comparativo entre Arduino Uno e Arduino Mega .....	90



**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
Autarquia Municipal de Regime Especial  
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76  
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP  
CNPJ 45.176.153/0001-22

**Departamento de Engenharia Elétrica**  
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi  
Taubaté-Sp 12060-440  
Tel.: (12) 3625-4190  
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
EPE	Empresa de Pesquisas Energéticas
HAN	Home Area Network
HTML	Hypertext Markup Language
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
LAN	Local Area Network
NAN	Neighborhood Area Network
OIEE	Oferta Interna de Energia Elétrica
PIS	Programa de Integração Social
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
TC	Transformador de Corrente
TP	Transformador de Potencial
WAN	Wide Area Network



**UNITAU**

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
Autarquia Municipal de Regime Especial  
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76  
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP  
CNPJ 45.176.153/0001-22

**Departamento de Engenharia Elétrica**  
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi  
Taubaté-Sp 12060-440  
Tel.: (12) 3625-4190  
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

## LISTA DE SÍMBOLOS

A	ampere
hz	Hertz
Im	corrente medida
Is	corrente no sensor
I1	corrente no primário
I2	corrente no secundário
kW	kilowatt
MW	mega watt
N1	número de voltas no primário
N2	número de voltas no secundário
P	potência
Rc	resistor de carga
R\$	símbolo do real
V	tensão
Vs	tensão no sensor
W	watt
%	porcentagem



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>2</b>	<b>TEMA</b> .....	18
2.1	DELIMITAÇÃO DO TEMA .....	18
2.2	PROBLEMA .....	18
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	20
3.1	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	20
<b>4</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	21
4.1	SITUAÇÃO ENERGÉTICA BRASILEIRA.....	21
4.2	MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA.....	22
4.3	TARIFAÇÃO .....	24
4.4	COMPOSIÇÃO DA TARIFA .....	25
<b>4.4.1</b>	<b>Energia gerada</b> .....	25
<b>4.4.2</b>	<b>Transporte de energia</b> .....	26
<b>4.4.3</b>	<b>Encargos setoriais</b> .....	27
4.5	MODALIDADES TARIFÁRIAS .....	28
4.6	TARIFA BRANCA .....	29
<b>5</b>	<b>MEDIDORES DE ENERGIA</b> .....	31
5.1	CONTEXTO HISTÓRICO.....	31
5.2	MEDIDORES ATUALMENTE .....	33
5.3	FRAUDES E FURTOS NA MEDIÇÃO DE ENERGIA .....	35
5.4	MONITORAMENTO DE ENERGIA RESIDENCIAL (HOME ENERGY MONITOR) .....	36
<b>5.4.1</b>	<b>Snapgrid</b> .....	37
<b>5.4.2</b>	<b>Kill a Watt</b> .....	38
<b>5.4.3</b>	<b>Medidor OEM</b> .....	39



5.5	CONSERVAÇÃO DE ENERGIA E SEUS IMPACTOS SOBRE A QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA.....	39
5.5.1	<b>Localização dos harmônicos no sistema.....</b>	42
6	<b>DESENVOLVIMENTO .....</b>	44
6.1	PROPOSTA .....	44
6.2	ARDUINO .....	44
6.3	ETHERNET SHIELD W5100 .....	46
6.4	MOTIVOS QUE LEVARAM A ESCOLHA DO ETHERNET SHIELD .....	47
6.4.1	<b>Módulo GMS GPRS SIM800L .....</b>	47
6.4.2	<b>Módulo Bluetooth HC-05 .....</b>	48
6.5	TRANSFORMADOR DE POTENCIAL (TP) .....	50
6.6	SENSOR DE TENSÃO ZPT101B.....	51
6.7	TRANSFORMADOR DE CORRENTE .....	53
6.8	SENSOR DE CORRENTE SCT 013-000 .....	54
6.9	PROGRAMAÇÃO ARDUINO .....	60
6.10	HTML .....	66
6.11	JAVASCRIPT .....	68
6.12	CÓDIGO UTILIZADO NO PROJETO .....	70
6.13	MYSQL.....	72
6.14	PHPMYDMIN.....	74
6.15	CRIAÇÃO DO BANCO DE DADOS .....	75
7	<b>PROCEDIMENTO REALIZADO.....</b>	77
8	<b>ALTERAÇÕES REALIZADAS .....</b>	80
9	<b>RESULTADOS .....</b>	81
9.1	RESULTADOS EM LABORATÓRIO – PROCESSO DE ELABORAÇÃO DO PROTÓTIPO .....	81
9.2	RESULTADOS DOS TESTES COM PROTÓTIPO FINALIZADO.....	84



**UNITAU**

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
Autarquia Municipal de Regime Especial  
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76  
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP  
CNPJ 45.176.153/0001-22

**Departamento de Engenharia Elétrica**  
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi  
Taubaté-Sp 12060-440  
Tel.: (12) 3625-4190  
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

<b>10</b>	<b>FUTURAS MELHORIAS</b> .....	90
10.1	SUBSTITUIÇÃO DO ARDUINO UNO PELO ARDUINO MEGA 2560 R3 ...	90
10.2	CONTRATAÇÃO DE UM PLANO COM MAIOR ESPAÇO EM UM SERVIDOR.....	90
10.3	IMPLEMENTAÇÃO DE MAIS TIPOS DE SENSORES E MÓDULOS .....	91
10.4	FACILITAR A INSERÇÃO DA TARIFA.....	91
<b>11</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	92
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	94

## 1 INTRODUÇÃO

Energia, do grego “*ergos*” (trabalho), é a capacidade de uma estrutura ou sistema físico de realizar trabalho, podendo ser mecânica, térmica, elétrica, química, radiante, entre outros. Dentre as citadas, a que mais se destaca atualmente é a energia elétrica devido à sua facilidade de transporte e grande alcance por meio das linhas de transmissão e das diversas formas da sua obtenção (hidráulica, eólica, solar, biomassa, entre outras).

A energia elétrica tem seu primeiro relato na Grécia, com o filósofo Tales de Mileto, que esfregando âmbar (resina fóssil) em um pedaço de pele de carneiro, acabou eletrizando-a e conseguiu atrair pequenos fiapos de lã e pequenos grãos. Âmbar em grego é “*eléctron*” e dela se derivou o termo eletricidade.

A geração de energia elétrica e o progresso da humanidade estão intrinsicamente ligados, em outras palavras, quanto mais a humanidade produz mais energia elétrica é requisitada. Para poder usufruir energia elétrica primeiro é necessário utilizar a conversão a partir de uma outra energia, fato observado por Antoine-Laurent de Lavoisier na frase “nada se cria, tudo se transforma”.

Sua geração não é simples, tem impactos financeiros e ambientais. Utilizando como exemplo a polêmica envolvendo a usina de Belo Monte, região conhecida como Volta Grande do Rio Xingu, no Pará, que sofreu pressão de ambientalistas, membros da Igreja Católica, representantes de povos indígenas e ribeirinhos contra a sua instalação. Essas classes alegavam que a instalação iria causar uma redução da oferta de água dessa região e afetaria povos ribeirinhos, pescadores, municípios e terras indígenas, além de danos na fauna e flora.

Sendo assim, a demanda por energia elétrica não é suprida apenas por sua geração, mas também pela preocupação com a conservação e eficiência energética, quem tem como objetivo maximizar o aproveitamento da energia, evitando desperdícios e perdas relacionadas ao mal aproveitamento dos equipamentos, seja por sua projeção, ausência de manutenção ou por estar ultrapassado. Visando melhor aproveitamento energético, foi criado o programa Procel (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) que indica para o consumidor por meio de selos quais os produtos apresentam melhores níveis de eficiência energética dentro de cada categoria, resultando em uma diminuição na conta de energia elétrica e contribuição com o desenvolvimento eletrônico dos aparelhos.

As residências são os maiores responsáveis pelo desperdício de energia, em 2015 as residências brasileiras desperdiçaram cerca de 40 milhões de kW. Atitudes como lâmpadas

acesas sem necessidade, aparelhos em stand-by, banhos de longa duração, contribuíram para esses valores.

Com o intuito de diminuir o desperdício de energia elétrica existe no mercado os *Home Energy Monitors*, que monitoram o consumo de energia em tempo real mostrando os quilowatts e o seu valor gasto, variando de uma marca para outra. Um dos empecilhos para sua instalação é o seu valor, podendo chegar até R\$ 1000,00, sendo que 45% desse valor são referentes apenas para os materiais utilizados. A proposta de construir um medidor de consumo de energia com preço mais acessível o tornaria mais popular entre as residências e assim auxiliar na redução de desperdício, pois torna o consumidor mais informado do quanto ele está “jogando dinheiro fora”.

## 2 TEMA

Protótipo capaz de realizar a medição de consumo de potência elétrica residencial à distância por meio de um banco de dados em um servidor online, tendo como suporte uma rede local.

### 2.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

A realização deste trabalho visa desenvolver um protótipo que possa captar informações e expô-las de maneira simples e clara para que os consumidores possam compreender o quanto estão consumindo e a partir disso descobrir mais sobre seu consumo, isto é, se há desperdícios, aparelhos ineficientes, maus hábitos realizados inconscientemente, para que ao fim possa ser feito um melhor aproveitamento da energia elétrica.

### 2.2 PROBLEMA

De acordo com as Nações Unidas estima-se que a população mundial em 2020 é de aproximadamente 7,8 bilhões de habitantes, podendo chegar a 9 bilhões em 2050.

Esse número de habitantes implica em uma maior demanda por energia, no caso da energia elétrica, uma das alternativas seria mais investimentos no setor de geração e transmissão de energia, porém seus custos são elevados em comparação a uma alternativa mais viável que é a conservação energética.

Outro fator relevante para o aumento do consumo de energia é o aumento do poder de aquisição da população, bem como os produtos, que ficam obsoletos cada vez mais rápidos devido as inovações tecnológicas, acabam ficando baratos mais rápidos, o que torna o consumismo mais “aquecido”.

Apesar de estar em evidência, os dispositivos que promovem eficiência energética são relativamente mais caros que o convencionais. Esse valor da diferença é revisto mais para frente como economia, mas o imediatismo ou falta de conhecimento caba sendo uma barreira para a popularidade destes itens.

A eficiência energética, como instrumento de conservação de energia, cada vez mais se aproxima das necessidades do cidadão brasileiro, notadamente, aqueles que compõem os corpos docentes e discentes de nossas universidades. Assim sendo, é preciso que sistemas, metodologias, tecnologias, materiais e equipamentos, que possibilitem melhoria da eficiência eletro energética, sejam conhecidos por

professores e alunos do ensino superior, principalmente os de engenharia e os de arquitetura, os quais estão diretamente conectados ao tecnicismo envolvido com esse tema (JAMIL HADDAD, 2006).

Os medidores inteligentes podem fornecer medições rápidas e precisas do uso de eletricidade, eliminando a necessidade de contas mensais estimadas ou visitas domiciliares para leitura de energia. A pandemia de 2020 ajudou a mostrar um pouco das dificuldades que a falta de acesso físico aos locais de leitura pode trazer (BRUNO SCARPIN, 2020).

Os medidores inteligentes juntamente com as redes smart grid poderiam ser uma solução para realizar as medições de consumo de energia elétrica sem a necessidade de uma pessoa ir fisicamente realizar essa ação. Porém existe o empecilho tecnológico e econômico, uma vez que grande parte do sistema elétrico e as residências não estão preparados para receber esse sistema de medição, ou seja, seria necessário realizar mudanças gigantescas nas redes elétricas.

### 3 METODOLOGIA

A teoria deste trabalho tomou como bases livros técnicos, datasheet dos componentes utilizados, artigos científicos, fóruns educacionais, sites dos fabricantes dos componentes e artigos técnicos. Todas as bases tomadas tiveram como tema semelhantes ao que foi desenvolvido neste trabalho.

Logo após realizar as pesquisas e estudos para se aprofundar melhor no assunto, iniciou-se o processo de desenvolvimento do protótipo, que posteriormente foi implementado para a validação do seu funcionamento, bem como a coleta de dados para material de análise e discussão.

#### 3.1 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho foi estruturado da seguinte maneira:

Capítulo 1 – Introdução;

Capítulo 2 – Tema, será apresentado o tema e problema;

Capítulo 3 – Metodologia;

Capítulo 4 – Fundamentação Teórica, com os assuntos e cenários fundamentais para o setor elétrico e, conseqüentemente, para o trabalho realizado;

Capítulo 5 – Medidores de Energia, trazendo o contexto histórico dos medidores, seu funcionamento e os modelos de medidores inteligentes semelhantes ao protótipo proposto;

Capítulo 6 – Desenvolvimento, será detalhado os passos para o desenvolvimento do protótipo, bem como a teoria dos processos;

Capítulo 7 – Procedimento Realizado, mostrando o passo a passo da instalação e funcionamento do protótipo;

Capítulo 8 – Alterações Realizadas

Capítulo 9 – Resultados, serão apresentadas e discutidas as informações coletadas;

Capítulo 10 – Futuras Melhorias;

Capítulo 11 – Conclusões.

## 4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 4.1 SITUAÇÃO ENERGÉTICA BRASILEIRA

No Brasil, 58% da energia consumida é de fontes não-renováveis, com destaque para o petróleo que corresponde a cerca de 40% de nosso gasto energético, principalmente por conta do consumo de combustíveis, como a gasolina, o diesel e o querosene. (MATHIAS,2018).

Como grande parte da energia elétrica é proveniente das hidrelétricas, como podemos ver na Tabela 1, o país fica susceptível a crises energéticas em períodos de estiagem, como por exemplo o que ocorreu entre 2012 e 2014 e que foi necessário utilizar energia proveniente das termelétricas, que utilizam carvão e óleo diesel, tornando sua geração mais cara e com isso a conta de energia elétrica do consumidor também sofreu aumento.

Tabela 1 – Principais hidrelétricas do país

PRINCIPAIS HIDRELÉTRICAS DO PAÍS	
USINA HIDRELÉTRICA	CAPACIDADE EM MW
USINA HIDRELÉTRICA DE ITAIPU	14000
USINA HIDRELÉTRICA DE TUCURUÍ	8370
USINA HIDRELÉTRICA DE ILHA SOLTEIRA	3444
USINA HIDRELÉTRICA DE XINGÓ	3162
USINA HIDRELÉTRICA DE FOZ DO AREIA	2511

Em 2018, a Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) ficou em 636,4 TWh, montante 1,7% superior ao de 2017 (625,7 TWh). Pelo porte, merecem destaque os aumentos de 14,4% na oferta eólica, e de 4,8% na hidráulica nacional. A geração solar teve aumento de 316,1% (876% em 2017), mas ainda com baixa representatividade. A supremacia da geração hidráulica ficou mais acentuada em 2018, chegando a 66,6% da OIEE (incluindo a importação de Itaipu), contra os 65,2% verificados em 2017 (70,6% em 2013) (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2019).

A energia nuclear também é um recurso utilizado pelo Brasil, com sua primeira usina nuclear denominada Angra I, que foi desativada por problemas técnicos. Logo após, em 2000,

entrou em operação a usina Angra II, que com altos custos e baixa produtividade (cerca de 3% da produção nacional de eletricidade) é criticada por grupos ambientalistas devido aos riscos de acidentes, vazamentos e por não ter um local fixo para destinar os resíduos radioativos.

As fontes de energias renováveis, em especial a eólica e a solar, vem ganhando destaque no Brasil, estimando-se que até em 2050 a energia gerada por painéis solares alcance números bem significativos.

O grande empecilho para que as fontes de energias renováveis consigam “bater de frente” às formas tradicionais são seus custos elevados, como por exemplo as usinas solares, a necessidade de condições favoráveis e o baixo rendimento de energia utilizável. Uma das soluções encontradas para esse cenário foi o investimento em pesquisas para tornar a tecnologia utilizada mais simplificada, barata e conseguir um maior aproveitamento da energia produzida.

Além dos aspectos tecnológicos e econômicos, existem as consequências causadas pela implementação das geradoras de energia alternativa. Como exemplo na geração eólica, onde os aerogeradores influenciam, por motivos desconhecidos, os hábitos de migração das aves, possível comprometimento da geração de energia elétrica uma vez que o fluxo dos ventos é irregular, poluição sonora e visual por conta dos aerogeradores.

Mesmo com os fatos citados, a energia eólica tem-se mantido como um importante forma alternativa de geração de energia. De acordo com a Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Norte (FIERN), em 2019 cerca de 89% da energia consumida na região nordeste veio dos ventos, com uma geração média diária de 8,650 MW, número que tornou a região nordeste à frente na capacidade de produção de energia eólica no Brasil. Ainda com dados em 2019, o Brasil apresentava 602 parques eólicos, totalizando 7.500 aerogeradores atuando, em 12 estados. A divisão dos parques apresenta 506 parques na região nordeste, 95 na região sul e 1 parque no Rio de Janeiro.

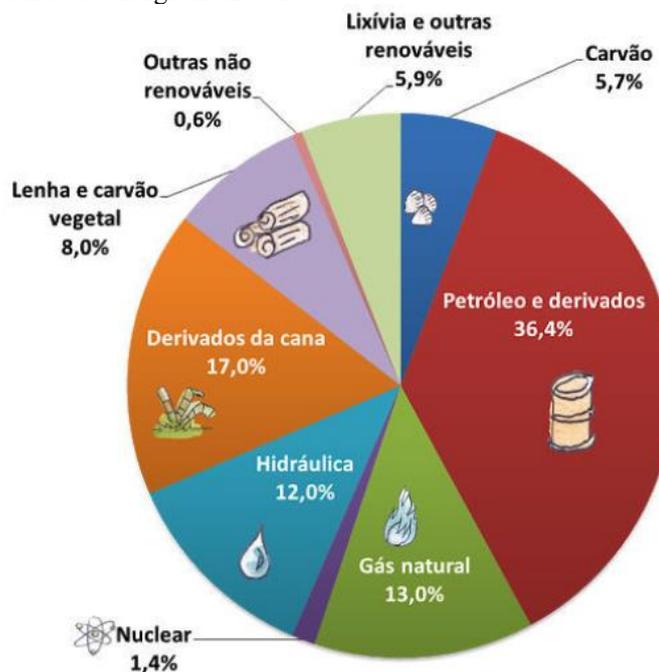
## 4.2 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

A matriz energética é o conjunto de fontes de energia utilizadas, no caso do Brasil a maior parte da energia consumida tem origem no petróleo e seus derivados.

De acordo a Empresa de Pesquisas Energéticas, EPE, com dados de 2017, e como pode ser visto na Figura 1, aproximadamente 43% da utilização das energias eram renováveis,

distribuídas da seguinte forma: etanol 17,0%, energia hidráulica 12,0%, lenha e carvão vegetal 8,0%, lixo e outras energias renováveis 5,9%.

Figura 1 – Consumo das fontes de energia no Brasil



Fonte: (EPE, 2018).

- Energia hidráulica: aproximadamente 75% da energia elétrica gerada no Brasil é por meio das usinas hidrelétricas, sendo a fonte renovável mais utilizada no país;
- Biomassa: etanol é um biocombustível produzido por meio da biomassa. Em 2015, no Brasil, produziu-se cerca de 37 bilhões de litros de etanol. Seu uso é uma alternativa à gasolina (derivado do petróleo) para menos emissão de gás carbônico, reduzindo aproximadamente 800 milhões de toneladas nos últimos 30 anos;
- Energia Solar: com a utilização de placas com células fotovoltaicas convertem energia solar em energia elétrica, gerou em 2015 0,01% de energia;
- Petróleo: bastante utilizado para a geração de energia, em 2017 consumiu aproximadamente 3,16 milhões de barris de petróleo por dia e mais tarde, nesse mesmo ano, chegou a marca de produzir 2,80 milhões de barris por dia.

Os diferentes setores brasileiros que consomem energia recebem porcentagens diferentes entre eles, de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 – Utilização da energia no Brasil

UTILIZAÇÃO DA ENERGIA NO BRASIL	
INDÚSTRIA	33,0%
TRANSPORTE	32,4%
RESIDÊNCIAS	9,7%
SETOR ENERGÉTICO	10,3%
AGROPECUÁRIA	4,0%
SERVIÇOS	4,9%
USO NÃO ENERGÉTICO	5,8%

### 4.3 TARIFAÇÃO

O Serviço Energia Elétrica é essencial no dia a dia da sociedade, seja nas residências ou nos diversos segmentos da economia e seu custo varia de distribuidora para distribuidora, como pode-se notar na Tabela 3.

Para o uso desse bem é necessária a aplicação de tarifas que remunerem o serviço de forma adequada, que viabilize a estrutura para manter o serviço com qualidade e que crie incentivos para eficiência. Seguindo tais preceitos, a ANEEL desenvolve metodologias de cálculo tarifário para segmentos do setor elétrico (geração, transmissão, distribuição e comercialização), considerando fatores como a infraestrutura de geração, transmissão e distribuição, bem como fatores econômicos de incentivos à modicidade tarifária e sinalização ao mercado (ANEEL, 2016).

