



**UNIFACS**  
UNIVERSIDADE SALVADOR  
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES\*

**MESTRADO EM ENERGIA**

**ÉRICA ALVES BEZERRA**

**SISTEMA EMBARCADO APLICADO A MEDIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DE  
BAIXO CUSTO**

Salvador  
2020

**ÉRICA ALVES BEZERRA**

**SISTEMA EMBARCADO APLICADO A MEDIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DE  
BAIXO CUSTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia – Mestrado em Energia da Universidade Salvador – UNIFACS, Laureate International Universities para obtenção do grau de Mestra.

Área de Concentração: Eficiência Energética

Orientador: Prof. Msc. Rafael Bezerra de Araújo

Salvador  
2020

Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UNIFACS Universidade Salvador, Laureate International Universities.

Bezerra, Érica Alves

Sistema embarcado aplicado a medição de energia elétrica de baixo custo/ Érica Alves Bezerra.- Salvador: UNIFACS, 2020.

59 f.: il.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia da UNIFACS – Universidade Salvador, Laureate International Universities, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Msc. Rafael Gonçalves Araújo.

1. Energia elétrica - Sistemas embarcados. 2. Energia elétrica - Medição. 3. Energia elétrica - Tarifa branca. I. Araújo, Rafael Gonçalves, orient. II. Título.

ÉRICA ALVES BEZERRA

SISTEMA EMBARCADO APLICADO A MEDIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DE  
BAIXO CUSTO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Energia da UNIFACS  
Universidade Salvador – Laureate International Universities, como requisito parcial  
para obtenção do grau de Mestre e aprovada pela seguinte banca examinadora:

Rafael Bezerra Araújo – Orientador \_\_\_\_\_  
Mestre em Regulação da Indústria da Energia pela UNIFACS  
UNIFACS Universidade Salvador, Laureate International Universities

Kléber Freire da Silva – Avaliador \_\_\_\_\_  
Doutor em Engenharia pela Universidade de São Paulo - USP  
Universidade Federal da Bahia - UFBA

Victor Menezes Vieira – Avaliador \_\_\_\_\_  
Doutor em Geologia Ambiental, Recursos Hídricos e Hidrogeologia pela Universidade  
Federal da Bahia - UFBA  
UNIFACS Universidade Salvador, Laureate International Universities

Aprovado em \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2020.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pela dádiva da vida, força e inspiração para fazer trabalhos como este, sem essa sustentação este projeto não existiria.

Ao orientador e amigo, Prof Msc Rafael Bezerra de Araújo, pela competência, paciência, sintonia de inovação e respeito com que conduziu este processo, do alvorecer da ideia até a síntese.

À Universidade Salvador (UNIFACS), pela infraestrutura proporcionada no desenvolvimento deste trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pelo apoio financeiro.

Ao Douglas Teixeira, querido e motivado amigo, que acompanhou e contribuiu em todo o desenvolvimento da ideia até a concepção atual.

Aos moradores da residência comercial por ter cedido o espaço para os testes.

À minha querida família que sempre me apoiou nos desafios e entenderam minhas ausências em virtude do projeto.

"O futuro pertence àqueles que acreditam na beleza de seus sonhos."

**Eleanor Roosevelt**

## RESUMO

Com o desenvolvimento do setor elétrico brasileiro novas modalidades tarifárias têm surgido, proporcionando ao consumidor de baixa tensão novas opções de tarifação e, em paralelo, novas tecnologias vem de desenvolvendo para auxílio sobre o consumo elétrica das instalações e o mesmo ocorre no momento da escolha da tarifação. Dentro desse contexto, neste trabalho foi realizado o levantamento de equipamentos de medição e análise de energia elétrica existentes no mercado e, foi desenvolvido um dispositivo de medição de energia elétrica de baixo custo através da utilização de um sistema embarcado. É importante salientar que, para validação dos dados, foram realizados teste para comparação com um equipamento de mercado. Após os testes, o sistema demonstrou um comportamento estatisticamente similar à medição com o equipamento de mercado, validando a medição para esse tipo de tecnologia. Em relação aos equipamentos dispostos no mercado observou-se que os medidores de energia apresentam vulnerabilidade ao consumidor quanto a segurança de instalação independente e o analisadores apresentaram um custo associado que limitam a utilização do consumidor do Grupo B. Desta forma, este trabalho corroborou com a confiabilidade que os sistemas embarcados apresentam no segmento de medição de energia bem como demonstrou potencial de desenvolvimento futuro no setor de energia.

**Palavras-Chave:** Sistemas embarcados. Medição de Energia Elétrica. Tarifa Branca

## ABSTRACT

With the development of the Brazilian electric sector, new tariff modalities have emerged, providing low-voltage consumers with new charging options and, in parallel, new technologies have been developing to help with the electrical consumption of installations and the same occurs when choosing the charging. Within this context, in this work, a survey of electrical energy measurement and analysis equipment on the market was carried out, and a low cost electrical energy measuring device was developed through the use of an embedded system. It is important to note that, for data validation, a test was carried out to compare it with market equipment. After the tests, the system demonstrated a behavior statistically similar to the measurement with the market equipment, validating the measurement for this type of technology. In relation to the equipment available on the market, it was observed that energy meters are vulnerable to the consumer as regards the safety of independent installation and the analyzers presented an associated cost that limit the use of the Group B consumer. Thus, this work corroborated with the reliability that embedded systems have in the energy measurement segment as well as demonstrated potential for future development in the energy sector.