Tabela 3 – Tarifas pelo Brasil

TARIFAS PELO BRASIL			
CAPITAIS BRASILEIRAS	DISTRIBUIDORA	TARIFAS EM R\$/KWH - 2019	TARIFAS EM R\$/KWH - 2020
BELÉM/PA	CELPA	0.671	0.684
MANAUS/AM	AME	0.706	0.665
SÃO LUÍS/MA	CEMAR	0.656	0.630

BELO HORIZONTE/MG	CEMIG-D	0.587	0.628
CUIABÁ/MT	EMT	0.627	0.627
RIO DE JANEIRO/RJ	LIGHT	0.626	0.626
BOA VISTA/RR	RR ENERGIA	0.635	0.618
CAMPO GRANDE/MS	SEM	0.609	0.609
PALMAS/TO	ETO	0.605	0.600
PORTO VELHO/RO	CERON	0.494	0.577
RIO BRANCO/AC	ELETROACRE	0.510	0.570
TERESINA/PI	CEPISA	0.624	0.669
SALVADOR/BA	COELBA	0.552	0.552
RECIFE/PE	CELPE	0.549	0.549
JOÃO PESSOA/PB	EPB	0.572	0.545
MACAPÁ/AP	CEA	0.537	0.537
MACEIÓ/AL	CEAL	0.551	0.535
GOIÂNIA/GO	CELG-D	0.562	0.534
ARACAJU/SE	ESSE	0.514	0.531
FORTALEZA/CE	ENEL CE	0.529	0.529
VITÓRIA/ES	EDP-ES	0.616	0.526
BRASÍLIA/DF	CEB-DIS	0.557	0.518
CURITIBA/PR	COPEL-DIS	0.508	0.518
SÃO PAULO/SP	ELETROPAULO	0.484	0.516
PORTO ALEGRE/RS	CEEE-D	0.548	0.515
NATAL/RN	COSESN	0.506	0.506
FLORIANÓPOLIS/SC	CELESC-DIS	0.520	0.470

A tarifa cobre os custos operacionais aos prestadores de serviços e os bonifica para manter a qualidade, as estruturas e investimentos para ampliação dos serviços, sendo a ANEEL responsável por definir os métodos a serem utilizados para os cálculos tarifários, que englobam geração, transmissão, distribuição, comercialização, etc.).

#### 4.4 COMPOSIÇÃO DA TARIFA

A composição da tarifa é composta por basicamente três elementos: energia gerada, transporte de energia até as unidades consumidoras (transmissão e distribuição) e encargo setoriais.

##### 4.4.1 Energia gerada

A geração de energia elétrica por meio de hidrelétrica não é constante ao longo do ano devido aos fatores da natureza, como por exemplo períodos de estiagem. Com isso a proposta da tarifa de remuneração aos prestadores de serviços e cobrir os custos fica comprometida.

Em 2015 foi instituído o Sistema de Bandeira Tarifárias, que apresentam as cores verde, vermelha e amarela, como pode-se notar na Figura 2. Elas indicam se haverá acréscimo no valor da energia que será repassada para o consumidor devido às condições de geração.

A seguir temos as representações de cada bandeira:

- Bandeira verde: condições favoráveis para geração de energia elétrica;
- Bandeira amarela: condições menos favoráveis para geração, a tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,01343 para cada quilowatt-hora consumido;
- Bandeira vermelha – Patamar 1: condições mais custosas de geração, a tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,04169 para cada quilowatt-hora consumido;
- Bandeira vermelha – Patamar 2: condições ainda mais custosas de geração, a tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,06243 para cada quilowatt-hora consumido.

Todos os consumidores das distribuidoras são afetados pelo Sistema de Bandeiras Tarifárias, exceto aqueles localizados em sistemas isolados, como por exemplo Roraima que não está conectado ao SIN.

Figura 2 – Bandeiras tarifárias

BANDEIRA	CONDIÇÕES	CUSTO
 VERDE	Condições favoráveis para a geração de energia	Não há acréscimo na tarifa
 AMARELA	Condições menos favoráveis para a geração	Acréscimo de R\$ 1,343 a cada 100 kWh consumidos (ou 0,01343 por kWh)
 VERMELHA Patamar 1	Condições mais custosas de geração	Acréscimo de R\$ 4,169 a cada 100 kWh consumidos (ou 0,04169 por kWh)
 VERMELHA Patamar 2	Condições ainda mais custosas de geração	Acréscimo de R\$ 6,243 a cada 100 kWh consumidos (ou 0,06243 por kWh)

Fonte: (ANEEL, 2019).

#### 4.4.2 Transporte de energia

Corresponde da geração até a unidade consumidora, apresenta um monopólio natural, ou seja, não há competição nessa área pois não gera ganhos econômicos. Por isso a ANEEL institui que as tarifas sejam compostas por custos eficientes relacionados com os serviços prestados.

Sua contribuição na parte tarifária também inclui os gastos para a transmissão. Os custos são referentes desde sua geração até distribuição para o consumidor, incluindo os itens, de acordo com a ANEEL:

- i. uso das instalações de transmissão classificadas como Rede Básica, Rede Básica Fronteira ou Demais Instalações de Transmissão (DIT) de uso compartilhado;
- ii. uso das instalações de distribuição;
- iii. conexão às DIT de uso exclusivo;
- iv. conexão às redes de distribuição;
- v. transporte da energia proveniente de Itaipu até o ponto de conexão à Rede Básica;
- vi. uso da Rede Básica pela usina de Itaipu; e
- vii. uso do sistema de transmissão pelas centrais geradoras conectadas em nível de tensão de 88 kV ou 138 kV.

“Para fins tarifários, os valores calculados são com base no montante de demanda contratada no período referente, valorados pelas respectivas tarifas econômicas vigentes na data de processo tarifário” (ANEEL, 2016).

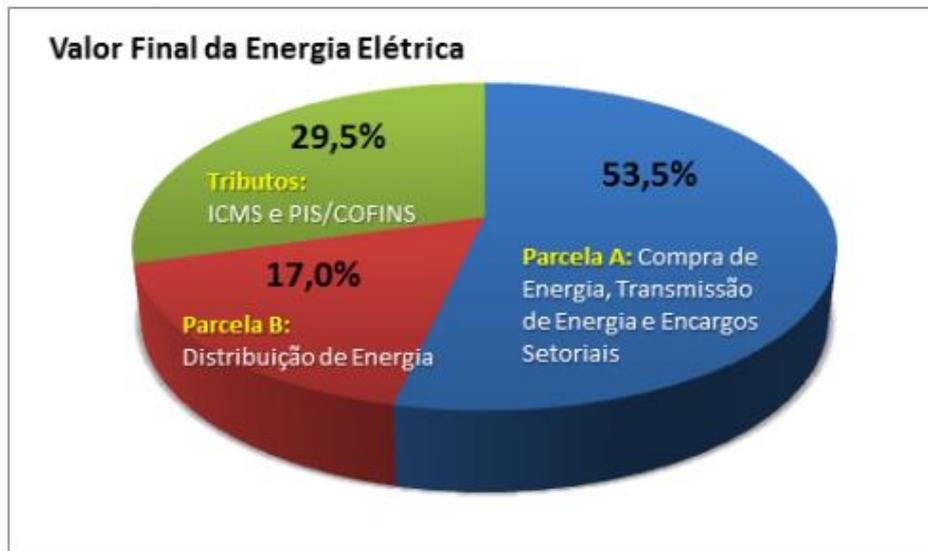
#### **4.4.3 Encargos setoriais**

São tributos instituídos por leis em determinadas partes do processo, sendo alguns somente sobre o custo de produção, outros juntamente nos custos de geração e transmissão, etc.

Como exemplo temos os tributos ICMS e PIS/COFINS visualizados na Figura 3, que compõem juntos 29,5% da tarifa de energia. Levando em consideração somente os tributos temos que os consumidores pagam 0,95% de PIS referente ao valor de consumo da eletricidade, 4,45% de COFINS referente ao valor da fatura, até 30% de ICMS referente ao valor mensal consumido, e uma determinada porcentagem de Custeio do Serviço de Iluminação Pública (CIP) que varia de forma individual para cada município.

Em suma temos que o consumidor paga pela compra de energia, transmissão e encargos setoriais, denominada parcela A, além da distribuição de energia, denominada parcela B.

Figura 3 – Valor final da energia elétrica



Fonte: (ANEEL, 2019).

#### 4.5 MODALIDADES TARIFÁRIAS

É um conjunto de tarifas aplicáveis ao consumo de energia elétrica e demanda de potência ativas. Elas são definidas de acordo com o Grupo Tarifário:

- GRUPO A

Grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária, caracterizado pela tarifa binômia e subdividido nos seguintes subgrupos:

- subgrupo A1 - tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV;
- subgrupo A2 - tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV;
- subgrupo A3 - tensão de fornecimento de 69 kV;
- subgrupo A3a - tensão de fornecimento de 30 kV a 44 kV;
- subgrupo A4 - tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV;
- subgrupo AS - tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição.

- GRUPO B

Grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV, caracterizado pela tarifa monômia e subdividido nos seguintes subgrupos:

- subgrupo B1 - residencial;
- subgrupo B2 - rural;

- c) subgrupo B3 - demais classes;
- d) subgrupo B4 - Iluminação pública.

A cobrança de energia nos consumidores de média tensão é cobrada baseada em: TE (Tarifa de Energia), a TUSD (Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição) e a demanda contratada. E principalmente há incidência de multas caso alguns limites/condições não sejam respeitados:

- Horário de ponta: período diário de 3 horas consecutivas (17:30 as 20:30), com exceção dos sábados, domingos e feriados;
- Horário fora de ponta: Período referente as demais 21hrs. Esse período ainda é dividido entre fora ponta indutivo e capacitivo. Esses horários devem manter o FT (Fator de Potência) acima de 0,92 indutivo e acima de 0,92 capacitivo para não cobrança de multa.

#### 4.6 TARIFA BRANCA

Aprovada em 2016, é um método que institui diferentes valores de custos de energia em diferentes períodos do dia. No início quem poderia optar pela tarifa branca eram unidades consumidoras com média anual de consumo superior a 500 KWh/mês. Em 2020 passou a ser opção para todas as unidades consumidoras.

A tarifa branca pode ser uma boa opção para quem faz uso da energia elétrica fora dos horários de mais consumo, tendo três faixas diferentes de preço ao longo do dia. Na maior parte do tempo a tarifa é mais barata que a convencional. Esse valor menor vale também vale em qualquer horário nos finais de semanas e feriados nacionais.

Nos horários de mais consumo a energia fica bem mais cara, assim é importante que o consumidor tente deslocar o seu horário de maior consumo de energia para horários em que a energia é mais barata, assim irá pagar menos na conta de luz. Antes de optar pela tarifa branca, o consumidor deve analisar sua rotina de consumo, pois se não seguir corretamente a ideia proposta pela tarifa branca, sua conta pode ficar mais cara.

Nos dias úteis tem-se três valores de tarifa que são aplicados ao Grupo A e a Tarifa Branca, denominados postos tarifários, que são definidos pelas distribuidoras. São eles:

- Horário de ponta: período diário de 3 horas consecutivas, com exceção feita aos sábados, domingos e feriados;

- Horário intermediário: período de horas conjugadas ao horário de ponta, aplicado exclusivamente às unidades consumidoras que optem pela Tarifa Branca. Pode variar de 1 hora à 1 hora e 30 minutos antes e depois do horário de ponta;
- Horário fora de ponta: período diário composto pelas horas consecutivas e complementares ao horário de ponta e intermediário.

Existe também o horário especial ou período reservado, sendo utilizado pelas unidades consumidoras da subclasse rural irrigante ou aquicultura. O horário especial é o período de 8 horas e 30 minutos do dia que abrange toda a madrugada, em que a carga destinada à irrigação ou aquicultura recebe um desconto na tarifa de acordo com a região em que se localiza e o grupo tarifário que ela pertence.

## 5 MEDIDORES DE ENERGIA

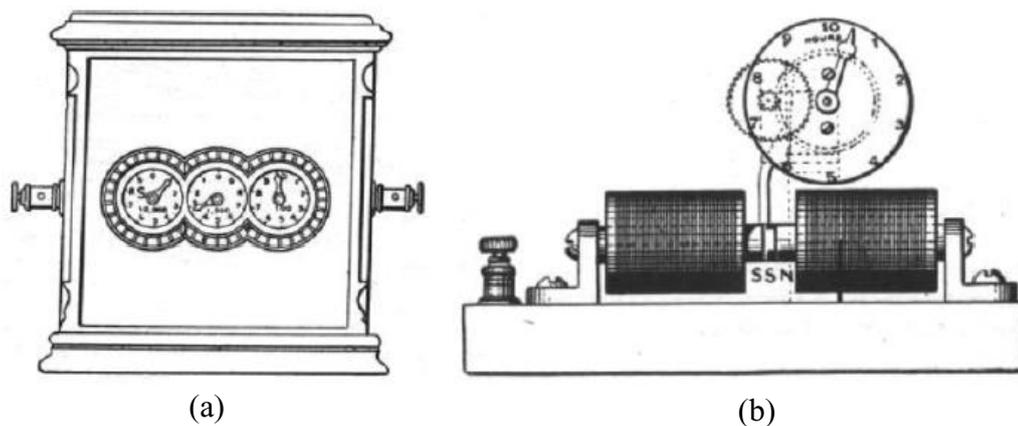
### 5.1 CONTEXTO HISTÓRICO

“O primeiro medidor de energia teve sua patente registrada, no século XIX, nos Estados Unidos, por Samuel Gardiner” (LIMA e PEREIRA, 2011).

Esse medidor, utilizado para corrente contínua, era composto por um relógio medidor acoplado a um eletroímã, que indicava o período que uma lâmpada permanecia acesa. A escolha da lâmpada se deu por ser uma carga conhecida, com corrente quase constante. Assim para o cálculo do seu consumo bastava multiplicar o tempo da lâmpada acesa pela potência nominal da carga, dando origem a unidade lâmpada-hora.

Em 1878 foi desenvolvido, por J. B. Fuller, um medidor lâmpada-hora para corrente alternada, composto por uma armadura colocada entre duas bobinas. A vibração dessa armadura fazia movimentar o registrador de tempo. Ambos modelos podem ser vistos na Figura 4.

Figura 4 – Medidores: (a) Medidor de lâmpada-hora de Samuel Gardiner; (b) Medidor de lâmpada-hora de J. B. Fuller



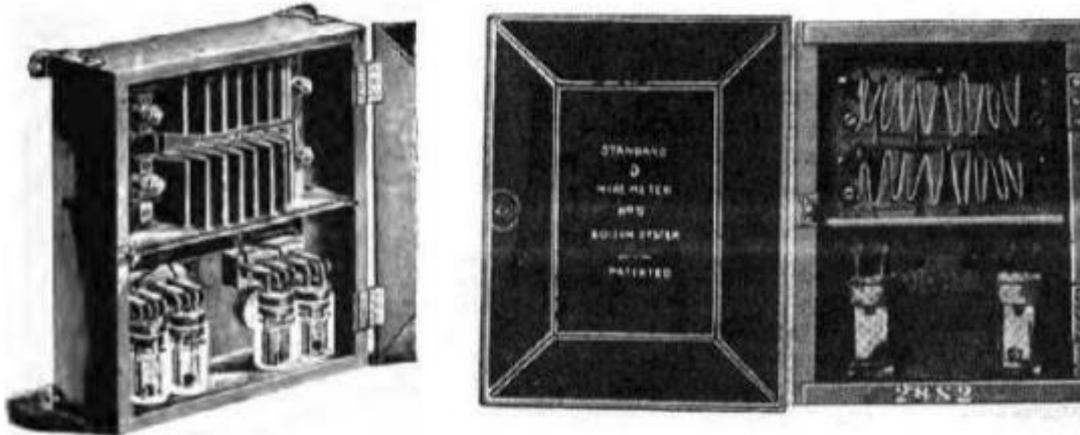
Fonte: (LIMA E PEREIRA, 2011).

Esses medidores de lâmpada-hora eram bastante eficientes quanto ao resultado final, porém eram limitados quanto a diversidade das cargas, ainda mais nas cargas que apresentavam variações de potência durante a medição.

Motivado por essas limitações e com base nos trabalhos de Faraday, em 1882 Thomas Edison inventou um medidor químico amper-hora, formado por placas de zinco imersas em uma solução com íons de zinco. Essas placas eram conectadas ao terminal de entrada do

consumidor. Ao longo do tempo a corrente fluía pela solução e a massa de zinco da placa de carga positiva aumentava. O cálculo da medição era feito, mensalmente, pela diferença entre as massas da placa do consumidor e da placa base, como visto na Figura 5.

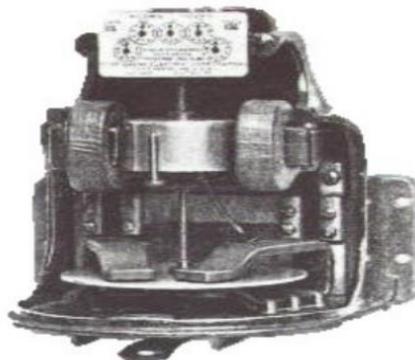
Figura 5 – Medidor químico de energia elétrica desenvolvido por Thomas Edison



Fonte: (MACHADO, 2012).

Na década de 1880, Elihu Thomsom, juntamente com Thomas Duncan, desenvolveram o wattímetro-registrador voltado para a medição de consumo de energia com corrente alternada ou contínua. Foi amplamente utilizado até 1892 quando foi substituído por medidores de watt-hora, que foram desenvolvidos somente por Thomas Duncan. Possuindo maior precisão e confiabilidade para a época, foram inicialmente projetados apenas para medição de circuitos monofásicos, mas logo foram adaptados para sistemas polifásicos. Também foram desenvolvidos dispositivos para operar em sistemas de corrente contínua e alternada, tornando esse equipamento o mais abrangente possível, como visto na Figura 6.

Figura 6 – Medidor de watt-hora de Duncan



Fonte: (MACHADO, 2012).

## 5.2 MEDIDORES ATUALMENTE

Os medidores, popularmente conhecido como “relógio de luz”, são instrumentos utilizados para quantificar o consumo final do consumidor da energia elétrica disponibilizada pelas concessionárias, podendo ser visto na Figura 7 e Figura 8.

Seu funcionamento é baseado pelo princípio da indução eletromagnética, onde bobina de corrente e de tensão estão em paralelo com a carga (ambas com o mesmo potencial) e são responsáveis por gerar um campo magnético, de acordo com a eletricidade gasta pelo consumidor, que impulsiona a rotação do disco suspenso e conseqüentemente as engrenagens e ponteiros. A bobina de corrente conduz a corrente de linha e a bobina de tensão é alimentada pela tensão de linha.

O torque está intrinsecamente relacionado às intensidades do campo da bobina de potencial e das correntes parasitas, estas que dependem do campo que as produziu. Assim tem-se a relação: 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. É por meio dessa relação que se é possível que o número de rotações do disco seja proporcional a energia consumida.

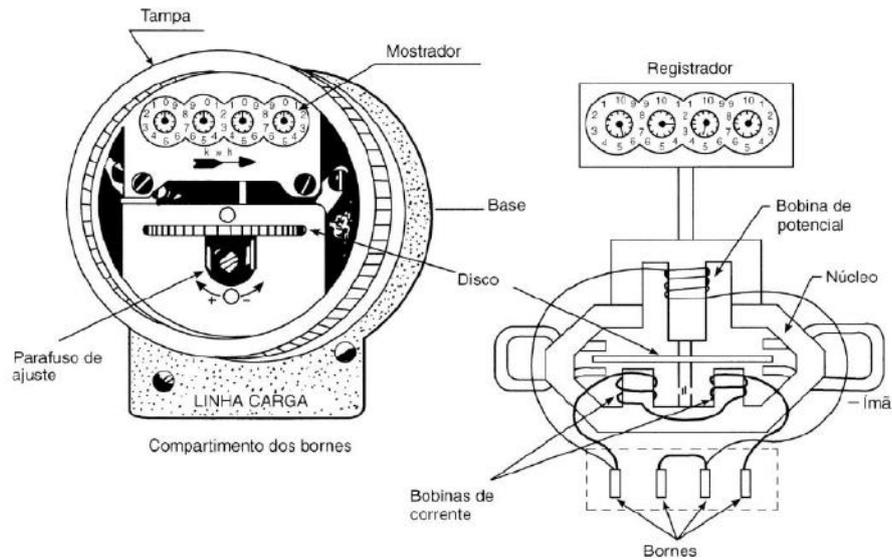
O amortecimento da rotação é realizado por dois pequenos ímãs permanentes diametralmente opostos, que são encontrados nas bordas do disco. Os ímãs induzem correntes parasitas no disco, quando esse está rodando, que reage aos campos magnéticos produzidos por eles, resultando torque de frenagem.