**Keywords:** Embedded systems. Electricity Measurement. White Rate.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Comparativo Ilustrativo do R\$/kWh entre a Tarifa Branca e Tarifa Convencional em dias úteis.....	17
Figura 2 - Exemplo 1 – Consumidor residencial.....	19
Figura 3 - Exemplo 1 - Economia consumidor residencial .....	20
Figura 4 - Exemplo 2 - Consumidor Comercial.....	20
Figura 5 - Exemplo 3 - Consumidor Industrial .....	21
Figura 6 - Campo magnético em um cabo energizado.....	23
Figura 7 - TC - Desenho esquemático .....	24
Figura 8 - Medidor para faturamento de energia.....	26
Figura 9 - Medidor de grandezas elétricas instantânea.....	26
Figura 10 - Medidor invasivo para painéis elétricos .....	27
Figura 11 - Medidor de automação residencial .....	27
Figura 12 - Analisador Fluke 435 - II .....	28
Figura 13 - Analisador Fluke 1736 .....	29
Figura 14 - Analisador Shneider ION7600 .....	30
Figura 15 - Analisador Embrasul RE80000 .....	31
Figura 16 - Analisador Embrasul EN7000 .....	32
Figura 17 - Smart Meter - Greenant .....	34
Figura 18 - Sistema de acompanhamento de dados do Smart Meter .....	35
Figura 19 - Dispositivo Smappe .....	35
Figura 20 - Sistema de acompanhamento do Smappe .....	36
Figura 21 - Dispositivo e sistema de acompanhamento Sense.....	36
Figura 22 - UDO x86 Ultra.....	38
Figura 23 - NodeMCU - ESP8266.....	40
Figura 24 - Raspberry Pi .....	41
Figura 25 - Arduino Uno.....	42
Figura 26 - Etapas da segunda fase dos testes .....	44
Figura 27 - Fluxograma para aplicação de Distribuição .....	44
Figura 28 - Cálculo da Distribuição t .....	45
Figura 29 - Medição aplicada neste trabalho .....	46
Figura 30 - Estrutura do medidor de energia elétrica .....	47
Figura 31 - Teste de bancada - Lâmpadas Incandescentes .....	48
Figura 32 - Teste de bancada - Lâmpadas Fluorescentes .....	49
Figura 33 - Teste de bancada - Lâmpadas Fluorescentes e Incandescentes .....	50
Figura 34 - Medidor instalado no painel elétrico.....	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes Tarifárias - Grupo B.....	16
Tabela 2 - Posto tarifário das Distribuidoras - Tarifa Branca.....	18
Tabela 3 - Equipamentos de Medição de Energia Elétrico.....	28
Tabela 4 - Características do analisador Fluke 435 - II.....	29
Tabela 5 - Características do analisador Fluke 1736.....	30
Tabela 6 - Características do analisador Shneider ION7600.....	31
Tabela 7 - Características do analisador Embrasul RE8000.....	32
Tabela 8 - Características do analisador Embrasul EN7000.....	33
Tabela 9 - Medidores de Energia Convencionais.....	33
Tabela 10 - Medição de energia com tecnologia embarcada.....	37
Tabela 11 - Características UDO x86.....	39
Tabela 12 - Características NodeMCU.....	40
Tabela 13 - Características Raspberry Pi.....	41
Tabela 14 - Características Arduino.....	42
Tabela 15 - Comparativo das Tecnologias.....	45
Tabela 16 - Lista de materiais utilizados.....	47
Tabela 17 - Arranjo 1 - Lâmpadas Incandescentes.....	48
Tabela 18 - Comparativo de medição do Arranjo 1 – Teste de Laboratório.....	49
Tabela 19 - Arranjo 2 - Lâmpadas Fluorescentes.....	49
Tabela 20 - Comparativo de medição do Arranjo 2 – Teste de Laboratório.....	50
Tabela 21 - Arranjo 3 - Lâmpadas Fluorescentes e Incandescentes.....	50
Tabela 22 - Comparativo de medição do Arranjo 3 – Teste de Laboratório.....	51
Tabela 23 - Medição de Campo – Ar Condicionado.....	52
Tabela 24 - Análise da Distribuição t - Medidor Convencional.....	52
Tabela 25 - Análise da Distribuição t - Medidor desenvolvido.....	52

## LISTA DE SIGLAS

ACR	Ambiente de Contratação Regulada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional de Petróleo
BT	Grupo de Baixa Tensão
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CEE	Copenhagen Centre on Energy Efficiency
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CONPET	Programa Nacional de Conservação de petróleo e Derivados
EE	Eficiência Energética
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
IOT	<i>Internet of the Things</i>
MEC	Ministério de Educação
MME	Ministério de Minas e Energia
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
PEE	Programa de Eficiência Energética
PNEE	Plano Nacional de Eficiência Energética
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
TC	Transformadores de Corrente
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
UIT	União Internacional das Telecomunicações
UNIFEI	Universidade Federal de Itajubá

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	CLASSIFICAÇÃO TARIFÁRIA DO GRUPO B.....	16
2.1	EXEMPLO 1 – CONSUMIDOR RESIDENCIAL.....	19
2.2	EXEMPLO 2 – CONSUMIDOR COMERCIAL.....	20
2.3	EXEMPLO 3 – CONSUMIDOR INDUSTRIAL.....	21
3	MEDIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	23
4	EQUIPAMENTOS DE ANÁLISE E MEDIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA CONVENCIONAIS .....	25
4.1	EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	25
4.1.1	Medidores para faturamento de energia.....	25
4.1.2	Medidores de grandezas elétricas instantânea .....	26
4.1.3	Medidores invasivos para painéis elétricos .....	27
4.1.4	Medidores de automação residencial .....	27
4.2	EQUIPAMENTOS DE ANÁLISE DE ENERGIA ELÉTRICA.....	28
4.2.1	Analisador Fluke 435 – II.....	28
4.2.2	Analisador Fluke 1736 .....	29
4.2.3	Analisador Shneider ION7600 .....	30
4.2.4	Analisador Embrasul RE8000.....	31
4.2.5	Analisador Embrasul EN7000.....	32
5	EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA CONTEMPORÂNEOS .....	34
5.1	GREENANT .....	34
5.2	SMAPPE .....	35
5.3	SENSE.....	36
6	SISTEMAS EMBARCADOS .....	38
6.1	UDOO x86 .....	38
6.2	NODEMCU .....	39
6.3	RASPBERRY PI .....	40
6.4	ARDUINO .....	41
7	METODOLOGIA APLICADA AO MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA.....	43
7.1	DEFINIÇÃO DO MEDIDOR DE ENERGIA .....	45
8	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	48
9	CONCLUSÕES.....	54
	REFERÊNCIAS.....	56

## 1 INTRODUÇÃO

A resolução de problemas em um ambiente de engenharia vai além do caráter técnico na criação dos melhores computadores e sistemas de comunicação. Os desafios socioeconômicos presentes no cotidiano demonstram que, na contemporaneidade, é preciso resolver questões reais, ou seja, a descoberta de novas fontes de energia e conservação de recursos naturais. Sendo assim, os conhecimentos em análises de circuitos elétricos associados ao conhecimento de mercado do setor de energia, auxiliam de forma integrada no desenvolvimento de soluções para melhorar nossa forma de consumir energia elétrica (HAYT, 2007).