Os medidores eletromecânicos são os mais utilizados para aplicação residencial (grupo B1), cerca de 92%, por possuírem baixo custo e alta disponibilidade.

Basicamente, um medidor em geral é formado por:

- Base: onde são fixadas todas as outras partes do equipamento;
- Bloco terminais: onde são acoplados os condutores de entrada e saída;
- Registrador: onde se guarda os valores de grandeza;
- Mostrador: exhibe o valor de grandeza;
- Elemento sensor de tensão: onde mede a tensão elétrica da rede;
- Tampa: protege os elementos internos do equipamento;
- Elemento sensor de corrente: mede a corrente elétrica.

Figura 7 – Medidor eletromecânico



Fonte: (DAHLE, 2010).

Figura 8 – Medidor eletrônico



Fonte: (DAHLE, 2010).

Focando no medidor eletromecânico, suas estruturas principais, além das citadas anteriormente nos medidores em geral, temos:

- Disco: fica girando enquanto a energia vai sendo consumida. Existe somente no medidor eletromecânico;
- Catraca: impede que o movimento do disco seja sentido contrário ao normal;
- Núcleo: constituído de lâminas de material ferromagnético, justapostas e isoladas uma das outras, para diminuir as perdas por corrente de Foucault;
- Ímã: ímã permanente responsável por produzir um conjugado de frenagem ou de amortecimento no disco;

- Compartimento dos bornes: permite o acesso aos bornes onde são ligados os cabos de entrada e saída de energia do medidor;
- Bornes: permite a conexão das bobinas de tensão e corrente aos cabos de alimentação e carga, de forma rápida e fácil;
- Parafuso de Ajuste: utilizado para regulagem do medidor;
- Dispositivo de selagem: todo medidor deve ter dispositivos independentes para selagem de tampa do medidor e da tampa do bloco de terminais. Os diâmetros dos dispositivos de selagem não devem ser inferiores a 2 mm.

### 5.3 FRAUDES E FURTOS NA MEDIÇÃO DE ENERGIA

Apesar de possuírem finalidades semelhantes furto e fraude na rede elétrica possuem definições distintas. Furto de energia é utilizar diretamente da rede elétrica sem passar pelo medidor, popularmente conhecido como “gato”. Na fraude o consumidor rompe o lacre do medidor e realiza alterações na configuração original do medidor, com a finalidade de pagar uma quantidade menor do que ele consumiu.

A seguir temos alguns exemplos:

- Alterações no parafuso de ajuste influenciam no campo magnético do disco, deixando-o “mais leve ou mais pesado” para o eixo central e como consequência no número de voltas no final da contagem;
- Em medidores mais antigos é possível realizar a inversão dos fios de entrada e saída e alterar a conta de energia, porém é uma técnica arriscada atualmente, pois algumas concessionárias realizam um estudo de média em uma quadra ou região que devem ser as mesmas dos painéis. Assim os fiscais saem em “caça” dos consumidores que apresentam discrepâncias nos dados apurados;
- Fazer um jumper que passa direto da entrada para a saída da bobina sem movimentar o disco, porém só funciona se o fio for maior ou do mesmo diâmetro da bobina, entorno de 5 milímetros, o que torna facilmente perceptível para os fiscais;
- Alterar o número de espiras da bobina.

Ao realizar essas práticas o consumidor está sujeito a responder a fraude no artigo 171 (estelionatário) e furto no artigo 155, cuja pena para esses crimes é de um a quatro anos de reclusão, além de serem cobrados os valores do período fraudado acrescidos de multa e ter o fornecimento de energia suspenso.

#### 5.4 MONITORAMENTO DE ENERGIA RESIDENCIAL (HOME ENERGY MONITOR)

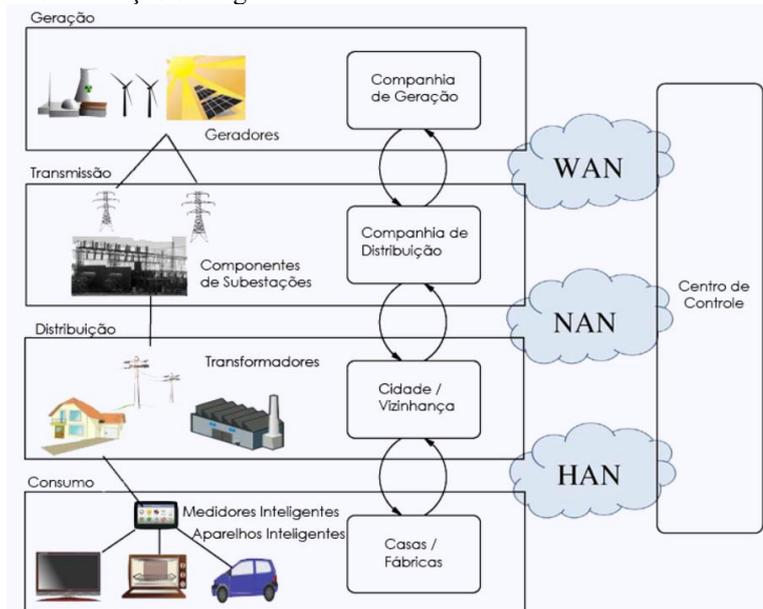
Dentro da comunicação de uma rede smart grid existe subgrupos a qual ela pode ser dividida, são eles a Wide Area Network (WAN), Neighborhood Area Network (NAN) e Home Area Network (HAN). Suas arquiteturas podem ser vistas na Figura 9.

A WAN é uma rede que cobre áreas extensas, como por exemplo cidades, estados ou até mesmo um país. Na rede smart grid cobre é responsável pela rede de alta e parte da média tensão.

A NAN cuida da comunicação entre a WAN e a HAN, sendo responsável pela rede de média e baixa tensão.

A HAN assemelha-se a uma rede do tipo LAN (Local Area Network) e é responsável pela comunicação residencial entre os dispositivos das proximidades, facilitando a comunicação entre os medidores inteligentes e os eletrodomésticos na rede smart grid.

Figura 9 – Arquitetura da comunicação smartgrid



Fonte: (YILIN MO, 2012).

Apesar de ser um ótimo instrumento de comunicação a rede HAN é de difícil acesso para o consumidor, devido a complexidade do sistema, preço elevado e difícil manuseio. Com isso surgiu um espaço no mercado de medidores que foi suprido pelos Home Energy Monitors, que conseguem informar aos consumidores em tempo real as informações da tensão, corrente e do consumo de potência.

Os Home Energy Monitors são mais baratos e simples, facilitando o entendimento do consumidor que muitas vezes não possui conhecimento técnico. Sua instalação também é simples, geralmente são plug-in, bastando apenas conecta-los sem uma configuração complexa prévia, no máximo será necessário a inserção do valor da tarifa.

O local de instalação varia de aparelho para aparelho, podendo ficar entre o eletrodoméstico e a tomada, configurando assim uma única carga, ou pode ficar junto ao medidor eletromecânico ou ao quadro elétrico.

#### 5.4.1 Snapgrid

Desenvolvido pela iHouse e podendo ser visualizado na Figura 10 e mostradas suas especificações no Quadro 1, o Snapgrid faz o monitoramento residencial de casas ou empresas 24 horas por dia. O equipamento mostra o consumo instantâneo ou acumulado do ambiente ou de cargas separadas, dependendo das entradas no medidor, além de fazer previsões para o próximo mês com bases nos dados coletados. Demonstra as informações de maneira simples, exibindo em quilowatts e reais e possui um display touch para realizar ações.

Sua venda é recomendada para construtoras, para que sejam implementados durante a construção, caso seja feito depois será quase inevitável realizar reformas. Seu custo é de aproximadamente R\$ 5 mil, conforme os últimos dados fornecidos pela empresa em 2015.

Figura 10 – Funcionalidades do snapgrid



Fonte: (IHOUSE, 2015).

O Snapgrid é composto por um painel touchscreen e uma CPU de 16 canais – sendo que cada canal recebe pastilhas individuais de medição. Cada pastilha mede o consumo do disjuntor associado, informando à CPU principal. O painel touchscreen promove fácil interação com o usuário. Até 4 CPUs podem

estar associadas a um painel LCD permitindo que diversos quadros elétricos sejam monitorados de forma centralizada (iHouse, 2015).

Quadro 1 – Especificações do Snapgrid

ESPECIFICAÇÕES DO SNAPGRID		
MODELO		
SNAPGRID/PAINEL SG210/P10	SNAPGRID/CPU SG210/C16	SNAPGRID/SENSORES SG210/S50
ALIMENTAÇÃO 12 V	ALIMENTAÇÃO 127 V OU 220 V	EFEITO HALL
LCD GRÁFICO CUSTOM	NÃO POSSUI LCD	NÃO POSSUI LCD
TELA TOUCH SCREEN CAPACITIVA COM FUNÇÃO SCROLL PARA VISUALIZAÇÃO DA LISTA DE CIRCUITOS MONITORIZADOS	INTERFACE ETHERNET	PAINEL DE COMANDO COM CABO PARA CPU
CONSUMO DE 0,15 W	CONSUMO DE 0,3 W	NÃO CONSOME
PIC 18F26K20 - 16 MHZ	PIC 18F67J60 - 41 MHZ	NÃO POSSUI PIC
PORTA RS485 PARA COMUNICAÇÃO COM A CPU	PORTA DE COMUNICAÇÃO RS485	CABO

Fonte: (OS AUTORES, 2020).

#### 5.4.2 Kill a Watt

O Kill a Watt, visto na Figura 11, permite medir a corrente, tensão, potência, frequência e KWH, servindo como “intermediário” entre a tomada com a rede elétrica residencial e o eletrodoméstico. Sua utilização é simples, por meio de plug-in de apenas um item por vez e sua medição de consumo acumulado (potência acumulada) é resetada toda vez que for desconectado. Sua faixa de leitura é de 85V a 125V, 0A a 15 A, 0W a 1875 e frequência 47HZ a 63HZ, todos atualizando a cada 1 segundo. Seu preço, em 2020, varia entre R\$200 e R\$250, versão inteiramente em inglês.

Figura 11 – Dispositivo Kill a Watt



Fonte: (AMAZON, 2020).

### 5.4.3 Medidor OEM

Com um belo visual visto na Figura 12, este medidor de corrente e tensão é um excelente complemento para o seu projeto de automação residencial, fornecendo informações de tensão e corrente de forma precisa em um display LCD. O medidor é capaz de medir corrente até 100A e tensões entre 80 e 260V. (FILIPE FLOP, 2020).

Sua faixa de operação é 80V a 260V em AC, corrente máxima de 100 A, potência máxima de 22000W, alarme contra sobrecarga, sensor invasivo e armazenamento de dados em caso de queda de energia. Seu preço, em 2020, varia entre R\$140 e R\$ 170, sendo uma das melhores opções do mercado comparado aos demais. Assim como o Kill a Watt só é possível medir uma carga por vez.

Figura 12 – Medidor OEM



Fonte: (FELIPE FLOP, 2020).

## 5.5 CONSERVAÇÃO DE ENERGIA E SEUS IMPACTOS SOBRE A QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

A evolução da economia e da tecnologia nos setores industriais, comerciais e residenciais tem causado uma “poluição” no sistema elétrico devido ao aumento das cargas não lineares, geradoras de distúrbios. Entendendo como cargas não lineares aquelas que provocam a circulação de correntes não senoidais em equipamentos elétricos.

As seguintes formas como essas cargas estão presentes nesses setores são:

- Setor Comercial: os aparelhos de ar condicionado devido aos fatores climáticos, aumento da oferta de mercadorias, aumento de shoppings e novas unidades, além do aumento do uso de computadores e lâmpadas LED;
- Setor Industrial: com o aumento da demanda tem-se um aumento da produção e conseqüentemente um aumento da extração mineral, que geralmente implica na utilização de motores e controladores de velocidade variável para os mesmos;
- Setor Residencial: aumento de televisores, eletrodomésticos, aparelhos de ar condicionado, entre outros.

Vale ressaltar que apesar de serem de pequena potência, as residências constituem milhares de fontes de correntes harmônicas. Os harmônicos são correntes com uma frequência múltipla da frequência fundamental, no caso do Brasil 60 Hertz. As correntes harmônicas são somadas com a corrente fundamental, provocando distorções nas senoidais, perda da potência na rede e aumento do nível da corrente e tensão na rede e aparelhos.

Em redes comerciais e residenciais são encontrados harmônicos de maior frequência. Ordem acima de 50 são desprezíveis, pois, sua medição não é significativa, sendo assim para uma medição considerável são utilizados até a ordem 30. As empresas distribuidoras medem geralmente os harmônicos de ordem 3, 5, 7, 11 e 13, sendo as de 3ª ordem as maiores e mais problemáticas.

Programas de conservação de energia elétrica, como PROCEL, visam combater o desperdício por meio de programas, incentivos legais/econômicos, planos de marketing, incentivando atitudes pelo lado do consumidor para o uso correto da energia. Entre esses procedimentos pode-se citar o incentivo para o uso de certos equipamentos, como por exemplo lâmpadas fluorescentes compactas, controle de iluminação através de dimmers, controladores de temperatura para chuveiros, entre outros. Porém essas práticas de conservação de energia ocasionam a perda da qualidade da energia.

Em um estudo realizado pela UNESP, cujo experimento era:

- Consumidor “Y” cuja tensão em sua residência era 127V e com carga total instalada de 12.950W. Foram substituídas 5 lâmpadas incandescentes de 60W/127V por 5 lâmpadas fluorescentes compactas de 23W/127V;
- Consumidor “X” cuja tensão em sua residência era 220V com carga instalada de 27.437W. Foram substituídas 10 lâmpadas incandescentes de 100W/220V por 10 lâmpadas fluorescentes compactas de 23W/220V e instalado um regulador estático de luminosidade – “dimmer” de 100W.

Foram feitas medições antes e depois, os resultados obtidos estão na Tabela 4.

Tabela 4 – Medição de potência no consumidor “X” e “Y”

MEDIÇÃO DA POTÊNCIA NO CONSUMIDOR "X" E "Y"				
	ANTES		DEPOIS	
	CONSUMIDOR "X"	CONSUMIDOR "Y"	CONSUMIDOR "X"	CONSUMIDOR "Y"
	0,99 KVA	0,85 KVA	0,63 KVA	0,97 KVA
	0,92 W	0,85 W	0,57 W	0,66 W

Houve uma diminuição no consumo de potência ativa no consumidor “Y” e aumento da potência aparente no consumidor “X”, devido a forte influência das distorções harmônicas sobre o fator de potência.

Além disso percebeu-se uma pequena variação entre a implementação do estudo de conservação de energia e o estado anterior dos consumidores. Somados pelo fato que estudos apontam que 7% da energia elétrica é usada para iluminação residencial, sendo responsável por 28% da energia total ofertada, assim, do ponto de vista energético a implementação de lâmpadas fluorescentes compactas tem baixo impacto na conservação de energia em um cenário amplo e um alto impacto na qualidade da energia/rede elétrica.

A Tabela 5 mostra a redução de consumo de energia elétrica esperada pela substituição das lâmpadas incandescentes pelas lâmpadas fluorescentes compactas.

Tabela 5 – Conservação de energia por meio do LFC'S no Brasil

CONSERVAÇÃO DE ENERGIA POR MEIO DO LFC'S NO BRASIL		
QUANTIDADE SUBSTITUÍDA	REDUÇÃO NO CONSUMO RESIDENCIAL	REDUÇÃO NO CONSUMO TOTAL
10%	2%	0,56%
20%	4%	1,12%
40%	8%	2,24%

Com a introdução da lâmpada fluorescente compactas em grandes quantidades ocorrerá um aumento significativo dos harmônicos de tensão e de corrente nos próximos anos, afetando todo o sistema elétrico.

Apesar de todos os fatos citados anteriormente os programas de eficiência energética tem conseguido a otimização do consumo de energia elétrica, porém seus efeitos positivos e negativos dependem da grande diversidade na qualidade técnica dos dispositivos considerados eficientes.

### **5.5.1 Localização dos harmônicos no sistema**

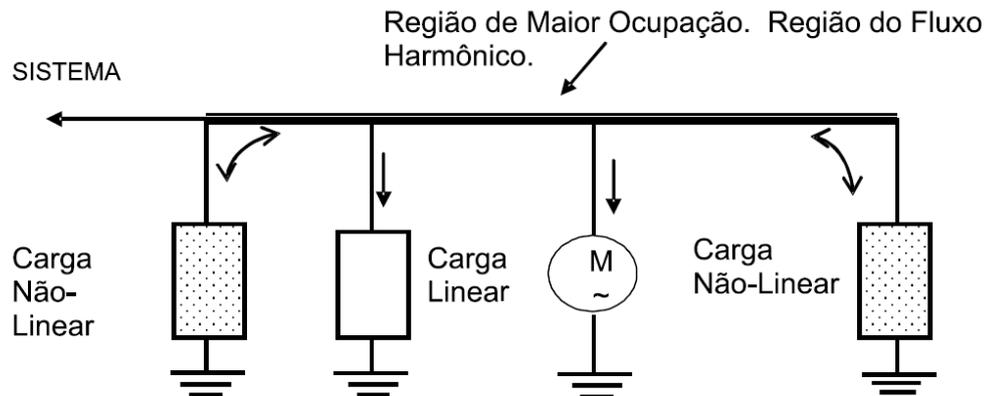
As cargas não-lineares recomendadas pelos programas de conservação de energia interferem fisicamente no sistema elétrico, pois a sua presença faz com que os harmônicos se dispersam em cargas lineares ou se cancelem, em parte, devido aos seus ângulos de fase. Esses acontecimentos fazem com que os harmônicos não sejam detectados na entrada principal do circuito, se limitando a percorrer circuitos menores, por isso a medição dos harmônicos deve ser observada onde a distorção harmônica pode causar problemas (circuitos menores ou específicos).

Ainda sobre o local da medição de harmônicos, existe um contraponto entre duas normas:

- IEEE519: estabelece níveis de distorção no ponto de acoplamento comum entre o consumidor e a concessionária;
- IEC1000-3-2: é aplicada nos terminais dos equipamentos.

Assim pode-se concluir, por meio da Figura 13, que mesmo possuindo níveis aceitáveis de distorção harmônica na entrada do sistema, o mesmo pode estar com circulação de correntes harmônicas nas partes internas do sistema, desperdiçando energia através das perdas nos condutores. As perdas e a ocupação no sistema são proporcionais ao nível de harmônicos aos quais eles estão associados.

Figura 13 – Presença dos harmônicos em um sistema elétrico



Fonte: (JAMIL HADDAD, 2006).

Com a medição busca-se a amplitude dos harmônicos de tensão e corrente, a distorção individual harmônica de cada ordem (corrente e tensão), a defasagem entre os harmônicos de tensão e corrente da mesma ordem e a fase das harmônicas com relação a uma referência comum, por exemplo a tensão fundamental, quando for necessário (JAMIL HADDAD, 2006).

Atualmente é realizado a medição por meio de analisadores digitais, devido a sua precisão. Além disso existem indicadores que são capazes de quantificar e avaliar a distorção harmônica das ondas de tensão e corrente, como por exemplo o fator de potência, o fator de crista, a potência de distorção, o espectro em frequência e a taxa de distorção harmônica.

Com a medição é possível saber se será necessária uma reclassificação dos equipamentos instalados, planejar possíveis soluções de proteção e filtragem de harmônicos, evitando que as tensões do barramento sejam distorcidas pela alimentação das cargas não-lineares.

## 6 DESENVOLVIMENTO

### 6.1 PROPOSTA

De acordo com o foi citado nos tópicos anteriores, o projeto tem como função conscientizar o consumidor sobre seus gastos e desperdícios energéticos, com isso ele desenvolve uma mentalidade de conservação e eficiência energética, ou seja, o projeto tem a finalidade de fornecer dados e informações de maneira simples e servir como um meio de educação energética.

Quanto a sua forma de implementação, o TP é colocado em paralelo ao sistema elétrico e o TC é inserido por meio de um alicate amperímetro. Com os dados obtidos nas entradas analógicas do Arduino, esses dados serão processados e utilizados como variáveis para a obtenção da potência consumida, da corrente, da tensão e valor consumidor em reais.

A saída dos dados para o computador será wireless através do Ethernet Shield, que se comunica com o roteador via cabo de rede, posteriormente o roteador envia os dados para o computador através de seu IP fixo na rede. Os dados serão armazenados no banco de dados do MySQL e poderão ser vistos na página web conectada ao servidor ou nos programas executáveis do banco de dados.

### 6.2 ARDUINO

Arduíno é uma plataforma eletrônica, vista na Figura 14, open-source baseada em hardware e software easy-to-use. O Arduíno é capaz de ler entradas como botões pressionados, mensagens, sensores, comandos, etc. e transformá-los em saídas como por exemplo escrever em monitor, acender LEDs, publicar algo na internet, entre outros, tudo isso através de instruções enviadas para o microcontrolador. No projeto foi utilizado o Arduíno Uno.