As primeiras iniciativas no setor em relação a eficiência energética, como o Programa de Mobilização Energética, surgiram na década de 70 após a crise do petróleo. Com esse fato, a partir da década de 80 foram desenvolvidos os seguintes programas: O Programa Nacional de Etiquetagem (PBE), a partir do protocolo firmado pelo Ministério da Economia, Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC) e Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE); O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), relacionado ao Ministério de Minas e Energia (MME) coordenado pela Eletrobrás; e, O Programa Nacional de Conservação de petróleo e Derivados (CONPET), vinculado também aos fomentados do PROCEL (MME, 2006).

Posteriormente, em 24 de julho de 2000, foi promulgada a Lei nº 9.991 a qual estabeleceu a obrigatoriedade das Distribuidoras de Energia Elétrica realizarem investimentos em programas de Eficiência Energética (EE). Neste âmbito, surgiu o Programa de Eficiência Energética das Concessionárias de Distribuição de Energia Elétrica (PEE) que, nos estágios iniciais buscou-se a redução de perdas técnicas das redes de distribuição, uso de lâmpadas mais eficientes bem como a realização de diagnósticos energéticos. E, no ano de 2005, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabeleceu que 50% dos recursos do PEE deveriam ser destinados a melhorias das instalações dos consumidores residenciais de baixa renda (MME, 2011).

Atualmente, ressalta-se com o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) de 2027, documento informativo desenvolvido anualmente pela EPE em conjunto com o MME, a expansão do Sistema Elétrico Nacional (SIN) no horizonte de dez anos. As modificações do setor são executadas com base em três pilares: econômico,

estratégico e social. Para legalidade das alterações, as modificações de legislação e regulamentação que apresentam mudanças substanciais no equilíbrio econômico e relacional dos agentes do setor são realizadas por meio de um estudo prévio e consultas públicas abertas a sociedade.

Em relação ao Ambiente de Contratação Regulada (ACR), onde o consumidor dispõe da energia fornecida de acordo com a contratação nos leilões já existentes das Concessionária de distribuição, as modalidades tarifárias foram divididas em dois grupos no Grupo A e Grupo B, sendo o último, foco de aplicação deste trabalho (ANEEL, 2010). Em janeiro de 2020, o Grupo B, especificamente, os consumidores do tipo Comercial e Residencial, representam aproximadamente 79,3 milhões de unidades consumidoras no Brasil, representando 71,10% do consumo total (ANEEL, 2020).

Em relação a Eficiência Energética, o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEE) apoiado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), Empresa de Pesquisa Energética (EPE), CONPET, PROCEL, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) e Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) junto ao MME, destaca dois fatores chave para economia de energia elétrica: o desenvolvimento de técnicas que tornem os equipamentos e serviços mais eficientes; e, a alteração nos padrões comportamentais das pessoas.

Dentro do contexto da alteração de padrões comportamentais, torna-se evidente a necessidade de um modelo integrado de reeducação do uso da energia no sistema de ensino brasileiro por meio do desenvolvimento de políticas públicas (MME, 2011).

De acordo com estudo realizado pelo *Copenhagen Centre on Energy Efficiency* (CEE) no México, foi possível notar a tendência de redução de consumo, de 6% a 15%, apenas com a identificação e mudança de hábitos proveniente de consumidores com potencial de economizar energia na operação das instalações. E, com a implementação de políticas e programas de incentivo de substituição de equipamento ineficientes, a economia pode aumentar entre 25% e 40%. Além disso, o estudo salientou também que, o sistema de ar condicionado apresenta grande potencial de redução do consumo de energia em instalações residenciais, comerciais e diversos setores bem como o sistema de refrigeração em sistemas industriais (CCEE, 2015).

Complementarmente, os estudos regionais e nacionais da América Latina reforçam a concepção de que o conhecimento sobre o uso eficiente da energia elétrica contribui com a redução do consumo de energia elétrica com cerca de 15% a 20% sem privar o usuário de seu conforto (NOGUEIRA, 2010; CARPIO et al. 2014).

O mercado, hoje, dispõe de dispositivos digitais para análise de energia elétrica em grandes sistemas como subestações e instalações industriais (LAMIN, 2009). Os mesmos também, podem ser aplicados em instalações comerciais e residenciais, contudo, o elevado custo e falta de conhecimento distancia o consumidor comercial e residencial de sua utilização.

Em contrapartida, dispositivos eletrônicos baseados em sistemas embarcados, sistemas dedicados a uma tarefa por meio de sensores ou atuadores (BALL, 2005), têm ganhado espaço no mercado principalmente quando associado a Internet das Coisas, ou *Internet of the Things* (IOT), termo comumente utilizado. A perspectiva é que em 2025 exista cerca de 41,6 bilhões de dispositivos conectados à internet (IDC, 2020).

De acordo com o estudo Roadmap Tecnológico do BNDES,

Internet das Coisas é uma infraestrutura global para sociedade da informação, que habilita serviços avançados por meio da interconexão entre coisas (físicas e virtuais), com base nas Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC). (BNDES, 2017).

A cadeia de valor da arquitetura IOT, de acordo com o estudo supracitado, é atribuída em quatro camadas: Dispositivos, onde engloba o desenvolvimento de sensores, placas eletrônicas, etc; Rede, associada a conectividade e controle das informações; Suporte a Serviços e Aplicações, atrelado ao processamento e armazenamento das informações medidas; Segurança da Informação, com a garantia de privacidade e confiabilidade dos dados (BNDES, 2018).

O sistema embarcado pode ser utilizado em aplicações variadas como a atuação em redes com sensores Wireless, monitoramento de sistemas de saúde (ou *Hearthcare*, termo comumente utilizado), Conexão de veículos autônomos, *Smart Grids*, Indústrias inteligentes etc. (RAZA, 2016). É importante destacar que o contexto de casas inteligentes (ou *Smart Home*, termo comumente utilizado) está associado a aplicação do poder computacional na integração de diversos e diferentes dispositivos para aplicações em um mesmo ambiente (LINO, 2013). Ou seja, o controle de equipamentos domésticos e a medição de energia elétrica (Consumo, Tensão e

Corrente) possuem o potencial de auxiliar o Consumidor do grupo B no conhecimento sobre o consumo de energia.