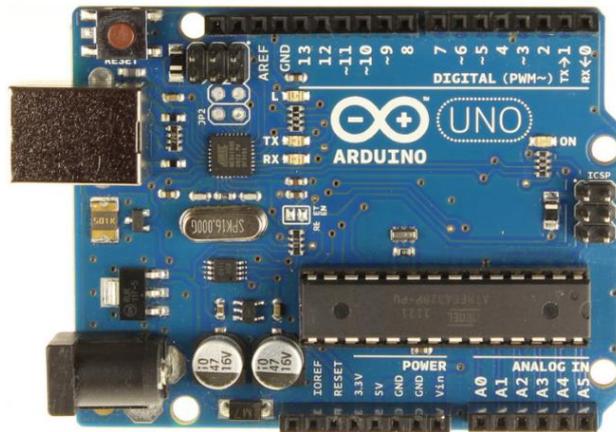
Arduíno Uno é 5V, o componente principal é o microcontrolador Atmel ATMEGA328, um dispositivo de 8 bits da família AVR com arquitetura RISC avançada e com encapsulamento DIP28. Ele possui 32 KB de Flash, 2 KB de RAM e 1 KB de EEPROM. Pode operar até 20 MHz, possui pinos de entrada e saídas digitais e analógicas (ARDUINO, 2020).

Para utiliza-lo basta conectar ao computador via cabo usb e usar o ambiente de programação, chamado IDE, onde o programa é digitado, realizado testes para verificar erros na programação e logo após enviar para o Arduino. Por ser open-source permite que os

usuários criem e adaptem suas programações sem restrições, além de alterações de seus derivados.

Graças à sua experiência de usuário (UX) simples e acessível, o Arduino tem sido utilizado em milhares de projetos e aplicações diferentes. O software Arduino é fácil de usar para iniciantes, mas suficientemente flexível para os usuários avançados. Ele pode ser executado em Mac, Windows e Linux. Professores e alunos usam-no para construir instrumentos científicos de baixo custo, para provar princípios de química e física, ou para dar os primeiros passos com programação e robótica (ARDUINO, 2020).

Figura 14 – Placa Arduino Uno



Fonte: (ARDUINO, 2020).

Sua pinagem é dividida em:

- 14 pinos de entrada e saída digital, que correspondem os pinos de 0 a 13. Sua função de entrada ou saída é definida pelo sketch feito para o projeto;
- 6 pinos de entradas analógicas, que correspondem aos pinos A0 A A5. Será feita a leitura no pino analógico específico, em seguida ocorre sua conversão analógico/digital.

“A placa Arduíno possui um conversor analógico-digital 10 bits de 6 canais (8 canais no Mini e Nano, 16 no Mega, 7 canais em placas MKR). Isso significa que este irá mapear tensões entre 0 e a tensão operacional (5V ou 3.3V) para valores inteiros entre 0 e 1023” (ARDUINO, 2020).

- 6 pinos de saídas analógicas, que correspondem aos pinos 3, 5, 6, 9, 10 e 11 que podem ser programados como saídas analógicas de acordo com a necessidade do projeto;
- IOREF: fornece a tensão de referência com a qual o microcontrolador está operando. Por exemplo a versão Uno forneceria 5V nesse pino e a versão Due forneceria 3,3V;
- RESET: utilizado como um reset externo da placa Arduino. Esse pino esta conectado ao RESET do microcontrolador;

- 3,3V: fornece tensão de 3,3V e corrente máxima de 50 mA;
- 5V: fornece tensão de 5V;
- GND: terra;
- VIN: pino para alimentar a placa por meio de bateria externa. Quando a placa é alimentada através do conector Jack, a tensão da fonte estará nesse pino.

Após feita a pinagem do projeto, é feita a programação do sketch, visto na Figura 15, onde será feito a inclusão de biblioteca, “roteiro” das ações que devem ser realizadas, envio/recepção de dados, entre outros. Em seguida é realizada a verificação de erros na programação e depois a compilação da linguagem semelhante a C/C++ para um código compreensível pela placa Arduino. Com esses processos realizados, o sketch é carregado via usb para a placa Arduino, uma vez carregado não é mais necessário a conexão com o computador, a não ser que o mesmo esteja sendo usado como alimentação para a placa. A utilização de uma fonte para alimentar a placa é o mais aconselhável, pois gera maior estabilidade.

Figura 15 – Interface utilizada para a criação do sketch



```

sketch_aug11a | Arduino 1.8.12
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda
sketch_aug11a
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}

```

Fonte: (OS AUTORES, 2020).

### 6.3 ETHERNET SHIELD W5100

O Ethernet Shield é um shield, assim como observado na Figura 16, baseado no chip ethernet Wiznet W5100, que permite a comunicação da placa Arduino com a internet ou rede local (IP nos protocolos TCP ou UDP utilizando a biblioteca Ethernet Library e SD Library), recebendo e enviando dados. Nesta versão utilizada possui também um módulo para cartão micro SD, que permite carregar dados a serem utilizados pelo Arduino, como por exemplo imagens utilizadas em uma programação HTML. O Arduino Uno se comunica com o Ethernet

Shield W5100 através dos pinos digitais 11, 12 e 13 (bus SPI), assim o pino 10 seleciona o shield e o pino 4 o cartão SD, não sendo possível utilizar esses pinos como saída ou entrada geral.

O shield possui uma saída rj45 que o conecta com um modem/roteador, emitindo sinal wireless que pode ser recebido por computadores, celulares, tablets, entre outros a partir do endereço de IP configurado na programação do sketch.

De acordo com seu fabricante suas especificações são:

- Tensão de operação 5V (fornecida pela placa Arduino);
- Controlador Ethernet: W5100 com buffer interno 16K;
- Velocidade de conexão: 10/100Mb;
- Conexão com o Arduino na porta SPI;
- Dimensões (CxLxA): 68x53x10mm (WIZNET, 2020).

Figura 16 – Ethernet shield acoplado ao Arduino Uno



Fonte: (BLOG ELETROGATE, 2018).

## 6.4 MOTIVOS QUE LEVARAM A ESCOLHA DO ETHERNET SHIELD

Outros módulos poderiam ser utilizados no lugar do Ethernet Shield e dariam resultados semelhantes, como por exemplo módulo GMS GPRS SIM800L ou Bluetooth HC-05.

### 6.4.1 Módulo GMS GPRS SIM800L

É um shield GPRS (General Packet Radio Service) para Arduino baseado no módulo wireless SIM900 Quad-Band GSM/GPRS, conforme a Figura 17. O módulo é capaz de enviar

serviços GSM/GPRS em SMS, voz (ligações), dados via Internet, fax em uma placa muito pequena e com baixo consumo de energia.

O controle do GSM GPRS Shield é feito via comandos AT (GSM 07.07, 07.05 e SIMCOM com comandos AT aprimorados) e é totalmente compatível com Arduino. Possui interface de áudio completa com conectores de 3,5mm para microfone e fone de ouvido.

É possível ligar e desligar o módulo através de um comando no Arduino e há um Port serial integrado, ou seja, com apenas 2 jumpers você pode selecionar qual canal UART (D0,D1,D2,D3) deseja usar para a comunicação com o Arduino (FILIPEFLOP, 2016)

Sua função seria de enviar os dados (tensão, corrente, potência e consumo em reais) por meio de uma mensagem SMS para o celular do consumidor, para isso seria necessário um cartão SIM desbloqueado. Algo que torna inviável a sua utilização no projeto é o seu custo tanto para obter o Shield quanto para seu uso, custos para enviar uma mensagem SMS como em qualquer aparelho celular. Por outro lado, ele consegue ser utilizado em uma grande variedade de lugares e uma grande área de alcance.

Figura 17 – Módulo GSM shield para Arduino + antena



Fonte: (FILIPE FLOP, 2016).

#### 6.4.2 Módulo Bluetooth HC-05

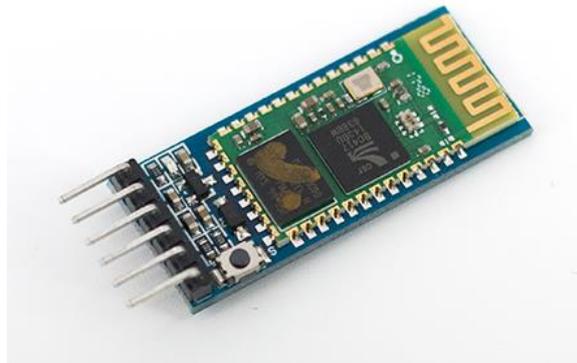
Este módulo Bluetooth RS232 HC-05 oferece uma forma fácil e barata de comunicação com seu projeto Arduino. Diferente do modelo HC-06, o módulo Bluetooth RS232 HC-05 suporta tanto o modo mestre como escravo, além de ter uma fácil configuração.

“Em sua placa existe um regulador de tensão e você poderá alimentar com 3.3 a 5v, bem como um LED que indica se o módulo está pareado com outro dispositivo. Possui alcance de até 10m” (FILIPE FLOP, 2016).

O módulo Bluetooth, visto na Figura 18, apresenta bons resultados e um bom preço no mercado, porém o seu alcance é muito menor comparado aos outros módulos. Por outro lado, essa curta distância e a forma como é feita a conexão do Bluetooth com outros aparelhos evita o vazamento de dados.

O sinal Bluetooth utiliza uma frequência de rádio de onda curta (2.4 GHz) para criar uma conexão á curta distância entre até 8 dispositivos, uma rede chamada piconet. Para aumentar essa quantidade de dispositivos é necessário sobrepor mais piconets através do método scatternet. Ambos módulos foram comparados no Quadro 2.

Figura 18 – Módulo bluetooth HC-05



Fonte: (FILIPE FLOP, 2016).

Quadro 2 – Comparação entre os módulos

MÓDULOS			
	ETHERNET SHIELD	BLUETOOTH HC-05	GMS GPRS SIM800L
PREÇO	ENTRE R\$60 E R\$70	ENTRE R\$40 E R\$50	ENTRE R\$100 E R\$170
ALCANCE	ALTO	BAIXO	ALTO
CUSTOS ADICIONAIS	SIM	NÃO	SIM
POSSIBILIDADE DE PERDER SINAL	MÉDIA	BAIXA	MÉDIA

Fonte: (OS AUTORES, 2020).

Foi escolhido o Ethernet Shield devido a sua diversidade, podendo criar uma rede local ou mandar dados para um banco na internet. Os custos adicionais dizem respeito a necessidade de um roteador para a rede e, caso seja feito um banco de dados online, uma

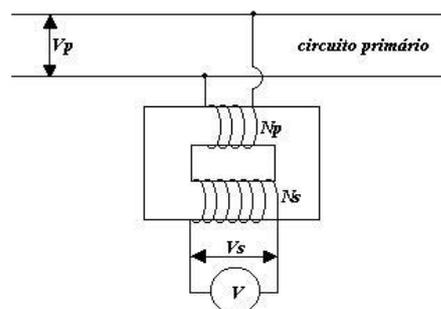
conexão com a internet. A possibilidade de perda de sinal é referente aos obstáculos e distâncias que o sinal Wifi está sujeito.

### 6.5 TRANSFORMADOR DE POTENCIAL (TP)

É um equipamento de medição cuja sua principal aplicação é na medição de tensões com valores elevados. Os TP's são dimensionados para suportarem uma sobretensão de 15% ou 90% de tensão primária nominal, com frequência nominal, sem exceder os limites de elevação de temperatura. Ele é capaz de reduzir a tensão do circuito para níveis compatíveis com a máxima tensão suportável pelos instrumentos de medição, ele consiste essencialmente de dois enrolamentos independentes sobre um núcleo de ferro, isso é, em seu circuito primário é conectada a tensão a ser medida, e no secundário será reproduzida uma tensão reduzida e diretamente proporcional a do primário. Essa proporcionalidade se da entre a tensão no primário sobre a tensão apresentada no secundário. Esse fundamento em qualquer transformador é uma constante chamada de relação de transformação (RT).

O enrolamento primário é uma indutância pura, nele a corrente fornecida pela fonte deve ser suficiente para suprir a indutância do Trafo e a potência fornecida ao secundário. Quando se aplica uma tensão alternada ao enrolamento primário, circulará uma corrente de magnetização, atrasada  $90^\circ$  devido a indutância do enrolamento que produzirá um fluxo magnético em fase com a corrente de magnetização. Este fluxo induzirá tensões no primário e no secundário, de mesma fase e de sentido contrário ( $180^\circ$ ). Quando se liga uma carga no secundário do transformador, ela interage com o mesmo passando a existir a corrente do secundário, que é a corrente de carga do circuito que está conectado ao mesmo.

Figura 19 – Ligação de um transformador de potencial



Fonte: (JAMIL HADDAD, 2006).

A Figura 19 representa, de forma simplificada, a ligação de um TP, que podem ser dimensionados para serem ligados entre fases e neutro, onde são normalmente dimensionados para uma tensão nominal secundária padronizada de  $115\text{ V}$  ou  $115/\sqrt{3}\text{ V}$  de aproximadamente. Quando a tensão aplicada no primário é menor ou maior que a nominal se obtém, no secundário, uma tensão menor ou maior que a nominal padronizada. A tensão nominal primária dependerá da tensão primária que será aplicada ao mesmo. As tensões máximas normalizadas dos TP's em kV rms são 0,6 - 1,2 - 7,2 - 15 - 25,8 - 36,2 - 72,5 até 765 kV.

## 6.6 SENSOR DE TENSÃO ZPT101B

O ZMPT101B, conforme Figura 20, é um módulo transformador de tensão AC capaz de verificar a existência e medir essa tensão alternada de até 250V em um determinado circuito. Além do Trafo de tensão de alta precisão que limita a tensão em até 2mA, ele também contém um circuito Amplificador operacional – LM 358 (amp-op) que nada mais é do que um circuito integrado (CI) que possui em sua composição interna resistores, capacitores e transistores, capaz de amplificar um sinal de entrada. O amp-op tem como principais características o alto ganho em malha aberta, resposta a altas frequências, alta impedância de entrada, baixa impedância de saída e baixa sensibilidade à temperatura.

Esse CI funciona de forma bem simples, quando um sinal é aplicado em sua porta não inversora, obviamente este sinal então não é invertido, porém ele sai amplificado, mas quando um determinado sinal é aplicado na entrada inversora, o sinal sai amplificado e invertido. Uma observação importante feita sobre os amp-op é em relação a sua saída. Ela depende da diferença de potencial entre a entrada inversora e a não inversora, multiplicado pelo respectivo ganho em malha aberta do amplificador, de forma que a tensão máxima de saída será a tensão de alimentação do amplificador. Da mesma simplicidade que é o funcionamento do sensor utilizado. Quando entra energia AC no circuito ele libera um valor de sinal X nos pinos, sempre que variar a tensão alternada a tensão de sinal também varia.

O sensor de tensão utilizado em nosso projeto foi escolhido devido a sua credibilidade e uma alta confiabilidade no mercado. Além dos componentes que coloca em prática esses requisitos, ele nos dá uma ótima opção de calibragem. Fazendo o papel de “medidor”, seja em uma alta ou baixa tensão sua saída analógica é ajustável com um potenciômetro na placa. Esse trimpot está ligado ao amp-op, na qual sua função é compensar o deslocamento dessa saída analógica. Importante destacar que para funcionar precisa ser alimentado com tensão DC de 5

a 30V com corrente máxima de 2mA, de forma a alimentar o CI do circuito por meio dos pinos VCC e GND. O fabricante aconselha como base/ponto de partida utilizar o valor de 211.6, porém esse valor pode variar, sendo necessário para a calibragem utilizar circuitos com tensões previamente conhecidas ou uma fonte de tensão ajustável.

O sensor pode vir de fábrica com parte da forma de onda cortada no semiciclo positivo, tendendo a formar uma onda quadrada e isto vai comprometer a leitura feita pelo pino analógico. Para que o sensor possa ter o máximo de precisão nas medições de tensão AC, é necessário fazer a calibração da forma de onda na saída do sensor a partir de um osciloscópio para que a mesma fique o mais próximo possível de uma senoide. Antes que ele seja conectado a rede (127v ou 220v) porém já conectado a um osciloscópio, observamos que ele possui um offset de 2,5v. Esse deslocamento se dá por conta de estarmos usando um microcontrolador que trabalha com uma tensão de 0 a 5v. E então, mostrando esse offset conseguimos verificar semiciclos negativos. Esses semiciclos negativos somados com o offset de 2,5v acabam ainda trafegando no quadrante positivo de tensão e então por isso que existe esse deslocamento.

De acordo com o fabricante, Qingxian Zeming Langxi Electronic, suas especificações são:

- Transformador: ZMPT101B;
- Tipo de sensor: detector de tensão / voltímetro;
- Tensão de alimentação do módulo: 5 a 30VDC;
- Tensão de entrada: 0 a 250VAC;
- Corrente de entrada nominal: 2mA;
- Corrente de saída nominal: 2mA;
- Proporção: 1000:1000;
- Faixa linear: 0-1000V;
- Linearidade: 0,2%;
- Isolamento tensão: 4000V;
- Precisão de leitura:  $\pm 1\%$ ;
- Temperatura de operação:  $-40^{\circ}$  a  $70^{\circ}$  celsius.

Figura 20 – Sensor de tensão ZMPT101B



Fonte: (QINGXIAN ZEMING LANGXI ELECTRONIC, 2016).

## 6.7 TRANSFORMADOR DE CORRENTE

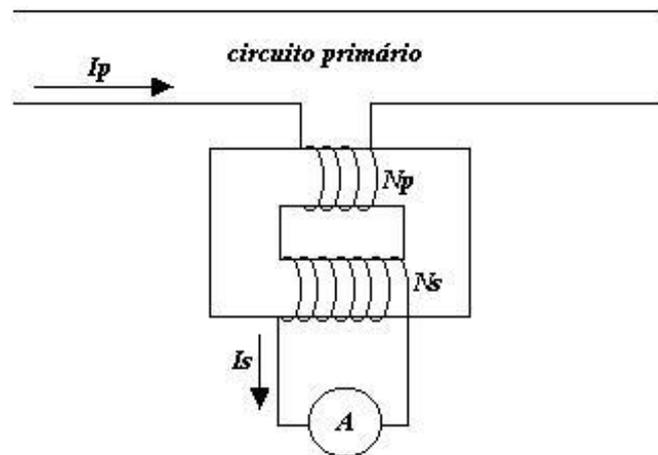
Também chamados de transformadores de instrumentos, é um equipamento cuja sua principal aplicação é na medição de valores elevados de corrente. O TC é um transformador comum, com características próprias para ser utilizado junto com outro aparelho de medição. Transformador que consiste em dois enrolamentos, primário e secundário, envolvidos em um núcleo metálico, sendo o enrolamento primário “ligado” em série ao circuito que se deseja medir a corrente enquanto o secundário é normalmente empregado para alimentar instrumentos elétricos de baixa impedância como instrumentos de medição ou de proteção. O enrolamento primário é ligado diretamente a um gerador de força eletromotriz alternada, ou seja, nele, forma-se uma corrente elétrica de intensidade e sentido variável, levando à geração de um campo magnético. Esse campo magnético é então concentrado e amplificado pelo núcleo férreo em direção ao enrolamento secundário, induzindo nele, geralmente, uma corrente menor.

Os TC's são dimensionados para uma corrente secundária nominal padronizada de 5A, a proporção entre as correntes primária e secundária depende da relação entre o número de voltas em cada um dos enrolamentos. Porém, a corrente nominal primária é determinada de acordo com a corrente do circuito em que o TC será ligado. Os transformadores de corrente mais utilizados são esses de corrente padronizada onde seus enrolamentos primários possuem uma quantidade menor de espiras, já no secundário possuem uma quantidade maior de enrolamentos, porém com fios mais finos.

Os TC's são comparados a transformadores de força que funcionam quase em curto-circuito. A maioria dos TCs são de polaridade subtrativa que é onde a corrente percorre do primário para o secundário e, a onda da corrente secundária tem a mesma trajetória de S1 para S2, caso ocorra de forma diferente é considerado como polaridade aditiva, mas neste caso só ocorre quando o transformador é feito sobre medida, pois a própria norma (NBR-6856) indica que seja usado transformadores de corrente com polaridade subtrativa.

As simbologias usadas (P1, P2, S1 e S2) são utilizadas para identificar as entradas e saídas de seus terminais de ligação de acordo com as características de construção do equipamento, conforme Figura 21.

Figura 21 – Ligação de transformador de corrente



Fonte: (JAMIL HADDAD, 2006).

## 6.8 SENSOR DE CORRENTE SCT 013-000

O sensor de corrente SCT 013-000, visto na Figura 22 e Figura 23, é um transformador de corrente não invasivo cuja operação é semelhante ao do alicate amperímetro. De maneira análoga ao sensor de tensão, a corrente lida é transformada proporcionalmente em níveis de operação do Arduino, que são até 50mA.