Com a utilização de dispositivos que ajudem na interação entre os consumidores e suas instalações, estudos apresentam características importantes para que seja possível promover a mudança de hábitos de consumo como: gerenciamento com interface amigável (ZOYA, 2019); recebimento de informação sobre formas de redução de consumo de energia (KUMAR, 2013); e, sistema de feedbacks sobre o comportamento de consumo (FARUQUIA, 2010; DARBY, 2000).

Os fatores supracitados reforçam que a perspectiva de mudança do mercado de energia, apresentam o potencial de redução de consumo por meio do conhecimento e mudança de hábitos bem como da aplicabilidade dos sistemas embarcados na medição de energia, uma vez que o consumidor do Grupo de Baixa Tensão (BT) terá mais liberdade para escolher a modalidade tarifária e adequar sua forma de utilizar a energia.

É importante salientar que, para o desenvolvimento deste trabalho, foi realizado um levantamento bibliográfico por meio de teses, trabalhos publicados em congressos, artigos científicos nacionais e internacionais, sites oficiais sobre a regulamentação e fornecedores, dentre outros. Foi realizada também a análise qualitativa para definição do sistema embarcado aplicado ao medidor desenvolvido e uma análise quantitativa aplicada para validação dos dados de medição. Segue abaixo os objetivos deste trabalho:

## **1.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral deste trabalho consiste na aplicação de um sistema embarcado para o desenvolvimento de um dispositivo de medição de energia elétrica de baixo custo.

## **1.2 OS OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Os objetivos específicos deste trabalho foram divididos em cinco capítulos, conforme listado abaixo:

- 1.2.1 Classificação Tarifária do Grupo B;
- 1.2.2 Medição de Energia Elétrica;
- 1.2.3 Equipamentos de Medição de Energia Elétrica Convencionais;
- 1.2.4 Equipamentos de Medição de Energia Elétrica Contemporâneos;
- 1.2.5 Sistemas Embarcados.



## 2 CLASSIFICAÇÃO TARIFÁRIA DO GRUPO B

Os consumidores de baixa tensão, ou Grupo B, são definidos pela ANEEL e subdivididos em categorias que, de acordo com a atividade exercida na instalação e consumo de energia (utilização da energia), possuem um valor de tarifa diferente aplicado ao consumo ativo, em kWh, e demais grandezas de medição (ANEEL, 2019). A Tabela 1 apresenta a lista de todas as classes tarifárias associadas aos consumidores do Grupo B.

Tabela 1 - Classes Tarifárias - Grupo B

<b>Classes Tarifárias</b>
B1 – Residencial
B1 – Residencial Baixa Renda
B1 – Residencial Baixa Renda Indígena e Quilombola
B2 – Rural / Cooperativa de Eletrificação Rural
B2 – Rural Irrigante
B2 – Serviço Público de Irrigação
B3 – Comercial, Serviços e Outras atividades
B3 – Serviço Público de Água, Esgoto e Saneamento
B4a e B4b – Iluminação Pública
B4a – Rede de Distribuição
B4b – Bulbo de Lâmpada

Fonte: COELBA (2019).

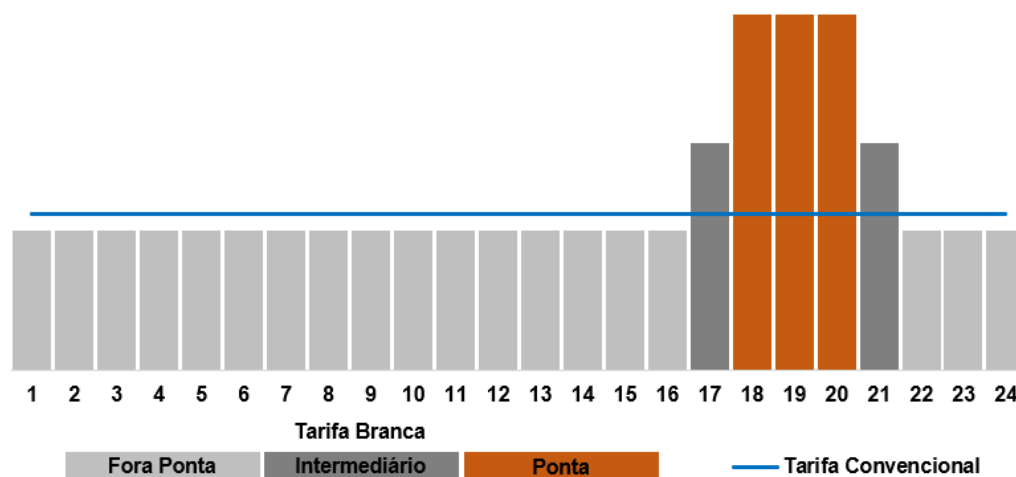
Atualmente, o enquadramento tarifário do Grupo B possui duas modalidades vigentes:

- **Tarifa convencional monômnia** - de forma compulsória e automática, ou seja, ao longo do dia o consumo de energia elétrica é faturado sobre um único valor de tarifa;
- **Tarifa horária branca** - o consumidor possui três valores de tarifa ao longo do dia, sendo eles o Horário Intermediário, Horário de Ponta e Horário Fora Ponta.

A Figura 1 abaixo retrata o comparativo entre as duas tarifas supracitadas em relação ao custo do consumo de energia ao em dias úteis (ANEEL, 2019). Nos

demais dias (sábado, domingos e feriados), apenas a tarifa do horário fora ponta é aplicado.

Figura 1 - Comparativo Ilustrativo do R\$/kWh entre a Tarifa Branca e Tarifa Convencional em dias úteis



Fonte: Adaptado de ANEEL (2019).

É importante destacar que a Tarifa Branca pode ser aplicada a maioria das classes tarifárias, com exceção do subgrupo B4 e B1. A Resolução Normativa nº 733/2016 permite que a adesão ocorra de forma gradativa, permitindo a adesão a todos os consumidores até o ano de 2020, conforme descritivo abaixo:

- **Consumidores com média anual de consumo superior a 500 kWh:** podem aderir desde 01 de janeiro de 2018;
- **Consumidores com média anual de consumo superior a 250 kWh:** podem aderir desde 01 de janeiro de 2019;
- **Consumidores com média anual de consumo inferior a 250 kWh (todos os consumidores):** podem aderir a partir de 01 de janeiro de 2020;

Os períodos dos postos tarifários são revisados pela ANEEL a cada cinco anos de acordo com as revisões periódicas de cada distribuidora frente a curva de carga de seu sistema elétrico para a área de concessão. Cada distribuidora estabelece o período do posto tarifário de acordo com os seguintes critérios:

- **Horários de Ponta:** período composto por três horas consecutivas, com exceção dos sábados, domingos e feriados nacionais.