Suas especificações são:

- Entrada no primário: 100 A. Saída no secundário: 50mA;
- Fator K: 2000 (referente ao número de espiras do Trafo);
- Material do Core: Ferrite;
- Dielétrico: 6000V AC/1min;

- Taxa anti-chama: UL94-V0;
- Plug de saída: 3,5mm;
- Dimensão abertura: 13 x 13mm;
- Temperatura de trabalho: -25 a +70°C;
- Comprimento do cabo: 150cm.

Sua faixa de operação é não linear em 3% e tem uma taxa de variação de seu valor nominal que vai de 10% a 120%, equivalente a 10 A até 120 A, isso significa que essa faixa são os melhores valores para se trabalhar.

Figura 22 – Sensor de corrente SCT-013-000



Fonte: (QINGXIAN ZEMING LANGXI ELECTRONIC, 2016).

Figura 23 – Bobina do sensor de corrente



Fonte: (OS AUTORES, 2020).

O SCT-013 é um sensor bastante versátil, muito utilizado em projetos didáticos, na medição de corrente. Tem como principal vantagem o fato de ser um sensor não invasivo, isto é, o fato de não precisar de contato elétrico com o circuito, não precisar abrir o circuito para

ligá-lo em série com a carga, basta apenas “abraçar” um dos fios ligados ao equipamento a ser monitorado.

Para fazer a medição da corrente sem a necessidade de contato elétrico com o circuito esse sensor aproveita das propriedades magnéticas da corrente elétrica. Uma delas é explicada pela Lei de Ampère que cita a existência de um campo magnético, proporcional, ao redor de um fio quando esse é percorrido por uma corrente elétrica. E a Lei de Faraday, conhecida como lei da indução eletromagnética, enuncia que um campo magnético que varia ao longo do tempo induz em uma espira uma força eletromotriz que gera uma corrente elétrica proporcional a intensidade do campo magnético.

Existem dois tipos de TC's: split-core (núcleo dividido) e solid-core (núcleo sólido ou núcleo anel), por conta disso o sensor leva a sigla SCT (plit-core Current Transformer) como nome.

Para fazer as medições o sensor possui uma bobina interna e um circuito bem simples em sua estrutura. Diante disso, foram criados diferentes tipos de sensores não-invasivos, conforme Tabela 6.

Tabela 6 – Modelo de sensores de correntes

MODELOS DE SENSORES DE CORRENTE		
MODEL	IMPUT CURRENT	OUTPUT TYPE
SCT-013-000	0 - 100A	0 - 50mA
SCT-013-005	0 - 5A	0 - 1V
SCT-013-010	0 - 10A	0 - 1V
SCT-013-015	0 - 15A	0 - 1V
SCT-013-020	0 - 20A	0 - 1V
SCT-013-025	0 - 25A	0 - 1V
SCT-013-030	0 - 30A	0 - 1V
SCT-013-050	0 - 50A	0 - 1V
SCT-013-060	0 - 60A	0 - 1V
SCT-013-000V	0 - 100A	0 - 1V

Para achar um sensor com mais eficácia para nosso projeto, foi analisado, através dessa tabela, o principal item: corrente eficaz máxima a ser medida (Input current). Que nesse caso ele poder medir valores de 0 até 100A de corrente alternada. E para sabermos qual será a taxa variação tanto de corrente quanto de tensão basta dividirmos o valor máximo da saída pelo valor máximo a ser medido. O cálculo feito para SCT-013-000 foi 0,05 dividido por 100, resultando, portanto, em 0,5 mA.

Então, a cada um Ampere a mais ou a menos, sua saída será de 0,5mA para mais ou a menos.

Como o Arduino só lê valores de tensão, é preciso montar um circuito auxiliar para que assim possa converter os valores de corrente gerado pelo sensor em valores de tensão.

O sensor escolhido é calibrado para efetuar uma medição de uma corrente de 100A. Esse valor, conhecido como Valor Eficaz (RMS), é igual ao máximo valor que a corrente pode alcançar (corrente de pico). Dada pelo valor medido multiplicado por  $\sqrt{2}$ . Sendo assim, temos a corrente de pico máxima medida de 141.4A.

Levando em conta os cálculos feitos, sabemos que para uma corrente de 100A no primário, ele produz 50mA no secundário. Então se fizermos uma relação de transformação:

$$N1/N2=I2/I1 \quad (1)$$

Onde:

I1 = corrente no primário (corrente a ser medida);

I2 = corrente no secundário;

N1 = número de voltas do primário;

N2 = número de voltas do secundário.

Temos um resultado de 2000 espiras no secundário.

Sabendo que a corrente na saída do sensor é inversamente proporcional ao número de espiras, temos:

$$Is=Im/Ns \quad (2)$$

Onde:

Is = corrente no sensor;

Im = corrente medida;

Ns = Número de espiras no secundário.

$$Is= 141,4A / 2000$$

$$Is = 0,0707A$$

Sabendo que o Arduino em sua pinagem de entrada analógica só realiza a leitura de níveis de tensão, começamos essa conversão adicionando, no circuito transdutor, um resistor de carga entre os polos do sensor, que basicamente servira para tirar a tensão de pico e ajudar na regulagem já que o sensor oferece uma variação de corrente na sua saída. Esse cálculo do

resistor, para melhorar a resolução da medição, a voltagem deve ser igual a metade da tensão de referência do Arduino:

$$R_c = V_s / I_s \quad (3)$$

Onde:

$R_c$  = Resistor de carga;

$V_s$  = Tensão sensor;

$I_s$  = Corrente sensor.

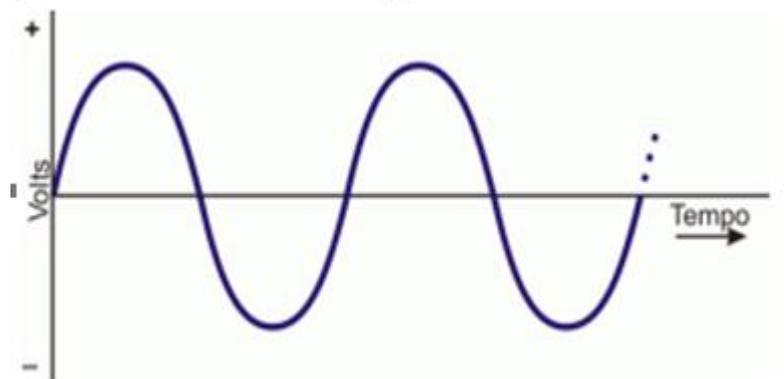
$$R_c = 2,5 / 0,0707$$

$$R_c = 35,4 \, \Omega$$

(Usado resistor de  $33\Omega$  – Valor Comercial)

Sabendo que a tensão de saída do sensor é regulada pelo resistor de carga, temos um sinal de tensão alternada variando entre 2,5V positivo e 2,5V negativo, como visto na Figura 24.

Figura 24 – Forma de onda da tensão no resistor de carga

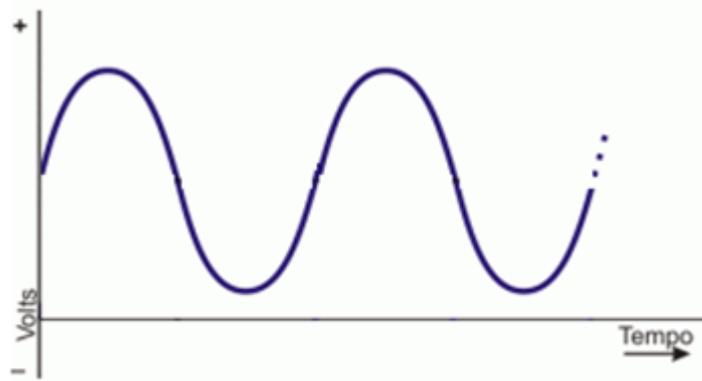


Fonte: (VIDA DE SILICIO, 2019).

O Arduino não pode medir tensão negativa, então é necessário somar 2,5 V ao sinal para que ele varie entre 0V a 5V. Para isso, o primeiro passo é que seja feito um divisor de tensão simétrico usando a alimentação de 5V fornecido pelo Arduino. Assim, consideramos  $R_1$  e  $R_2$  iguais a  $10k\Omega$ , e com isso, a tensão sobre eles será igual, pois os 5V provenientes do Arduino se dividirá igualmente entre eles. Além disso, foi colocado para filtrar essa tensão, um capacitor entre o GND e a saída de 2,5V no meio do divisor. Esse circuito, chamado de

offset, funciona de modo semelhante a uma bateria com tensão de 2,5V que adiciona essa tensão a fonte AC, conforme Figura 25.

Figura 25 – Forma de onda com offset



Fonte: (VIDA DE SILICIO, 2019).

## 6.9 PROGRAMAÇÃO ARDUINO

Figura 26 – Primeira parte da programação

```
// Inclusão das bibliotecas
#include <SPI.h>
#include <Ethernet.h>
#include <SD.h>
#include "EmonLib.h"

#define VOLT_CAL 501.2 // Variável de calibração do sensor de tensão
#define CURRENT_CAL 45.6 // Variável de calibração do sensor de corrente

EnergyMonitor emon1; // Cria uma instância

//Define o tamanho do buffer usado para capturar solicitações HTTP
#define REQ_BUF_SZ 50

//Endereço MAC do Shield Ethernet Onboard
byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED };
IPAddress ip(192, 168, 1, 57); // Endereço IP, pode ser necessário alterar dependendo da rede
EthernetServer server(80); // Cria um servidor na porta 80
File webFile; // O arquivo da página da web no cartão SD
char HTTP_req[REQ_BUF_SZ] = {0}; // Solicitação HTTP em buffer armazenada como sequência terminada nula
char req_index = 0; // Indexa no buffer HTTP_req

void setup()
{
  emon1.voltage(1, VOLT_CAL, 1.7); // Tensão: pino de entrada, variável de calibração, fase_mudança
  emon1.current(2, CURRENT_CAL); // Corrente: pino de entrada, variável de calibração.
  // Desabilita Ethernet Shield
  pinMode(10, OUTPUT);
  digitalWrite(10, HIGH);
  Serial.begin(9600); // Para depuração
}
```

Fonte: (OS AUTORES, 2020).

Figura 27 – Segunda parte da programação

```

// Inicializa o cartão SD
Serial.println("Iniciando o SD card...");
if (!SD.begin(4)) {
    Serial.println("ERRO - inicialização do SD card falhou!");
    return;
}
Serial.println("SUCESSO - SD card inicializado");
// checa o arquivo index.htm
if (!SD.exists("index.htm")) {
    Serial.println("ERRO - Arquivo index.htm não encontrado!");
    return; // Se não encontrar o arquivo index.html
}
Serial.println("SUCESSO - Arquivo index.htm encontrado.");

Ethernet.begin(mac, ip); // Inicializando o Shield Ethernet
server.begin(); // Inicia e aguarda conexão de cliente

}

void loop()
{

EthernetClient client = server.available(); // Tentativa de obter o client

if (client) { // Se obteve cliente
    boolean currentLineIsBlank = true;
    while (client.connected()) {
        if (client.available()) { // Dados do cliente disponíveis para leitura
            char c = client.read(); // Lê 1 byte (caractere) do cliente
            // Buffer primeira parte da solicitação HTTP na matriz HTTP_req (string)
            // Deixa o último elemento na matriz como 0 para a sequência de terminação nula (REQ_BUF_SZ - 1)
            if (req_index < (REQ_BUF_SZ - 1)) {
                HTTP_req[req_index] = c; // Salva o caractere de solicitação HTTP
                req_index++;
            }
        }
    }
}
}

```

Fonte: (OS AUTORES, 2020).

Figura 28 – Terceira parte da programação

```

// A última linha da solicitação do cliente está em branco e termina com \ n
// Responde ao cliente somente após a última linha recebida
if (c == '\n' && currentLineIsBlank) {
  // Envia um cabeçalho de resposta http padrão
  client.println("HTTP/1.1 200 OK");
  // O restante do cabeçalho segue abaixo, dependendo se página da web ou página XML é solicitada
  // Solicitação Ajax - envia arquivo XML
  if (StrContains(HTTP_req, "ajax_inputs")) {
    // Envia o restante do cabeçalho HTTP
    client.println("Content-Type: text/xml");
    client.println("Connection: keep-alive");
    client.println();
    // Envia arquivo XML contendo estados de entrada
    XML_response(client);
  }
  else { // Se houver a solicitação de página da web envia o restante do cabeçalho HTTP
    client.println("Content-Type: text/html");
    client.println("Connection: keep-alive");
    client.println();
    // Envia a página da web
    webFile = SD.open("index.htm"); //Abre o arquivo index.html do SD card
    if (webFile) {
      while(webFile.available()) {
        client.write(webFile.read()); // Envia a web page para o cliente
      }
      webFile.close();
    }
  }
}

```

Fonte: (OS AUTORES, 2020).

Figura 29 – Quarta parte da programação

```

        Serial.print(HTTP_req);
        // Redefine o índice do buffer e todos os elementos do buffer para 0
        req_index = 0;
        StrClear(HTTP_req, REQ_BUF_S2);
        break;
    }
    // Toda linha de texto recebida do cliente termina com \ r \ n
    if (c == '\n') {
        // Último caractere na linha do texto recebido
        // Iniciando nova linha com o próximo caractere lido
        currentLineIsBlank = true;
    }
    else if (c != '\r') {
        // Um caractere de texto foi recebido do cliente
        currentLineIsBlank = false;
    }
}
}
delay(1); // Dá tempo ao navegador da Web para receber os dados
client.stop(); // Encerra a conexão
}

emon1.calcVI(20,1000); // Calcula todo o número de meio comprimento de onda, intervalo

float currentDraw      = emon1.Irms; // Extrai o valor Irms para dentro da variável
float supplyVoltage    = emon1.Vrms; // Extrai o valor Vrms para dentro da variável
float potencia = currentDraw*supplyVoltage; // Realiza o cálculo da potência através da fórmula P=V*I
delay (1000);

```

Fonte: (OS AUTORES, 2020).

Figura 30 – Quinta parte da programação

```
}  
  
// Envia o arquivo XML contendo os valores das variáveis para a web page  
void XML_response(EthernetClient cl)  
{  
  
    cl.print("<?xml version = \"1.0\" ?>");  
    cl.print("<inputs>");    // Avisar a página Web que as variáveis são exibidas  
  
    cl.print("<analog>");    //Exibe na página Web o valor da potência  
    cl.print(potencia);  
    cl.print("</analog>");  
  
    cl.print("<analog>");    //Exibe na página Web o valor da tensão  
    cl.print(supplyVoltage);  
    cl.print("</analog>");  
  
    cl.print("<analog>");    //Exibe na página Web o valor da corrente  
    cl.print(currentDraw);  
    cl.print("</analog>");
```

A biblioteca EmonLib.h é utilizada para ambos os sensores, tensão e corrente, e apresenta uma estrutura amigável para a implementação em projetos.

A biblioteca SD.h é utilizada para o reconhecimento do cartão SD conectado ao Ethernet Shield. É nesse cartão que está armazenado o código para a página Web.

A biblioteca Ethernet.h serve para a utilização do Ethernet Shield.

A biblioteca SPI.h, em inglês Serial Peripheral Interface, é usado por microcontroladores para comunicação com um ou mais dispositivos periféricos rapidamente em distâncias curtas. Ele pode também ser usado para comunicação entre dois microcontroladores. O sketch pode ser visto em Figura 26, Figura 27, Figura 28, Figura 29 e Figura 30.

Depois de criadas as variáveis de calibração, elas serão associadas aos pinos correspondentes e logo após, criada uma nova variável englobando o pino e a calibração, são elas `emon1.voltage` e `emon1.current`.

Em seguida serão realizadas as configurações para inicialização do cartão SD, da comunicação do Ethernet Shield, o protocolo de comunicação com o XML e a forma como será visualizada a página, além das mensagens que serão geradas caso ocorra algum erro.

Depois serão calculadas a corrente e a tensão em rms utilizando 1000 amostras através do `emon1.calcVI`, `emon1.Irms` e `emon1.Vrms`, obtendo-se finalmente os valores da corrente e tensão, que serão colocadas respectivamente nas variáveis `currentDraw` e `supplyVoltage`. A potência será obtida pelo produto da `currentDraw` e da `supplyVoltage`.

A tensão do tp é medida através da tensão proporcional da relação de espiras do tp e enviada na entrada analógica do Arduino. Já o sensor de corrente gera uma corrente proporcional, porém o Arduino só consegue ler variação de tensão, portanto foi feito um circuito transdutor para gerar uma tensão que pudesse ser lida no Arduino.

Por fim os valores de tensão, corrente e potência serão expressos no navegador por meio do comando `cl.print`.

## 6.10 HTML

“HTML é um acrônimo para HyperText Markup Language, que em português quer dizer linguagem de marcação de hipertexto. Se trata de uma linguagem de marcação que usamos para publicarmos conteúdo (texto, imagem, áudio e etc) na Web” (ED FRANCISCO, 2018).

O HTML é utilizado para que o navegador o interprete, mostrando como a página web será estruturada e como será exibido seu conteúdo. Sua escrita é simples e pode ser feita em vários tipos de editores de texto, como por exemplo Sublime Text, Notepad++ e até mesmo no bloco de notas básico que vem no Windows.

Muitas vezes o HTML é confundido como uma linguagem de programação, porém ele não possui itens necessários para ser considerado como tal, como por exemplo a ausência de operadores lógicos, variáveis, funções, entre outros. Porém essa ausência de ações pode ser suprida pelo JavaScript anexado ao HTML, assunto que será abordado mais a diante.

A sua estrutura básica pode ser observada na Figura 31.

Figura 31 – Estrutura básica do HTML

```
<!DOCTYPE HTML>
<HTML>
<HEAD> Contém dados de controle
<TITLE> Título da página </TITLE>
</HEAD>
<BODY>
<SCRIPT> Introdução do JavaScript </SCRIPT>
```

Página Web em si

```
</BODY>
</HTML>
```

Fonte: (OS AUTORES, 2020).

- **Doctype:** utilizado para mostrar ao navegador que o código a seguir é o código HTML e como agir;
- **<HTML>:** representa a raiz, a parte mais importante do documento, isto é, todos os demais elementos devem estar entre `<html>` e `</html>`;
- **<HEAD>:** local onde se encontra as informações sobre o documento, como por exemplo título, folhas de estilo e o endereço do arquivo que contém o JavaScript caso ele não seja escrito no mesmo arquivo do HTML;
- **<TITLE>:** através desse comando se é definido o título do documento, ficará na barra de título do navegador ou na aba da página;
- **<BODY>:** define o corpo do documento, isto significa que as informações contidas nessa tag serão mostradas no navegador. Nesta tag que deve ser inserida as imagens e os textos que serão mostrados na página;
- **<SCRIPT>:** nesta tag será escrita a programação do JavaScript. Há também a possibilidade do JavaScript estar presente em um outro arquivo. Para anexá-lo ao HTML é necessário utilizar o comando `<script src="nome do arquivo"></script>`. Vale ressaltar que o arquivo deve estar no formato `.js` para ser considerado como JavaScript;
- **<PRE>:** é utilizado para representar um texto pré-formatado, ou seja, para que o texto fique exatamente como foi digitado no editor de texto, pois o navegador interpreta o código como uma única linha e com a tag `<pre>` os espaços e “enters” utilizados serão considerados na representação do texto no navegador;
- **<SPAN>:** serve para realizar modificações de estilo, atribuir valores a uma variável em um trecho específico do código;
- **<ID>:** é uma forma de identificar um elemento estrutural, de forma única para cada elemento, para atribuir formatação ou buscar variável a um elemento estrutural em especial;
- **<CANVAS>:** utilizado para desenhar em forma de script, podendo desenhar gráficos, fazer composições de fotos ou simples animações;
- **<H1>:** utilizado para diferenciar o título principal do restante do conteúdo. Seus valores são de `<H1>` até `<H6>`, onde o `<H1>` é o nível mais alto e o `<H6>` o mais baixo;
- **<ONLOAD>:** é um atributo de evento que instrui o navegador a rodar um script ou um conjunto de ações tal como uma função;

- **<HR>**: utilizado para inserir uma linha horizontal na página HTML, possuindo comandos como por exemplo size, responsável pela altura da linha, e color, que define a cor que a linha assumirá.

Notas:

- Comando **<CANVAS>** associado ao comando **<ID>** resulta em modificações visuais no elemento selecionado;
- Comando **<SPAN>** associado ao comando **<ID>** atribui o valor da variável em uma parte específica do código.

## 6.11 JAVASCRIPT

“JavaScript é uma linguagem de programação, leve, interpretada, orientada a objetos, baseada em protótipos e em first-class functions (funções de primeira classe), mais conhecida como a linguagem de script da Web” (MOZILLA FOUNDATION).

A linguagem JavaScript foi criada pela NetScape para transformar as páginas HTML, até então estáticas, em algo dinâmico sem precisar buscar informações no servidor, fazendo-se uso do navegador (lado do usuário).