- **Intermediário:** período composto por duas horas consecutivas, podendo ser dividido em dois horários intermediários anterior, posterior ou intercessor em relação ao Horário de Ponta.
- **Fora de Ponta:** período de horas complementares ao Horário de Ponta e Intermediário.

A Tabela 2 apresenta os postos horários da Tarifa Branca das distribuidoras do Nordeste. Destacando a Coelba, concessionária do Estado da Bahia, por exemplo, que optou por estabelecer o horário intermediário antecedendo o horário de ponta conforme permitido pela resolução normativa.

Tabela 2 - Posto tarifário das Distribuidoras - Tarifa Branca

<b>Distribuidora</b>	<b>Intermediário 1</b>	<b>Horário Ponta</b>	<b>Intermediário 2</b>	<b>Resolução</b>
Ceal	16:30 – 17:30	17:30 – 20:30	20:30 – 21:30	1.606/2013
Celpe	16:30 – 17:30	17:30 – 20:30	20:30 – 21:30	2.226/2017
Cemar	16:00 – 18:00	18:00 – 21:00	21:00 – 22:00	2.289/2017
Cepisa	16:30 – 17:30	17:30 – 20:30	20:30 – 21:30	1.605/2013
Cercos	16:30 – 17:30	17:30 – 20:30	20:30 – 21:30	2.245/2017
<b>Coelba</b>	<b>16:00 – 18:00</b>	<b>18:00 – 21:00</b>		<b>2.382/2018</b>
Cosem	15:30 – 17:30	17:30 – 20:30		2.386/2018
EBO	16:30 – 17:30	17:30 – 20:30	20:30 – 21:30	2.200/2017
ENEL CE	16:30 – 17:30	17:30 – 20:30	20:30 – 21:30	2.530/2019
EPB	16:30 – 17:30	17:30 – 20:30	20:30 – 21:30	2.291/2017
ESE	16:30 – 17:30	17:30 – 20:30	20:30 – 21:30	2.387/2018
Sulgipe	16:30 – 17:30	17:30 -20:30	20:30 – 21:30	2.242/2017

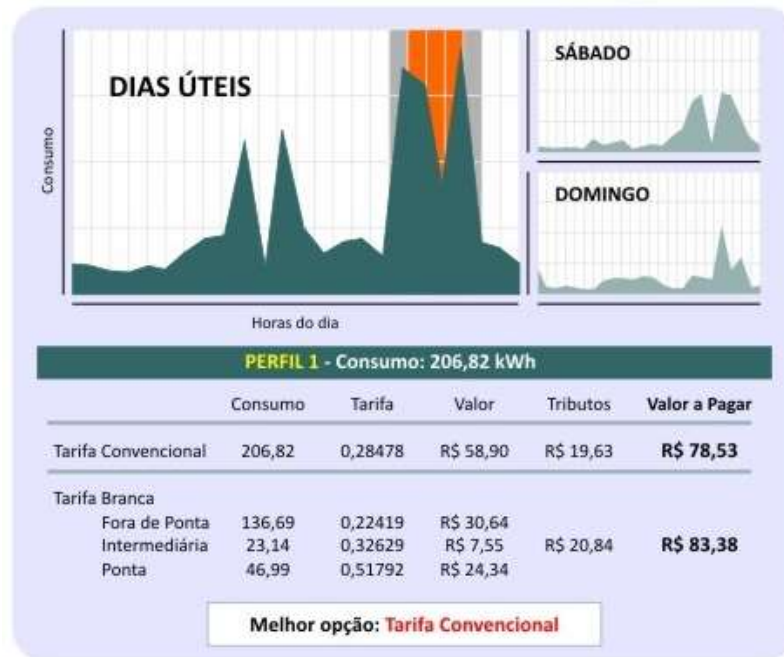
Fonte: ANEEL (2019).

É importante salientar que os consumidores do Grupo B, quando optarem a mudança de classificação tarifária, devem conhecer detalhadamente o perfil de consumo da instalação ao longo do dia frente aos postos tarifários dispostos na modalidade tarifária branca homologados pela ANEEL (ANEEL, 2010). Segue abaixo alguns exemplos de análise sobre a adesão:

## 2.1 EXEMPLO 1 – CONSUMIDOR RESIDENCIAL

O consumidor residencial, representado na Figura 2, possui a fatura de energia com a classificação tarifária do tipo Convencional e, em dias úteis, apresenta o consumo mais elevado em faixas horárias específicas, resultando no consumo mensal de 206,82 kWh.

Figura 2 - Exemplo 1 – Consumidor residencial



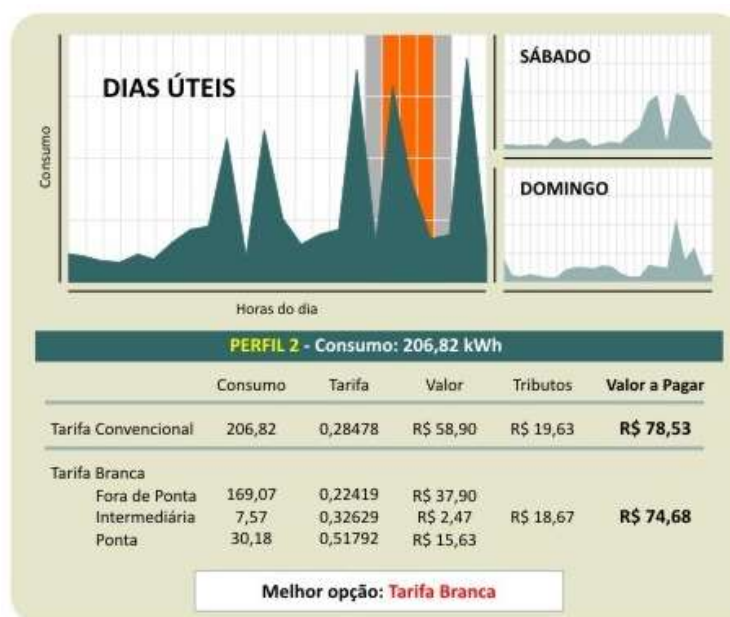
Fonte: ANEEL (2019).