Apesar de nomes semelhantes, JavaScript e Java utilizam linguagens de programação e finalidades totalmente diferentes. Essa semelhança entre os nomes foi uma jogada de marketing por parte da NetScape, criadora do JavaScript.

O JavaScript tem como característica rodar localmente, ou seja, do lado do cliente, ao invés de rodar à distância, em servidores na internet. Interage com o conteúdo escrito em HTML, dando mais dinâmica com animações, permitir a interação de formulários, transformação de dados enviados e recebidos, além de estilizar o conteúdo da página através do CSS.

Um grande avanço, com o surgimento do JavaScript, foi a possibilidade de atualizar os dados, imagens, envio de informações sem necessariamente ter que recarregar a página, ou seja, antes do JavaScript as páginas eram “atualizadas” através de várias ações de redirecionamento para outros links (outras páginas HTML). Uma dessas técnicas se chama AJAX, que significa Asynchronous JavaScript and XML, que traduzindo para o português significa JavaScript e XML Assíncronos, que permite que aplicações trabalhem de modo assíncrono, processando qualquer requisição ao servidor em segundo plano.

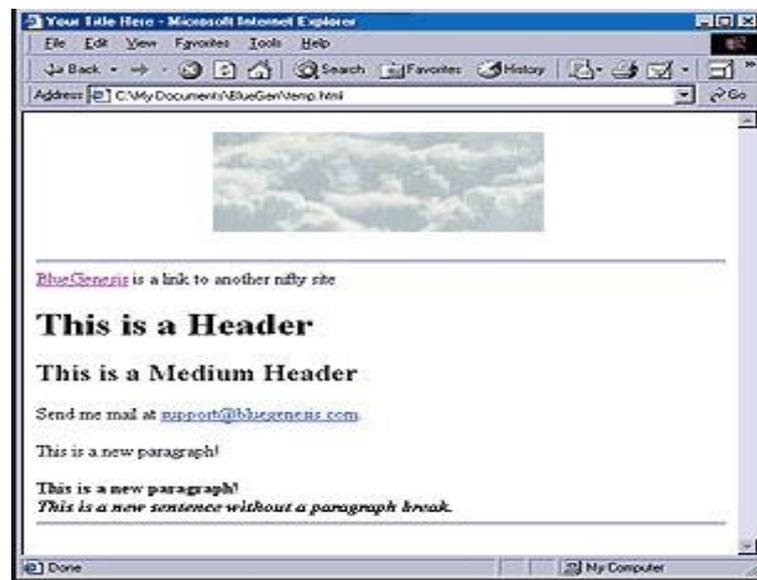
“O XML, eXtensible Markup Language, é uma variação de linguagem de marcação semelhante ao HTML, focado mais para armazenar e transmitir dados. Qualquer aplicação

que use AJAX pode enviar e receber dados do servidor sem precisar recarregar a página inteira” (HOSTINGER, 2019).

O AJAX se comporta da seguinte maneira:

- O navegador utilizado gera um chamado do JavaScript e ativa o XMLHttpRequest;
- O navegador cria uma requisição HTTP para o servidor;
- O servidor recebe a requisição, busca os dados e envia para o navegador;
- O navegador recebe os dados que irão aparecer imediatamente na página, não sendo necessário recarregar, conforme Figura 32.

Figura 32 – Exemplo de página simples com HTML e Javascript



Fonte: (NETSCAPE, 2003).

## 6.12 CÓDIGO UTILIZADO NO PROJETO

Figura 33 – Primeira parte programação HTML

```

<!DOCTYPE html>
<html>
  <head>
    <title>Arduino Ajax Two Dial</title>
    <script>
      var data_val = 0;
      var data_val2 = 0;
      var data_val3 = 0;
    </script>

    <!-- Gauge Code Starts -->
    var Gauge=function(b){function l(a,b){for(var c in b)"object"==typeof b[c]&&"object Array"!==Object.prototype.toString.call(b[c])&&a.delta?M[a.delta](c):a.step(f);1==c&&clearInterval(G),a.delay||10}function k(){G&&clearInterval(G);"rgba(0, 0, 0, 0.5)";a.beginPath();a.arc(0,0,m,0,2*Math.PI,!0);a.fillStyle=g("#ddd","#aaa",m);a.fill();a.restore();a.(h=-1<a.indexOf(".")>-1<a.indexOf("-")>?"-":+(b.majorTicksFormat["int"]+b.majorTicksFormat.dec+2+(h?1:0)-a.length)+a.rep1))),a.beginPath(),a.moveTo(0,m),a.lineTo(0,m-15*(f/100)),a.stroke(),a.restore(),a.save();b.strokeTicks&&(a.rotate(e(F(m,e(45+h*(270/(b.majorTicks.length-1)))));a.font=20*(f/200)+"px Arial";a.fillStyle=b.colors.numbers;a.lineWidth=0;a.tMath.sin(b),f=Math.cos(b);return{x:0*f-a*c,y:0*c+a*f}}function N(){a.save();for(var m=81*(f/100),h=m-15*(f/100),c=0,g=a.beginPath();a.rotate(e(90));a.arc(0,0,h,k-0.2,r+0.2,!1);a.restore();a.closePath();a.fillStyle=b.colors.plate;a.fill(0);a.lineTo(-1,c);a.lineTo(1,c);a.lineTo(k,0);a.lineTo(r,-d);a.closePath();a.fillStyle=g(b.colors.needle.start,b.colorfunction L(){a.save();a.font=40*(f/200)+"px Led";var b=x(y),h=a.measureText("-"+x(0)).width,c=f-33*(f/100),g=0.12*f;a.2,f/10,0,c-0.12*f-0.025*f+(0.12*f+0.045*f)/2,f/5);d.addColorStop(0,"#888");d.addColorStop(1,"#666");a.strokeStyle=d;a.maxValue:100,minValue:0,majorTicks:[],minorTicks:10,strokeTicks:!0,units:!1,valueFormat:{"int":3,dec:2},majorTicksFormfunction(a){n=b.animation?y:a;var d=(b.maxValue-b.minValue)/100;I=a>b.maxValue?b.maxValue+d:a<b.minValue?b.minValue-d:y=b.minValue;if(!b.renderTo)throw Error("Canvas element was not specified when creating the Gauge object!");var z=b.rec=1::h+=c.c/=2)if(a>=(7-4*h)/11){a=-Math.now/(11-6*h-11*a)/4.2)+Math.now(c.2):break a}a=void 0}return 1-a}.elastic:fun
    Fonte: (OS AUTORES, 2020).
  
```

Figura 34 – Segunda parte programação HTML

```

a.fillStyle=b.colors.units,a.textAlign="center",a.fillText(b.units,0,f/3.25),a.restore());A.i8d=!0;a.g.ctx;delete g.cl
(function(){var b=document,l=b.getElementsByTagName("head")[0],q=-1!=navigator.userAgent.toLocaleLowerCase().indexOf('
var e=b.createElement("div");e.style.fontFamily="Led";e.style.position="absolute";e.style.height=e.style.width=0;e.sty
Gauge.Collection.get=function(b){if("string"==typeof b)for(var l=0,q=this.length;l<q;l++){if((this[l].config.renderTo
domReady(function(){function b(b){for(var e=b[0],d=1,g=b.length;d<g;d++)e+=b[d].substr(0,1).toUpperCase()+b[d].substri
g.substr(0,5)}var d=g.substr(5,g.length-5).toLowerCase().split("-");if(g=k.getAttribute(g))switch(d[0]){case "colors'
s[0]&&"!s[0]&&(x.from=s[0]);s[1]&&"!s[1]&&(x.to=s[1]);s[2]&&"!s[2]&&(x.color=s[2]);e.highlights.push(x)}break;ca
e[d]=g}}e=new Gauge(e);k.getAttribute("data-value")&&e.setRawValue(parseFloat(k.getAttribute("data-value")));k.getAttr
<!-- Gauge Code Ends -->
  
```

```

function GetArduinoInputs()
{
  nocache = "&nocache=" + Math.random() * 1000000;
  var request = new XMLHttpRequest();
  request.onreadystatechange = function()
  {
    if (this.readyState == 4) {
      if (this.status == 200) {
        if (this.responseXML != null) {
          document.getElementById("input4").innerHTML =
            this.responseXML.getElementsByTagName('analog')[1].childNodes[0].nodeValue;
          document.getElementById("input5").innerHTML =
            this.responseXML.getElementsByTagName('analog')[2].childNodes[0].nodeValue;
          document.getElementById("input3").innerHTML =
            this.responseXML.getElementsByTagName('analog')[0].childNodes[0].nodeValue;
        }
      }
    }
  }
}
  
```

```

        data_val2 = this.responseXML.getElementsByTagName('analog')[1].childNodes[0].nodeValue;
        data_val3 = this.responseXML.getElementsByTagName('analog')[2].childNodes[0].nodeValue; }6
        data_val = this.responseXML.getElementsByTagName('analog')[0].childNodes[0].nodeValue;
    }
}
}
}
}
request.open("GET", "ajax_inputs" + nocache, true);
request.send(null);
setTimeout('GetArduinoInputs()', 1000); }7
}
</script>
</head>
<body onload="GetArduinoInputs()"> 8
    <h1>Medidor de gasto de Energia em tempo real</h1>
    <HR SIZE=18 font color=#4682B4>
    9 { <canvas id="an_gauge_2" data-major-ticks="0 50 100 150 200 250 300" data-type="canv-gauge" data-min-value="0" data-max-value="300" data-onready="setI
        <canvas id="an_gauge_3" data-major-ticks="0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5" data-type="canv-gauge" data-min-value="0" data-max-value="30" data-onready="setInter
        <canvas id="an_gauge_1" data-major-ticks="0 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500 550" data-type="canv-gauge" data-min-value="0" data-max-value="550
<pre> 10 Tensao(V): <span id="input4">...</span>      Corrente(A): <span id="input5">...</span>      Potencia(W): <span id="input3">...</span>
    <HR SIZE=18 font color=#4682B4>
    </body>
</html>

```

Fonte: (OS AUTORES, 2020).

No código HTML, as linhas de comando essenciais foram enumeradas, conforme Figura 33 e Figura 34. São elas:

1. São criadas variáveis;
2. É iniciado o código para a geração dos gauges;
3. Criada a função no JavaScript para se obter as variáveis vindas do Arduino;
4. Procedimento AJAX iniciando com new XMLHttpRequest;
5. São identificados os pinos e os dados neles transmitidos, definindo o que cada gauge irá representar;
6. Os dados obtidos são associados às variáveis criadas no item 1;
7. Definido o tempo para atualizar os dados, nesse caso 1000 milissegundos;
8. Faz com que a função do item 3 seja executada dentro do BODY do HTML;
9. Responsável pela formatação do gauge, como por exemplo faixa de valores estabelecida, valor máximo e mínimo, entre outro;
10. São expressas as variáveis de forma numérica, os valores expressos nessas linhas são os mesmos do gauges.

Foi utilizado a programação AJAX e HTML para a programação do gauge, cuja atualização ocorre a cada 1000 milissegundos. O Arduino acoplado ao Ethernet Shield irá mandar para a página Web os valores da corrente, tensão e potência em tempo real. A página Web está dentro do cartão SD e vai transformar as informações em pacotes XML que serão enviados por meio do AJAX para os gauges poderem representar os valores.

Gauges são medidores cujo ponteiro variam de acordo com a variação da variável a qual ele está conectado, neste caso as variáveis são os sinais dos pinos analógicos que estão realizando as leituras de tensão e corrente. O gauge utilizado é disponibilizado pelo MIT, Massachusetts Institute of Technology, para fins educacionais e open source.

O gauge referente a potência está conectado ao resultado da fórmula da potência, realizada no Arduino.

$$P = V \cdot I \quad (4)$$

Onde:

P = potência;

V = tensão;

I = corrente.

### 6.13 MYSQL

O sistema foi criado pela MySQL AB em 1995, que posteriormente foi comprada pela Sun Microsystems e em 2010 foi comprada pela Oracle Corporation. Foi mantido a versão para comunidade, porém o uso dos seus produtos foram se tornando cada vez mais restritos até que os desenvolvedores criaram o projeto MariaDB e continuar o desenvolvimento da versão 5.1 de maneira gratuita.

O MySQL é um sistema gerenciador de banco de dados relacional de código aberto usado na maioria das aplicações gratuitas para gerir suas bases de dados. O serviço utiliza a linguagem SQL (Structure Query Language – Linguagem de Consulta Estruturada), que é a linguagem mais popular para inserir, acessar e gerenciar o conteúdo armazenado num banco de dados (MySQL, 2019).

Por meio do MySQL é possível criar um banco de dados, chamado DATABASE, para armazenar informações e posteriormente consulta-las e gerencia-las. Cada banco de dados apresenta várias tabelas semelhantes às do Excel, fazendo um comparativo as colunas do

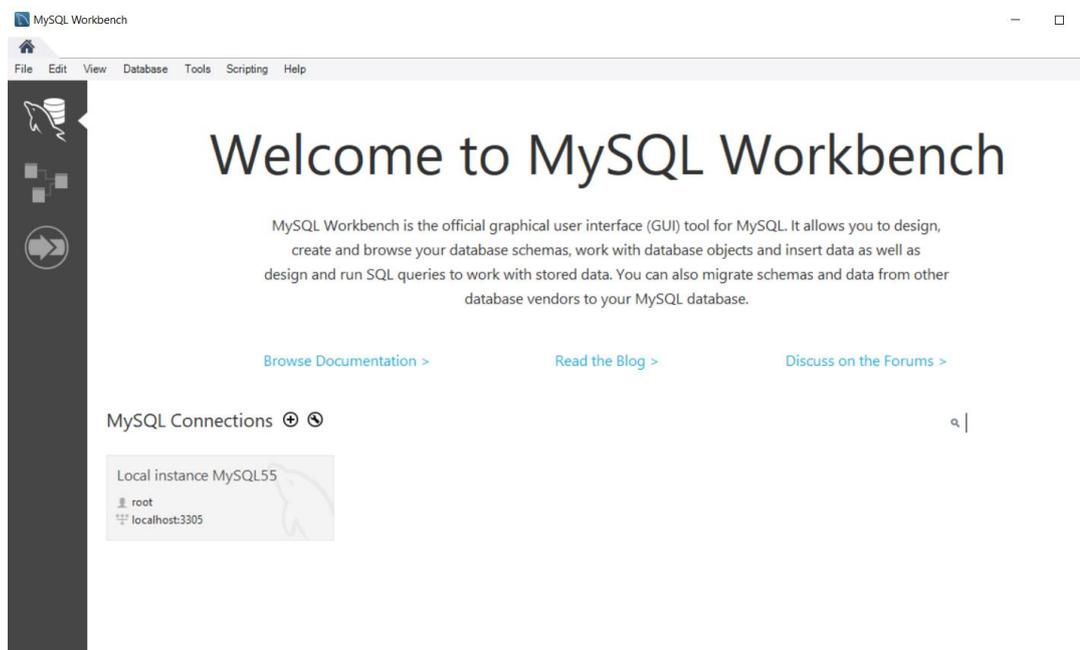
Excel correspondem no banco de dados como campos e as linhas do Excel correspondem aos registros do banco de dados.

A solicitação feita pelo cliente é através de uma interface de usuário e o servidor vai realizar as buscas no banco de dados. A forma como a busca é estruturada interfere diretamente no desempenho do banco de dados, sendo assim necessário recorrer a tabelas verdadeiras para escolher a melhor opção. Esse procedimento é recomendado para bancos com muitos registros, uma vez que o sistema irá percorrer um grande número de elementos em busca do que foi solicitado.

Os principais processos realizados, em ordem sequencial e conforme Figura 35 e Figura 36, pelo MySQL são:

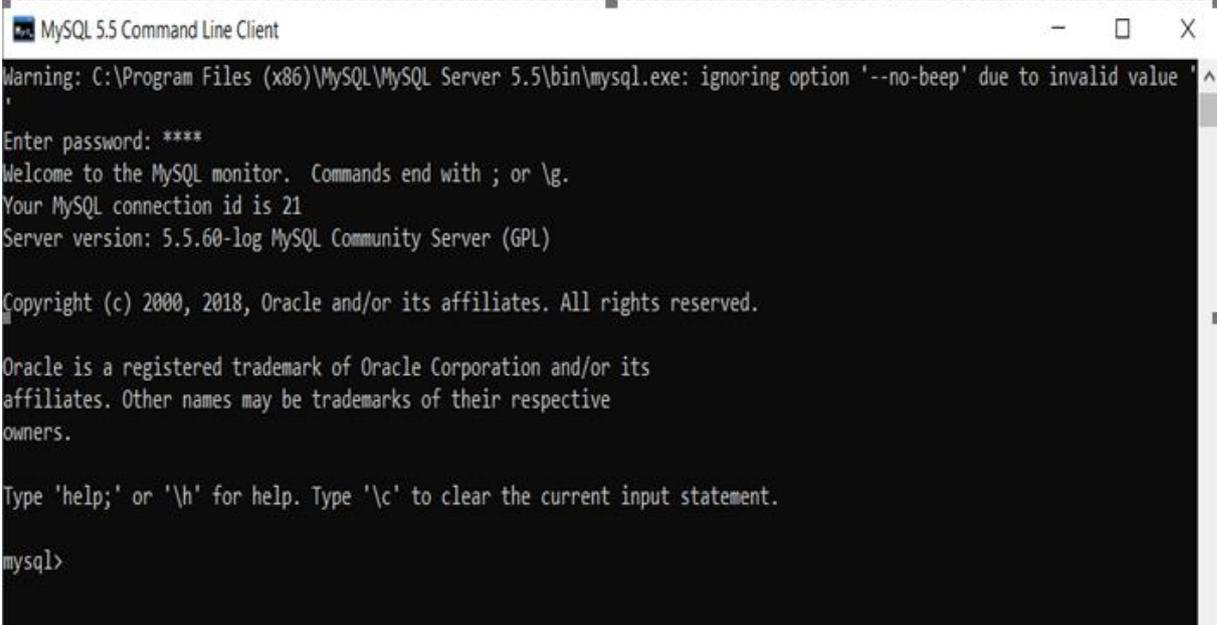
1. É criado um banco de dados para armazenar e manipular os dados de cada tabela;
2. Os clientes fazem solicitações através de comandos na linguagem SQL no MySQL. O MySQL apresenta alguns comandos únicos que não funcionariam em outros bancos de dados;
3. A solicitação realizada gera uma resposta do servidor com as informações requisitadas.

Figura 35 – MySQL Workbench



Fonte: (OS AUTORES, 2020).

Figura 36 – MySQL Command



```
Warning: C:\Program Files (x86)\MySQL\MySQL Server 5.5\bin\mysql.exe: ignoring option '--no-beep' due to invalid value '
Enter password: ****
Welcome to the MySQL monitor.  Commands end with ; or \g.
Your MySQL connection id is 21
Server version: 5.5.60-log MySQL Community Server (GPL)

Copyright (c) 2000, 2018, Oracle and/or its affiliates. All rights reserved.

Oracle is a registered trademark of Oracle Corporation and/or its
affiliates. Other names may be trademarks of their respective
owners.

Type 'help;' or '\h' for help. Type '\c' to clear the current input statement.

mysql>
```

Fonte: (OS AUTORES, 2020).

## 6.14 PHPMYADMIN

É um aplicativo de código aberto desenvolvido em PHP para administração do MySQL via Internet.

O phpMyAdmin permite a criação, gerenciamento, alteração, entre outras ações sem precisar utilizar comandos em SQL, o que torna sua utilização mais prática.

Tem como vantagens a administração do bando de dados por meio da interface web, carregar arquivos de textos para tabelas, exportar e importar dados. Uma função bastante interessante é a possibilidade de criar gráficos PDF do layout dos bancos de dados.

Para acessar o phpMyAdmin basta clicar no ícone phpMyAdmin no painel de hospedagem adquirido, isto se ele estiver instalado no servidor. As funções de importação e exportação são designadas para os botões com seus respectivos nomes, existindo um limite de 8Mb para importação, caso o banco seja maior é recomendado que se use o MySQL Workbench. Também é possível realizar importação/exportação através do SSH, que é um protocolo que permite conexão segura com outros computadores através de uma rede, por exemplo a Internet.

Uma hospedagem de qualidade é necessária para que seja garantida a segurança ao site e suas informações, estabilidade e mais oportunidades de conversão, em outras palavras,

possibilita a criação de uma melhor interface, com informações importantes destacadas, banners, botões, entre outros templates disponibilizados pelas hospedagens, conforme Figura 37, Figura 38 e Figura 39.

Figura 37 – Interface para configuração do phpMyadmin

The screenshot shows the 'MySQL by Clever Cloud' interface. At the top, there are navigation links for 'Admin', 'PHPMyAdmin', and 'Documentation'. Below this is a table with columns: TYPE, PLAN, CLUSTER, VERSION, REGION, STATUS, CREATION DATE, and ID. The table contains one row with the following data: MySQL, Dev, par-mysql-c4, 8.0, par, ACTIVE, 2020-10-09, and mysql\_dd5c75a9-1a78-4296-9036-eca1e8fb67b2.

Below the table is the 'Database Credentials' section. It includes a button 'Export Environment Variables' and a text prompt: 'Get credentials for manual connections to this database.' The form contains the following fields:

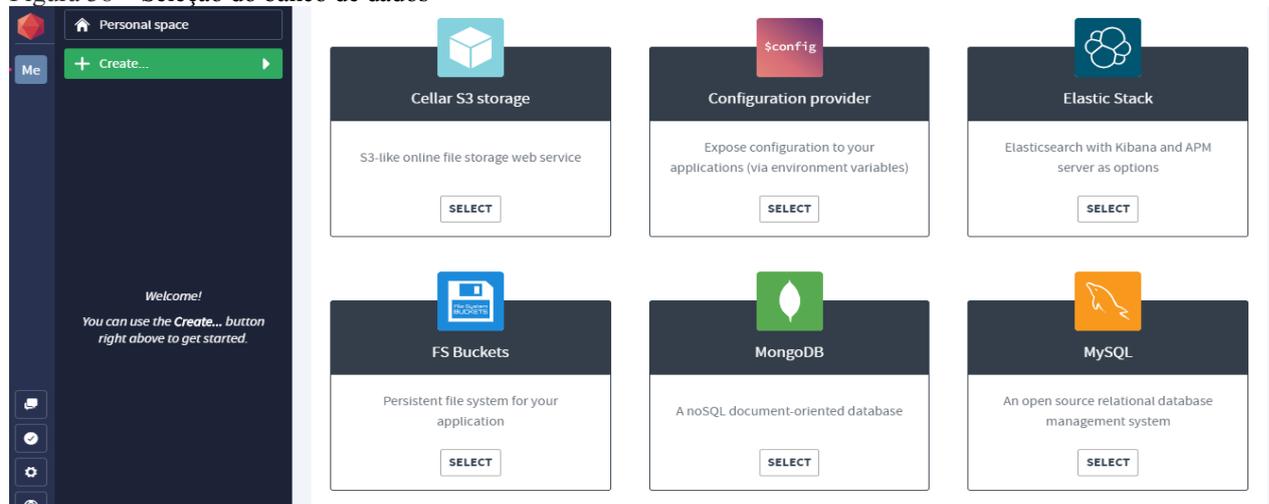
- Host: breccmjhttsipqrmxfu-mysql.services.clever-cloud.com
- Database Name: breccmjhttsipqrmxfu
- User: uqfa4teun4nnqdbw
- Password: [masked]

Fonte: (OS AUTORES, 2020).

## 6.15 CRIAÇÃO DO BANCO DE DADOS

Acessando o host (servidor), foi selecionado a opção MySQL e posteriormente a criação das credenciais para acesso.

Figura 38 – Seleção do banco de dados



Fonte: (OS AUTORES, 2020).

Figura 39 – Seleção do phpMyadmin

The screenshot displays the phpMyAdmin interface for a MySQL instance. At the top, there are navigation links for 'Admin', 'phpMyAdmin', and 'Documentation'. Below this is a table listing MySQL instances:

TYPE	PLAN	CLUSTER	VERSION	REGION	STATUS	CREATION DATE	ID
MySQL	Dev	mysql-c5	8.0	mtl	ACTIVE	2020-10-27	mysql_8a4a8866-b768-4990-a852-952d7a556c3f

The main interface shows the 'General settings' and 'Appearance settings' panels. The 'General settings' panel includes options for 'Change password', 'Server connection collation' (set to 'utf8mb4\_unicode\_ci'), and 'Server connection collation'. The 'Appearance settings' panel includes options for 'Theme' (set to 'pmahomme') and 'Font size' (set to '82%').

The 'Database server' panel provides details about the server configuration:

- Server: bpzllgbhpf1ldhcwxb-mysql.services.clever-cloud.com via TCP/IP
- Server type: MySQL
- Server connection: **SSL is not being used**
- Server version: 8.0.15-5 - Exherbo
- Protocol version: 10
- User: urrtboenwpazdqkm@46.252.
- Server charset: (utf8)

The 'Web server' panel provides details about the web server configuration:

- Apache
- Database client version: libmysql - mysqlnd 5.0.12-dev - 20150407 - \$Id: 3591daad22de08524295e1b

Fonte: (OS AUTORES, 2020).

## 7 PROCEDIMENTO REALIZADO

Após a criação do banco de dados, já se pode realizar sua conexão com o sistema de medição. Foram realizados os seguintes passos:

- O roteador foi conectado à rede do computador;
- Foi reservado um IP fixo do computador para receber os dados vindos do Arduino. Foi escolhido o IP 192.168.0.93 para evitar conflitos, pois se na rede possuir outros dispositivos com IP variável dificilmente ele terá o valor final de .93, já que os IP variáveis variam em uma ordem crescente (0 a 255);
- No computador foi baixado o banco de dados em uma versão de executável para receber os dados. Ele também será responsável pela conexão entre o banco de dados do computador e do servidor através da opção Servidor UDP Ativo. Importante lembrar que o executável deve estar sempre aberto no computador para que os dados possam ser armazenados;
- Os dados são registrados de segundo em segundo no banco local e são enviados para o servidor online de acordo com o intervalo desejado. Não ocorre perda de dados porque os dados são enviados em uma espécie de relatório mostrando todas as medições do período, assim se tem uma inserção grande de dados em uma única ação;
- Para que a transmissão comece, basta clicar no botão transmitir dados;
- O horário que é apresentado é referente ao momento que se é feito a inserção dos dados. Para que seja representado de segundo a segundo no servidor online é necessário utilizar o intervalo de 0,0166667 minuto, que equivale a 1 segundo. Porém esse tipo de intervalo pode gerar muitas ações e registros no servidor online, que caso ultrapasse o limite do plano contratado ocasionará em multas. Para o protótipo, o intervalo escolhido foi suficiente para comprovar sua funcionalidade e captar dados de medição.

O Arduino mede e transmite usando o protocolo UDP, que é muito rápido, para o computador que está com o executável aberto aguardando sua conexão. O computador além de receber os pacotes de dados no intervalo programado, realiza a conexão com o servidor e transmite os dados já recebidos por meio do executável, conforme Figura 40 e Figura 41.

Figura 40 – Caminho percorrido pelos dados



Fonte: (OS AUTORES, 2020).

A quantidade de dados que um servidor pode armazenar depende do plano contratado pelo usuário. O limite contratado para esse projeto foi de 1 GB, sendo suficiente para captar informações e comprovar o funcionamento do protótipo.

O protótipo será ligado à uma extensão elétrica para que possa ser conectada várias cargas simultaneamente. O acesso aos dados e para instalar o executável é por meio do link <http://www.consumotcc.com.br/>.

As cargas utilizadas serão:

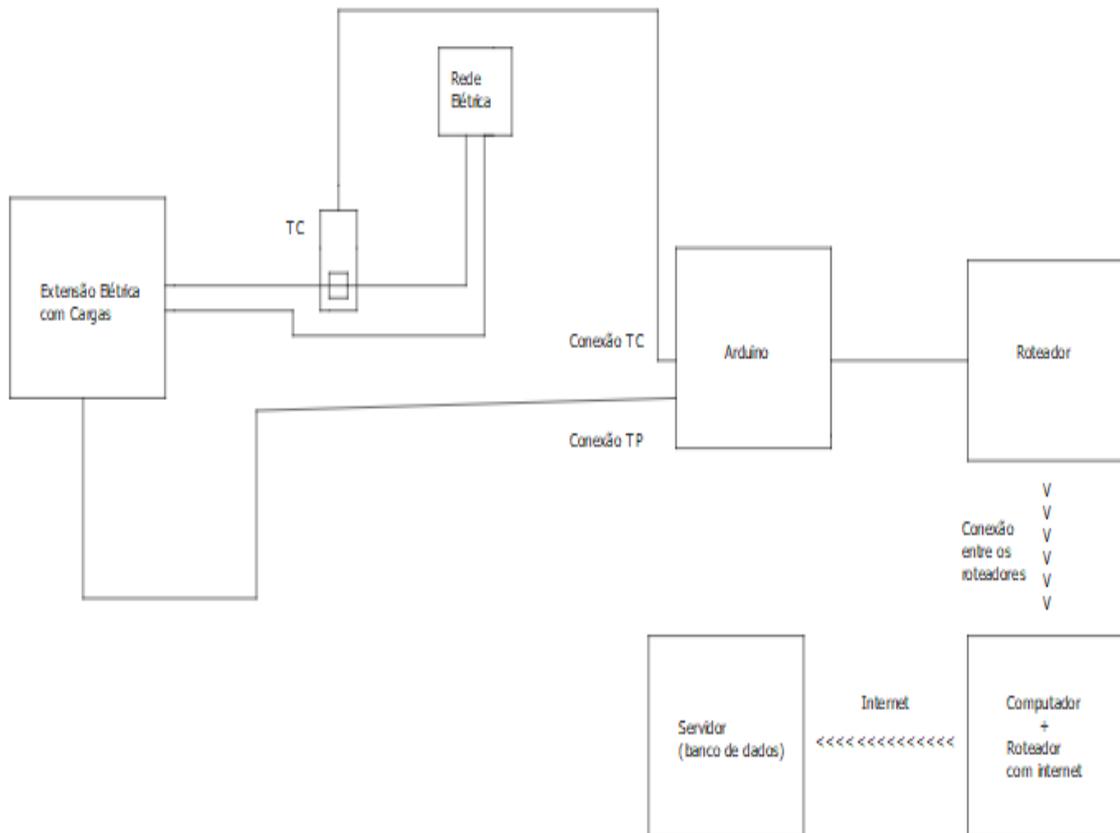
- 1x Ventilador de mesa Britânia Super 30 – 100W;
- 1x Ventilador de mesa Mallory Eco TS – 40W;
- 1x Ventilador Mondial Maxi Power 40 – 140W.

Durante o procedimento serão especificadas quais cargas estarão sendo utilizadas no momento da medição.

- Computador servidor: recebe e transmite os dados. Consegue ver os dados em tempo real (segundo a segundo);
- Servidor online: recebe os dados no intervalo desejado. A visualização dos dados está relacionada ao também à faixa de intervalo. Conforme for recebendo os dados, o servidor vai mostrando;
  - Site: mostra os 15 últimos registro, atualizando a cada 30 segundos. Está conectado ao servidor. Serve para baixar o executável e para verificar a funcionalidade do computador servidor, se ele está funcionando corretamente;
  - Computadores e celulares de terceiros: conseguem acessar o site e os dados do servidor online através do executável.

Obs: apesar de ser o mesmo executável, a forma como ele interage entre o computador servidor e os dispositivos de terceiros é diferente, devido a função de servidor local que lhe é atribuído.

Figura 41 – Circuito estudado



Fonte: (OS AUTORES, 2020).

## 8 ALTERAÇÕES REALIZADAS

- Assim como os demais itens, também foi necessário utilizar uma biblioteca para banco de dados na programação do Arduino. As bibliotecas utilizadas foram <MySQL\_Connection.h> e <MySQL\_Cursor.h>. No sketch pode ser visto na Figura 42.

Figura 42 – Introdução da biblioteca MySQL

```
#include <MySQL_Connection.h>
#include <MySQL_Cursor.h>

IPAddress server_addr (54, 39, 75, 8); // IP DO SERVIDOR
char user []= ">USUARIO DO BANCO<"; // USUARIO MySQL
char password []= ">SENHA DO BANCO DE DADOS<"; // SENHA MySQL

char ssid[]= ">USUARIO DA REDE WIFI<"; // NOME DO ROTEADOR
char pass [] = ">SENHA WIFI<"; // SENHA DO ROTEADOR

char INSERT_DATA[] = "INSERT INTO MEDICAO (Tensao, Corrente, Potencia, Potencia_Acum, Consumo) VALUES (supplyVoltage, currentDraw, potencia, potencia_acumulada, consumo);
```

Fonte: (OS AUTORES, 2020).

- Foi necessário retirar os gauges pois eles não apresentavam compatibilidade com o banco de dados, além disso, com o acréscimo necessário do MySQL, o Arduino Uno teve seu processamento comprometido, sendo necessário eliminar os gauges. Caso o usuário não queira usar o MySQL e ficar somente com o HTML com os gauges, com uma conexão local, é possível, porém é necessário a substituição do Arduino Uno pelo Arduino Mega, pois o sketch ficará extenso e irá requerer mais memória. Esse tema será melhor abordado no capítulo futuras melhorias.

Apesar de alguns itens não estarem presentes no resultado final eles foram de extrema importância para o desenvolvimento do projeto, pois serviram como ponto de partida. Conforme o projeto foi sendo posto em prática surgiram ideias de melhorias daquilo inicialmente proposto e ideais que inicialmente foram propostas, mas que por diversos fatores tiveram de ser deixadas de lado. Porém vale ressaltar que o projeto, desde sua primeira versão até a final conseguiu cumprir com o que foi proposto, conseguir mostrar o consumo em tempo real, ou seja, pode ser utilizada ambas versões, tanto a primeira versão como a final.

## 9 RESULTADOS

### 9.1 RESULTADO EM LABORATÓRIO – PROCESSO DE ELABORAÇÃO DO PROTÓTIPO

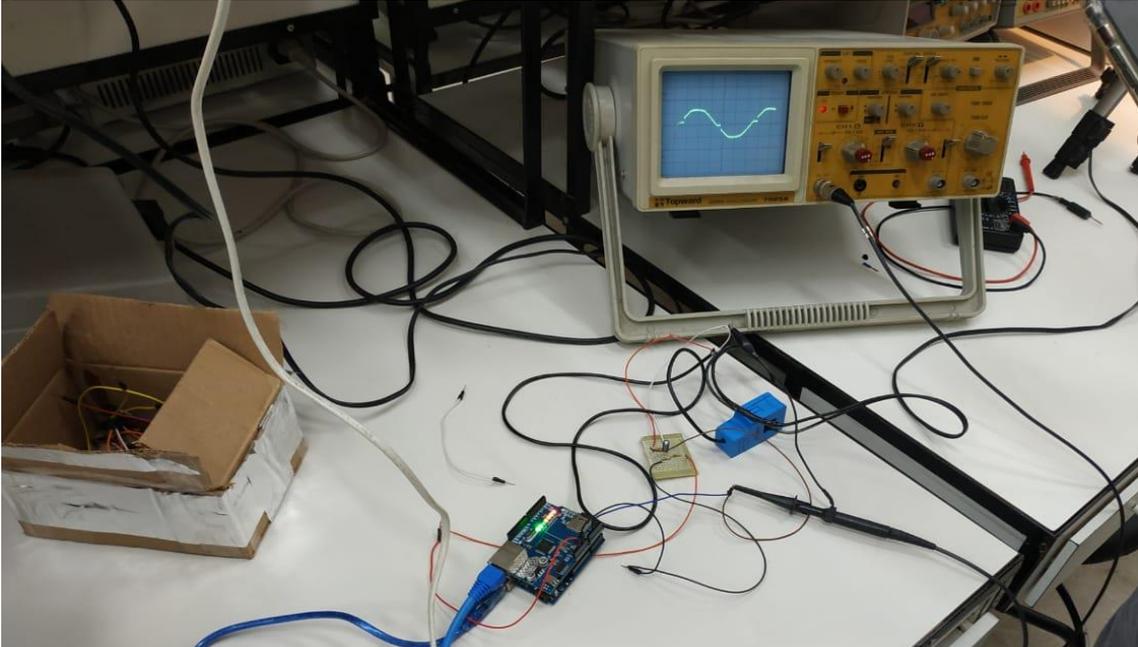
Para fins de teste em uma rede local, foi utilizado uma luminária de 60 watts e 127 volts, regulada com um dimmer, para variar sua corrente e obter diferentes valores para os testes, podendo serem vistos em Figura 43, Figura 44, Figura 45 e Figura 46.

Figura 43 – Luminária utilizada



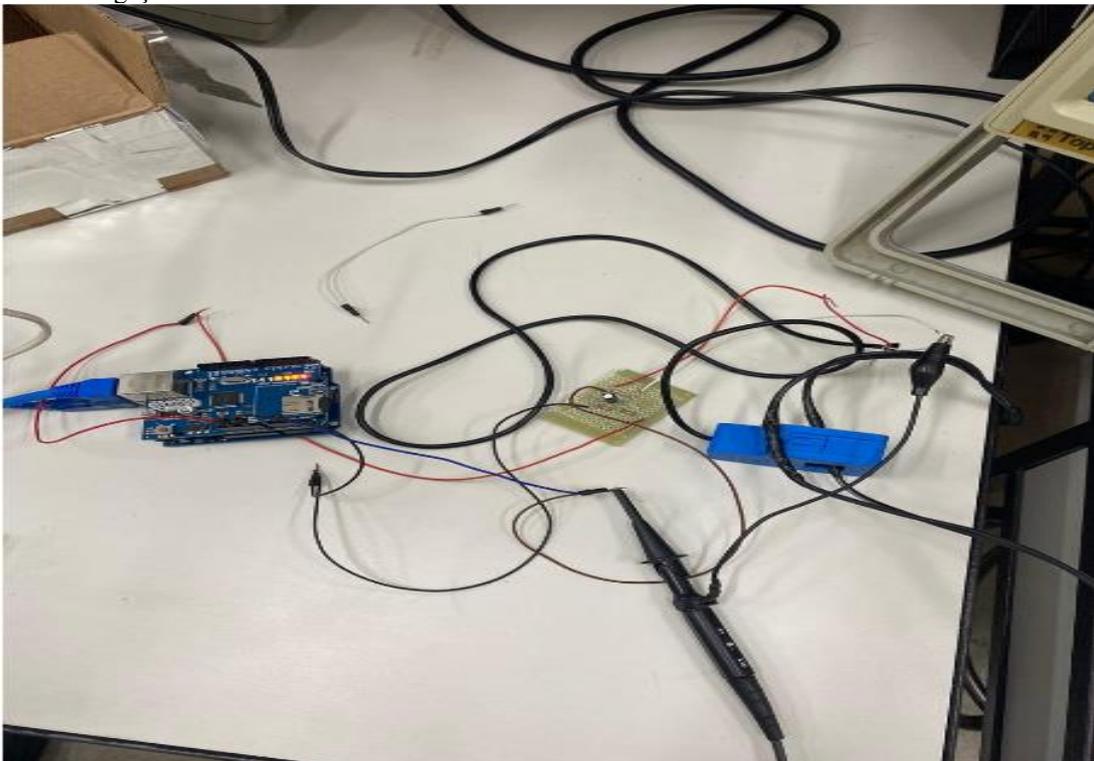
Fonte: (OS AUTORES, 2020).

Figura 44 – Osciloscópio analisando a forma de onda da placa com circuito



Fonte: (OS AUTORES, 2020).

Figura 45 – Ligações realizadas



Fonte: (OS AUTORES, 2020).

Fez-se uso de um multímetro para obter-se valores e comparar com os do medidor. Com o sensor de tensão conectado em paralelo e o sensor de corrente “abraçando” apenas um fio temos a Tabela 7.

Tabela 7 – Valores obtidos em laboratório

VALORES OBTIDOS EM LABORATÓRIO							
NÚMERO DA MEDIÇÃO	MULTÍMETRO			MEDIDOR			% DO ERRO (POTÊNCIA)
	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)	POTÊNCIA (W)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)	POTÊNCIA (W)	
1	126,55	0,47	59,48	126,47	0,45	56,91	4,3158%
2	127,27	0,47	59,82	127,13	0,45	57,21	4,3606%
3	126,41	0,47	59,41	126,33	0,45	56,85	4,3159%
4	126,33	0,47	59,38	126,33	0,45	56,85	4,2553%
5	126,95	0,47	59,67	127	0,45	57,15	4,2176%
6	126,45	0,47	59,43	126,45	0,45	56,90	4,2553%
7	127,23	0,47	59,80	127	0,45	57,15	4,4284%
REDUÇÃO DA CORRENTE ATRAVÉS DO DIMMER							
8	127	0,22	27,94	126,40	0,20	25,28	9,5204%
9	127,20	0,22	27,98	127,20	0,20	25,44	9,0909%
10	127,15	0,22	27,97	127	0,20	25,40	9,1982%
11	126,30	0,22	27,79	125,90	0,20	25,18	9,3788%
12	127,35	0,22	28,02	127,20	0,20	25,44	9,1980%
13	126,51	0,22	27,83	126,49	0,20	25,30	9,1053%
14	127,10	0,22	27,96	127	0,20	25,40	9,1624%
15	127	0,22	27,94	127	0,20	25,40	9,0909%

Considerando a Fórmula 5 para se obter a “% do erro (potência) “:

$$\% \text{ de erro} = (|\text{Valor do multímetro} - \text{Valor do medidor}|) / (\text{Valor do multímetro}) \cdot 100 \quad (5)$$

A maior porcentagem encontrada foi do item 8, com 9,5204%. Subtraindo a potência do medidor com a potência do multímetro encontra-se uma diferença de 2,66 W. O mesmo foi feito com a corrente e a tensão e a diferença entre eles foi de 0,02 A e 0,60 V. Considerando a tecnologia utilizada e por se tratar de um protótipo são valores aceitáveis.