Ao verificar o perfil de carga com o intuito de analisar a viabilidade de adesão da tarifa branca, foi possível identificar o consumo em cada faixa horária, sendo ele: 136,69 kWh para o horário fora de ponta; 23,14 kWh para a faixa intermediária; e, 46,99 kWh para o horário de ponta. Ao comparar financeiramente, na tarifa convencional a fatura de energia custou R\$ 78,53 enquanto na tarifa branca o custo foi de R\$ 83,38.

Contudo, após a análise dos hábitos de utilização e eficiência dos equipamentos foi possível realizar mudanças como a mudança do horário do uso do chuveiro elétrico e ar condicionado. Após as mudanças de hábitos, houve o deslocamento da maior parte do consumo para o horário posterior aos horários de pico e intermediário, permitindo a economia, conforme

Figura 3. Desta forma, após mudanças de hábitos a tarifa branca se mostrou, financeiramente, mais viável.

Figura 3 - Exemplo 1 - Economia consumidor residencial

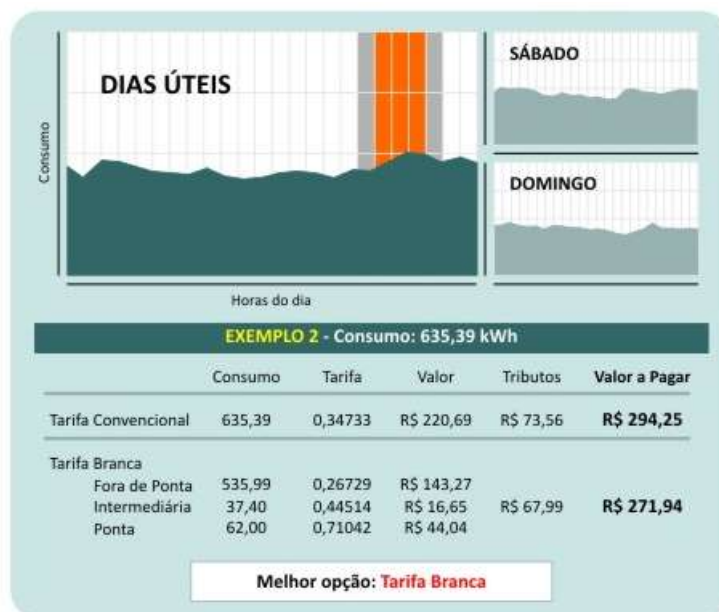


Fonte: ANEEL (2019).

## 2.2 EXEMPLO 2 – CONSUMIDOR COMERCIAL

O consumidor comercial, representado na Figura 4, possui a fatura de energia com a classificação tarifária do tipo Convencional e, em dias úteis, apresenta o consumo relativamente constante em todas faixas horárias específicas, resultando no consumo mensal de 635,39 kWh.

Figura 4 - Exemplo 2 - Consumidor Comercial



Fonte: ANEEL (2019).

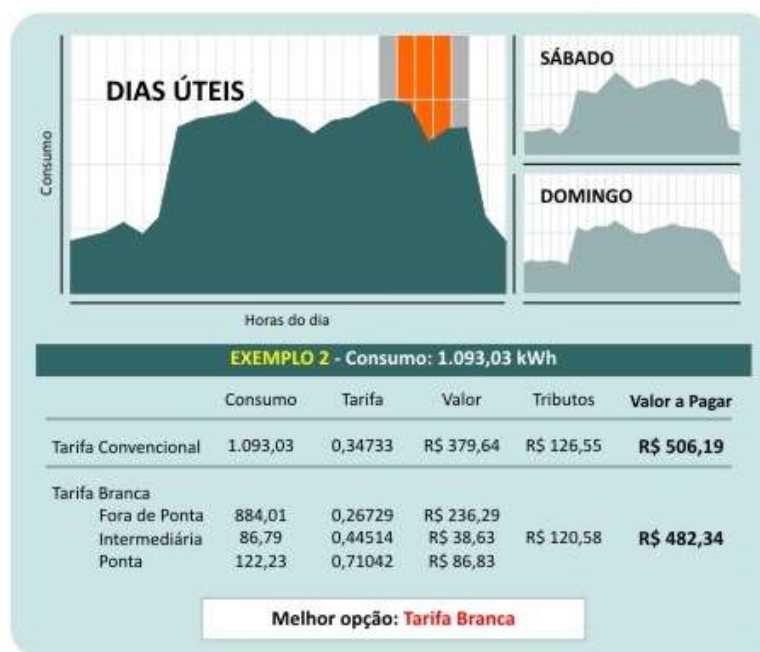
Ao verificar o perfil de carga com o intuito de analisar a viabilidade de adesão da tarifa branca, foi possível identificar o consumo em cada faixa horária, sendo ele: 535,99 kWh para o horário fora de ponta; 37,40 kWh para a faixa intermediária; e, 62 kWh para o horário de ponta. Ao comparar financeiramente, na tarifa convencional a fatura de energia custou R\$ 294,25 enquanto na tarifa branca o custo foi de R\$ 271,94.

Após a análise da curva de carga e comparação financeira o consumidor comercial, a fatura apresentou a viabilidade de adesão da tarifa branca mesmo sem a mudança de hábitos ou troca de equipamentos.

### 2.3 EXEMPLO 3 – CONSUMIDOR INDUSTRIAL

O consumidor industrial, representado na Figura 5, possui a fatura de energia com a classificação tarifária do tipo Convencional e, em dias úteis, apresenta o consumo alto em uma determinada faixa horária, resultando no consumo mensal de 1.093,03 kWh.

Figura 5 - Exemplo 3 - Consumidor Industrial



Fonte: ANEEL (2019).

Ao verificar o perfil de carga com o intuito de analisar a viabilidade de adesão da tarifa branca, foi possível identificar o consumo em cada faixa horária, sendo ele: 884,01 kWh para o horário fora de ponta; 86,79 kWh para a faixa intermediária; e, 122,23 kWh para o horário de ponta. Ao comparar financeiramente, na tarifa convencional a fatura de energia custou R\$ 506,19 enquanto na tarifa branca o custo foi de R\$ 482,34.