A menor porcentagem foi do item 5, com 4,2176%. Realizando a mesma matemática do item anterior encontrou-se a diferença de 2,52 W, 0,02 A e 0,05 V.

A calibração dos componentes raramente será 100% exata, isso porque para uma maior exatidão seria necessário utilizar inúmeras casas decimais e para obtê-las seria necessários também inúmeros testes. Esse cenário mostra que seria inviável realiza-lo devida a quase infinitas possibilidades de combinações. Além disso foi utilizado o procedimento indicado pelo fabricante dos sensores para a obtenção dos valores de calibração.

Figura 46 – Forma de onda no resistor de carga

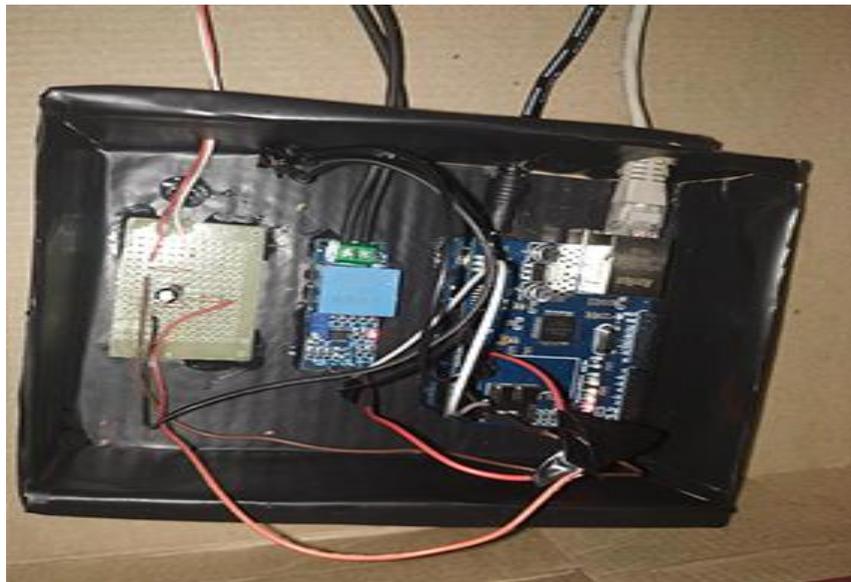


Fonte: (OS AUTORES, 2020).

## 9.2 RESULTADOS DOS TESTES COM PROTÓTIPO FINALIZADO

O protótipo pode ser observado em Figura 47, Figura 48 e Figura 49.

Figura 47 – Sistema de medição com conexões finalizadas



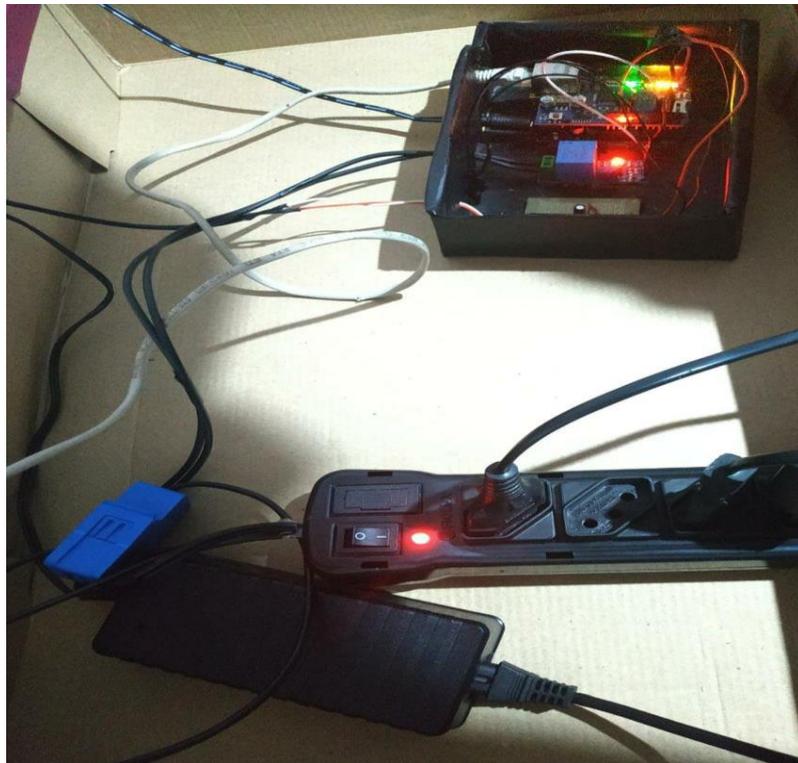
Fonte: (OS AUTORES, 2020).

Figura 48 – Cargas conectadas



Fonte: (OS AUTORES, 2020).

Figura 49 – Sistema operando



Fonte: (OS AUTORES, 2020).

Os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 8.

Tabela 8 – Medições obtidas

MEDIÇÕES OBTIDAS			
VENTILADOR DE MESA BRITÂNIA SUPER 30 (100W) - VELOCIDADE 1			
Nº DA AMOSTRA	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)	POTENCIA (W)
1	217,53	0,46	100,06
2	218,98	0,46	100,73
3	216,85	0,47	101,91
4	216,66	0,46	99,66
5	218,32	0,46	100,42
6	218	0,46	100,28
7	218	0,46	100,28
8	218,52	0,45	98,33
9	217,24	0,46	99,93
10	216,9	0,47	101,94
VENTILADOR MONDIAL MAXI POWER 40 (140W) - VELOCIDADE 1			
Nº DA AMOSTRA	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)	POTENCIA (W)
1	215,38	0,65	139,99
2	216,66	0,65	140,82
3	217,56	0,65	141,41
4	218,58	0,65	142,07
5	218,1	0,66	143,94
6	218,19	0,65	141,82
7	218,5	0,65	142,02
8	215,05	0,67	144,08
9	216,25	0,67	144,95
10	217,78	0,65	141,55
VENTILADOR DE MESA BRITÂNIA SUPER 30 (100W) - VELOCIDADE 3 + VENTILADOR DE MESA MALLORY ECO TS (40W) - VELOCIDADE 1			
Nº DA AMOSTRA	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)	POTENCIA (W)
1	218,22	0,80	174,57
2	216,57	0,81	175,42
3	217,45	0,80	173,96
4	218,72	0,80	174,97
5	217,52	0,79	171,84
6	216,95	0,80	173,56
7	218,4	0,80	174,72
8	217,83	0,81	176,44
9	218	0,81	176,58
10	218	0,80	174,40

VENTILADOR DE MESA MALLORY ECO TS (40W) - VELOCIDADE 1

Nº DA AMOSTRA	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)	POTENCIA (W)
1	217,25	0,19	41,28
2	217,31	0,20	43,46
3	218	0,20	43,60
4	218,11	0,20	43,62
5	218,23	0,19	41,46
6	217,95	0,20	43,59
7	216,56	0,20	43,31
8	215,96	0,21	45,35
9	218	0,20	43,60
10	218,15	0,20	43,63

Para confirmar a funcionalidade no fator tarifação foram colocadas diferentes cargas em tempos cronometrados, conforme Tabela 9 e confirmados em Figura 50, Figura 51 e Figura 52.

- 1850 segundos com carga de 100W;
- 900 segundos com carga de 140W;
- 215 segundos com carga de 170W.

Tabela 9 – Teorização da tarifa

TARIFICAÇÃO					
TEMPO (SEGUNDOS)	TEMPO EM HORAS (SEGUNDOS/3600)	POTÊNCIA (W)	POTÊNCIA ACUMULADA (TEMPO EM HORAS X POTÊNCIA) (KW.H)	VALOR A PAGAR (POTÊNCIA ACUMULADA X TARIFA EM KW/H) (R\$)	TARIFA MÉDIA EM SP (KW/H EM REAIS)
1850	0,513888889	100	0,051388889	0,024872222	0,484
900	0,25	140	0,035	0,01694	
215	0,059722222	170	0,010152778	0,004913944	
TOTAL A PAGAR				0,046726167	

Como o Arduino faz medições por segundo, teve-se que transformar a tarifa para KW/s. Para isso basta dividir o valor da tarifa KW/h por 3600 (transformando hora para segundo).

Figura 50 – Tarifa encontrada

**Filtro**

Data Inicial: 06/11/2020      Data Final: 09/11/2020

Centro de Custo:

Medições   Médias   Mínimas   Máximas   Lista   Exportar   Último   **Acumulado**

Data: 06/11/2020

C. Custo:

Potência: 347944,31976819

Custo R\$: 0,0467791804975093

Fonte: (OS AUTORES, 2020).

Figura 51 – Medições realizadas

**Filtro**

Data Inicial: 10/11/2020      Data Final: 10/11/2020

Centro de Custo:

Medições   Médias   Mínimas   Máximas   **Lista**   Exportar   Último   Acumulado

7205 - Data/Hora: 10/11/2020 18:17:04

C. Custo: 0001

Tensão: 217,35

Corrente: 0,14

Potência: 30,05

Custo R\$: 4,04006E-6

7206 - Data/Hora: 10/11/2020 18:17:04

C. Custo: 0001

Tensão: 216,96

Corrente: 0,14

Potência: 31,35

Custo R\$: 4,21483E-6

7207 - Data/Hora: 10/11/2020 18:17:04

C. Custo: 0001

Tensão: 217,01

Corrente: 0,14

Potência: 29,37

Custo R\$: 3,94863E-6

Fonte: (OS AUTORES, 2020).

Figura 52 – Site desenvolvido

**TCC - Consumo de Energia**

<b>Id</b>	<b>Data/Hora</b>	<b>Centro de Custo</b>	<b>Tensao</b>	<b>Corrente</b>	<b>Potencia</b>	<b>Custo em reais</b>
7795	10/11/2020 19:29:26	0001	214,99	0,09	20,06	0,0000026
7794	10/11/2020 19:29:26	0001	216,28	0,1	20,79	0,0000027
7793	10/11/2020 19:29:26	0001	217,21	0,09	20,25	0,0000027
7792	10/11/2020 19:29:26	0001	218,5	0,1	21,63	0,0000029
7791	10/11/2020 19:29:26	0001	215,8	0,09	19,82	0,0000026
7790	10/11/2020 19:28:24	0001	217,81	0,09	19,72	0,0000026
7789	10/11/2020 19:28:24	0001	217,34	0,09	20,55	0,0000027
7788	10/11/2020 19:28:24	0001	213,81	0,1	20,63	0,0000027
7787	10/11/2020 19:28:24	0001	217,17	0,1	20,9	0,0000028
7786	10/11/2020 19:28:24	0001	216,33	0,1	21,95	0,0000029
7785	10/11/2020 19:28:24	0001	216,33	0,1	21,67	0,0000029
7784	10/11/2020 19:28:24	0001	217,51	0,1	22,07	0,0000029
7783	10/11/2020 19:28:24	0001	215,89	0,1	20,74	0,0000027
7782	10/11/2020 19:28:24	0001	216,9	0,1	22,24	0,0000029
7781	10/11/2020 19:28:24	0001	216,72	0,09	20,53	0,0000027

Dados atualizados automaticamente (refresh) a cada 30 segundos.

[Clique aqui para baixar o aplicativo Consumo TCC para Windows.](#)

Fonte: (OS AUTORES, 2020).

## 10 FUTURAS MELHORIAS

### 10.1 SUBSTITUIÇÃO DO ARDUINO UNO PELO ARDUINO MEGA 2560 R3

A troca seria necessária caso fossem introduzidos mais sensores TP, TC ou sensores de outros tipos, ou ainda, fosse utilizado simultaneamente o MySQL e o HTML e gauges, pois o Arduino Uno não possui memória suficiente para a realização de um grande número processos, podendo apresentar uma baixa performance e, como consequência, perda de dados.

De acordo com vários autores a versão do Arduino Mega é mais “parruda” que o Arduino Uno, pois possui um maior número de pinos e uma alta quantidade de memória flash disponível. Os shields utilizados no Arduino Uno são compatíveis com o Arduino Mega.

Foi criado com base no microcontrolador ATmega 2560, que é bem mais poderoso que o do Uno. Apresenta 54 pinos digitais, 16 pinos analógicos e pode ser alimentado da mesma forma que no Uno.

Quanto a memória interna, possui 256 KB de memória flash, aproximadamente 8 vezes mais que o Uno, 8 KB de memória SRAM e 4 KB de memória EEPROM. O seu clock interno é igual ao do Arduino Uno, 16 MHz.

No Quadro 3 será mostrado uma tabela comparativa entre o Uno e o Mega.

Quadro 3 – Quadro comparativo entre Arduino Uno e Arduino Mega

QUADRO COMPARATIVO ENTRE ARDUINO UNO E ARDUINO MEGA		
	UNO	MEGA
MEMÓRIA FLASH	32 KB	256 KB
SRAM	2 KB	8 KB
EEPROM	1 KB	4 KB
CLOCK INTERNO	16 MHZ	16 MHZ
MICRO CONTROLADOR	ATMEGA328P	ATMEGA2560

Fonte: (OS AUTORES, 2020).

### 10.2 CONTRATAÇÃO DE UM PLANO COM MAIOR ESPAÇO EM UM SERVIDOR

Seria necessário a contratação de um servidor maior caso o cliente queira saber o consumo por segundos. Assim o banco de dados iria realizar um INSERT por segundo, isto

significa 2.592.000 INSERT em um mês com 30 dias. O volume que esses dados ocupariam é considerado grande, pois os dados são salvos em formato tabela com 2.592.000 linhas, semelhante ao Excel.

Os servidores encontrados para essa melhoria possuem faixa de preço entre R\$200,00 e R\$300,00 por mês. Nesse valor está incluso 400 GB, backup/restore, Microsoft SQL Server, IP público grátis e serviços adicionais.

### 10.3 IMPLEMENTAÇÃO DE MAIS TIPOS DE SENSORES E MÓDULOS

Com a utilização do Arduino Mega seria possível realizar mais ações simultâneas, ou seja, incluir mais sensores de corrente e tensão, além de aproveitar os pinos analógicos extras poderia ser incluso sensores de temperatura, sensores de presença, entre outros.

Já nos módulos, incluir o GSM GPRS Shield para Arduino ECom SIM900 + Antena, que envia os dados via SMS, permitindo o sistema ser implementado em lugares sem conexão com a Internet.

### 10.4 FACILITAR A INSERÇÃO DA TARIFA

A inserção da tarifa ficou sendo realizada no sketch do Arduino, para sua alteração basta alterar o valor da variável e carregar novamente no Arduino. Em uma futura versão do protótipo serão estudadas maneiras de como facilitar a mudança por meio da própria interface do usuário, por meio de uma textbox.

## 11 CONCLUSÕES

Durante os estudos para a realização do projeto, foi possível notar os esforços realizados pelos engenheiros, órgãos governamentais e trabalhadores do setor elétrico para prover energia elétrica para os consumidores. Dentre essas ações pode-se citar as pesquisas tecnológicas, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), estudos na geração de energia renovável (por exemplo energia eólica e solar), entre outros.

Com o objetivo cumprido e os resultados obtidos é possível afirmar que o protótipo pode auxiliar nos estudos relacionados à conservação de energia, uma vez que consegue influenciar na forma de consumo através dos dados mostrados e sem comprometer com a qualidade de energia elétrica. Comparado com os medidores encontrados no mercado, dentro da faixa de preço semelhante à dos componentes do protótipo) o sistema de medição apresentou recursos adicionais importantes, como por exemplo a lista de valores registrados, assim pode-se constatar que o protótipo é mais completo.

Além da sua aplicação proposta no objetivo, o protótipo apresentou diversas finalidades secundárias que também podem ser aproveitadas, como apenas o monitoramento do consumo para saber se as cargas estão funcionando corretamente, sem precisar ir fisicamente ao local. As melhorias propostas iriam contribuir ainda mais para a diversidade das funções, se aproximando cada vez mais aos modelos de casas inteligentes, em que as ações e informações estão na palma da mão.

O estudo serviu para contribuir com os demais estudos relacionados à medição à distância para que futuramente esse tipo de sistema possa ser utilizado em grande parte do país. Atualmente sua implementação não está viável devido ao atraso tecnológico e econômico, mas talvez através dos estudos realizados seja possível encontrar uma alternativa que se enquadre na realidade brasileira.

Durante a construção do protótipo foi possível utilizar os conhecimentos adquiridos durante os 5 anos de curso. Pode-se citar os conhecimentos sobre transformador de corrente, transformador de potencial, componentes eletrônicos (capacitor, resistor, microcontroladores, entre outros), linguagem de programação (Arduino), leis fundamentais da elétrica, tarifação, montagem de circuitos, conservação de energia, qualidade da energia, entre outro. Além da importância de conseguir realizar o projeto proposto, é também importante identificar o que foi aprendido na vida acadêmica.

As pesquisas realizadas para estudar novos temas e reforçar o que já foi aprendido foram de extrema importância para o desenvolvimento do projeto, aprendizado individual e mostrar os diversos ramos que a engenharia elétrica e eletrônica abrange.

## REFERÊNCIAS

ANEEL. Tarifas. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/tarifas>>. Acesso em: 26 ago. 2020.

ARDUINO. Tutorial Arduino Ethernet Shield. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoEthernetShield>>. Acesso em: 5 jun. 2020.

BEIGHLEY, L. Use a cabeça! SQL. 2. ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2008. 277 p.

BOYLESTAD, R. L.; NASHELSKY, L. Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004. 159 p.

DEVELOPER. Javascript. Disponível em: <<https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Aprender/JavaScript>>. Acesso em: 13 set. 2020.

GUERRA, F. D. F.; MOTA, W. S. Current Transformer Model. v. 22. IEEE Transactions on Power Delivery, 2007.

HADDAD, J. Eficiência energética de equipamentos e instalações. 3. ed. Itajubá: FUPAI, 2006. 563 p.

JAVASCRIPT. Strings. Disponível em: <<https://www.javascript.com/learn/strings>>. Acesso em: 13 set. 2020.

MALVINO, A. P. Eletrônica. vol 1. 4. ed. São Paulo: Makron, 1997. 215 p.

MARTINS, J. B. A história da eletricidade. 1. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2007. 52 p.

MCROBERTS, M. Arduino básico. 2. ed. São Paulo: Novatec Editora, 2015. 73 p.

MYSQL. MySQL Database Service. Disponível em: <<https://www.mysql.com/downloads/>>. Acesso em: 31 set. 2020.

NERY, E. Mercados e regulação de energia elétrica. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. 630 p.

NIELD, T. Introdução á linguagem SQL: abordagem prática para iniciantes. 1. ed. São Paulo: Novatec Editora, 2016. 35 p.

OPEN ENERGY MONITOR. Installation and calibration. Disponível em: <<https://learn.openenergymonitor.org/electricity-monitoring/ctac/ct-and-ac-power-adaptor-installation-and-calibration-theory?redirected=true>>. Acesso em: 22 ago. 2020.

PUNAROBLEY. Transformador de potencial. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/punarobley/medicao-de-demanda>>. Acesso em: 19 out. 2020.

RISSETTI, G. Lógica de programação e estruturas de dados. 3. ed. São Paulo: Pearson Universidades, 2016. 90 p

RIZZONI, G. Fundamentos de engenharia elétrica. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 420 p.

THOMSEN, A. Blog Filipeflop. Como fazer um medidor de energia elétrica com arduino. Disponível em: < <http://blog.filipeflop.com/arduino/medidor-de-energia-eletrica-com-arduino.html/>>. Acesso em: 26 ago. 2020.

TOLMASQUIM, M. T. Novo modelo do setor elétrico brasileiro. 2. ed. Rio de Janeiro: Synergia Editora, 2015. 215 p.

USINAINFO. Sensor de tensão. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-tensao-arduino/sensor-de-tensao-ac-zmpt101b-voltmetro-arduino-5658.html>>. Acesso em: 25 out. 2020.

VASSALLO, F. R. Manual de Instrumentos de Medidas Eletrônicas. 1. ed. São Paulo: Hemus Editora Ltda, 1978. 21 p.

W3SCHOOLS. Html. Disponível em: <<https://www.w3schools.com/html/>>. Acesso em: 14 set. 2020.

ZAPPAROLI, F. V. D.; PANTOJA, J. C. S. Catálogo de Experimentos do Laboratório Integrado de Física Geral. Universidade Estadual de Londrina, 2007.

ZOCHOLL, S. E. Análise e Aplicação de Transformadores de Corrente. 1. ed. Pullman: Schweitzer Engineering Laboratories Inc, 2004.