Após a análise da curva de carga e comparação financeira o consumidor industrial, a fatura apresenta a viabilidade de adesão da tarifa branca mesmo sem a mudança de hábitos ou troca de equipamentos.

Dentro desse contexto, é possível notar que o conhecimento sobre o consumo de energia da instalação em conjunto com a mudança de hábitos pode contribuir na economia da fatura de energia do consumidor.

Complementarmente, de acordo com a portaria N° 465 de 2019, está previsto que até 2022 a ANEEL e Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) apresentem as medidas regulatórias necessária para que consumidores com carga inferior a 500 kW possa aderir ao mercado livre de energia. Desta forma, com a evolução do setor elétrico, novas modalidades tarifárias e abertura para o mercado livre de energia, fica evidente a necessidade de um dispositivo que consiga transmitir ao consumidor final o conhecimento sobre medição de energia elétrica da sua própria

instalação. O tópico a seguir abordará os princípios básicos da medição de energia elétrica.

### 3 MEDIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Para fins de comparação de uma grandeza de mesma espécie a medida consiste em um processo no qual existe um padrão único e comum (BONFIM, 2002). Dentro desse contexto, as principais medidas relacionadas a energia elétrica se resumem a: corrente elétrica, dada em Amperes (A); tensão elétrica, apresentada em Volt (V); e, por fim, a potência, dada em Watt (W). Sendo essa última amplamente conhecida dentre os consumidores devido aos equipamentos eletrodomésticos e faturamento das contas de energia.

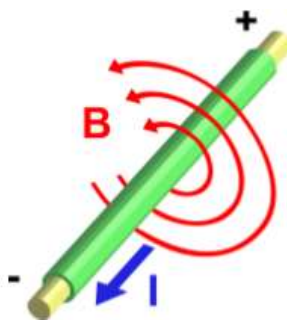
Dentre os conceitos físicos aplicados para medição de energia elétrica, a Lei de Ampère estabelece que: “Em qualquer curva fechada, o integral do campo magnético é proporcional à corrente elétrica que passa através da curva”:

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{r} = 4\pi k_m I_{int} \quad (1)$$

Sendo  $B$ , Equação (1), a densidade de fluxo magnético;  $C$ , a curva fechada;  $k_m$ , uma constante magnética; e  $I_{int}$ , a corrente total que passa dentro da curva  $C$ . A Figura 6 abaixo retrata o comportamento de um campo magnético produzido por um cabo percorrido de uma corrente elétrica.



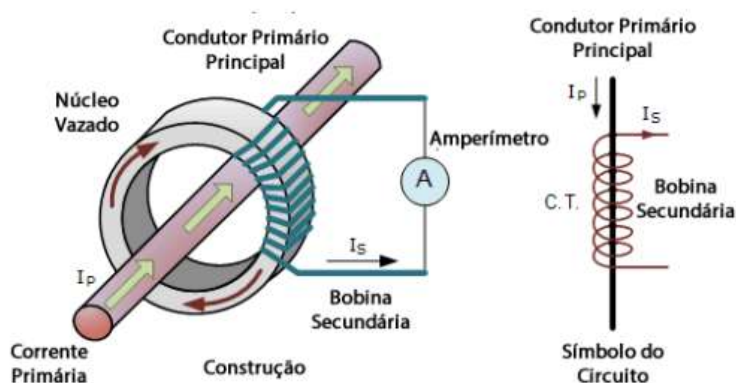
Figura 6 - Campo magnético em um cabo energizado



Fonte: Villate (2011).

Em termos práticos, a Lei de Ampère é amplamente aplicada nos Transformadores de Corrente (TC) para medição de corrente elétrica. O princípio de funcionamento é apresentado na Figura 7, onde no momento em que a corrente primária ou condutor primário principal atravessa a bobina secundária a variação do campo magnético induz uma corrente elétrica de 1A até no máximo 5A ampères para determinação da corrente do condutor (SILVEIRA, 2019).

Figura 7 - TC - Desenho esquemático



Fonte: Silveira (2019).

Atualmente, dentro do contexto de inovação do setor de energia elétrica, podemos entender a medição de energia elétrica como Medição Convencional, associada aos equipamentos das empresas consolidadas no mercado; e Medição Contemporânea, vinculada a utilização dos sistemas embarcados no auxílio da medição. Os dois tópicos seguintes abordarão exemplos de equipamentos de medição supracitados.

## **4 EQUIPAMENTOS DE ANÁLISE E MEDIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA CONVENCIONAIS**

Os equipamentos convencionais são aqueles cuja tecnologia é aplicada no mercado de forma mais consolidada. Eles variam desde equipamentos mais simples com medição instantânea à equipamentos mais robustos que analisam distúrbios e armazenam dados. Nos tópicos a seguir serão apresentados alguns modelos dos equipamentos de medição e análise bem como o preço praticado no mercado atualmente.

### **4.1 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Nesta seção serão abordados os equipamentos medem as grandezas básicas de energia como corrente, potência e tensão e que podem ser utilizados por consumidores de baixa tensão. Os equipamentos encontrados foram classificados nas categorias da seguinte forma:

- Medidores para faturamento de energia
- Medidores de grandezas elétricas instantânea
- Medidores invasivos em painéis elétricos

- Medidores de automação residencial

É importante salientar que, devido à variedade de fornecedores de um mesmo tipo de equipamento, o detalhamento realizado abaixo para cada categoria levou em consideração um modelo de equipamento.

#### 4.1.1 Medidores para faturamento de energia

Os medidores utilizados para faturamento de energia podem ser encontrados no mercado para utilização segregada de circuitos que alimentam outras instalações elétricas ou para comparação em relação a concessionária de energia visto que seguem os mesmos padrões normativos estabelecidos pelo INMETRO.

A Figura 8 apresenta um modelo de medidor trifásico utilizado para faturamento de energia elétrica. Esse tipo de medidor também é utilizado para individualização interna de medição das instalações, permitindo a medição das seguintes grandezas: energia ativa medida em kWh; reativa capacitiva ou indutiva medida em kVarh; corrente (A); tensão (V); e, fator de potência. É importante destacar que, para acompanhamento mensal do consumo de energia, é necessário acompanhar no próprio visor do equipamento dos dias de medição da concessionária.

Figura 8 - Medidor para faturamento de energia



Fonte: Landis (2020).

#### 4.1.2 Medidores de grandezas elétricas instantânea

Os medidores de grandezas elétricas instantânea são amplamente utilizados por profissionais da área técnica e de engenharia para medição e testes de equipamento ou instalações elétricas para comparação manutenção, inspeção ou reparos.

A Figura 9 apresenta um modelo de um alicate amperímetro utilizado para medição de energia elétrica, permitindo a medição de corrente CA de 1000A, tensão alternada e contínua (V); e, resistência ( $\Omega$ ).

Figura 9 - Medidor de grandezas elétricas instantânea



Fonte: Fluke (2020).

#### 4.1.3 Medidores invasivos para painéis elétricos

Os medidores invasivos para painéis elétricos são usualmente utilizados em instalações ou circuitos elétricos específicos onde se deseja realizar a medição. A Figura 10 apresenta um modelo de medidor invasivo em painéis elétricos, pois, para realizar a medição é necessária a sua instalação diretamente no painel elétrico. Esse tipo de medidor permite a medição do consumo de energia elétrica em uma instalação de baixa tensão de 220V.

Figura 10 - Medidor invasivo para painéis elétricos



Fonte: Easyaut (2020).

#### 4.1.4 Medidores de automação residencial

Os medidores de automação residencial são normalmente utilizados em instalações onde se deseja realizar o monitoramento e controle da instalação elétrica. A Figura 11 apresenta um modelo de medidor de automação residencial invasivo que realiza a medição de grandezas elétricas como: potência(W), tensão(V), corrente elétrica(A). Além disso, o dispositivo permite o acesso via aplicativo de celular para acompanhamento e controle do circuito elétrico no qual o medidor foi instalado.

Figura 11 - Medidor de automação residencial



Fonte: Sonoff (2020).

Conforme apresentado acima, os medidores de energia elétrica apresentam uma diversidade de dispositivos e equipamentos que permitem a medição e acompanhamento de energia. A Tabela 3 apresenta custo dos modelos de medidores de energia supracitados:

Tabela 3 - Equipamentos de Medição de Energia Elétrico

<b>CATEGORIA</b>	<b>Modelo</b>	<b>Fornecedor</b>	<b>Preço</b>
Medidores para faturamento	<b>E34A</b>	Landis Gyr	R\$ 289,49
Medidores de grandezas instantâneas	<b>Fluke 305</b>	Fluke	R\$ 420,99
Medidores invasivos em painéis elétricos	<b>DDS238-4</b>	Hiking	R\$ 219,00
Medidores de automação residencial	<b>Pow P2</b>	Sonoff	R\$ 76,99

Fonte: Landis (2020); Fluke (2020); Easyaut (2020) e Sonof (2020).

## 4.2 EQUIPAMENTOS DE ANÁLISE DE ENERGIA ELÉTRICA

Nesta seção serão abordados os equipamentos realizam a análise de energia conforme medição das grandezas elétricas da instalação: corrente, potência e tensão, frequência etc. Segue abaixo alguns modelos de analisadores de energia:

#### 4.2.1 Analisador Fluke 435 – II

Segue abaixo na Figura 12 o analisador Fluke 435 - II

Figura 12 - Analisador Fluke 435 - II



Fonte: Fluke (2020).

Segue abaixo na Tabela 4 as características técnicas.

Tabela 4 - Características do analisador Fluke 435 - II

<b>ANALISADOR FLUKE 435 - II</b>	
Medição AC	Sim
Medição DC	Sim
Grandezas Medidas	Corrente, Tensão, Interrupções, Harmônicos, Potência (ativa, reativa, aparente), Energia, FP, Frequência, Demanda, Monetização da Perda de Energia, Flicker, Função Scope.
Acessórios	4 Sondas de corrente flexíveis; 5 Pontas de teste e clips de tensão; Carregador de baterias; Software PowerLog; Cabo USB; Estojo flexível; Cartão SD 8GB
Uso de Software	SIM

Fonte: Fluke (2020).

#### 4.2.2 Analisador Fluke 1736

Segue abaixo na Figura 13 o analisador Fluke 1736.

Figura 13 - Analisador Fluke 1736



Fonte: Fluke (2020).

Segue abaixo na Tabela 5 - Características do analisador Fluke 1736 as características técnicas.

Tabela 5 - Características do analisador Fluke 1736

<b>ANALISADOR FLUKE 1736</b>	
Medição AC	Sim
Medição DC	Não
Grandezas Medidas	Corrente, Tensão, Harmônicos, Potência (ativa, reativa, aparente), Energia, FP, Frequência, Demanda, Flicker, Função Escape.
Acessórios	4 Sondas de corrente flexíveis; 5 Terminais e clips de tensão; Software PowerLog; Cabo de interface com PC; Adaptador CA internacional; Estojo flexível;
Uso de Software	SIM

Fonte: Fluke (2020).

#### 4.2.3 Analisador Shneider ION7600

Segue abaixo na Figura 14 o analisador Shneider ION7600.

Figura 14 - Analisador Shneider ION7600



Fonte: MEMT (2020).

Segue abaixo na Tabela 6 as características técnicas.

Tabela 6 - Características do analisador Shneider ION7600

<b>ANALISADOR SHNEIDER ION7600</b>	
Medição AC	Sim
Medição DC	Não
Grandezas Medidas	Corrente, Tensão, Interrupções, Harmônicos, Potência (ativa, reativa, aparente), Energia, FP, Frequência, Demanda, Flicker.
Acessórios	4 Transdutores do tipo alicate; Cabos para conexão de tensão; Cabos para conexão de corrente; Cabo de força para alimentação; Caixa de armazenamento;
Uso de Software	SIM

Fonte: METRUM (2020).

#### 4.2.4 Analisador Embrasul RE8000

Segue abaixo na Figura 15 o analisador Embrasul RE8000.



Figura 15 - Analisador Embrasul RE80000



Fonte: EMBRASUL (2020).

Segue abaixo na Tabela 7 as características técnicas.

Tabela 7 - Características do analisador Embrasul RE8000

<b>ANALISADOR EMBRASUL RE8000</b>	
Medição AC	Sim
Medição DC	Não
Grandezas Medidas	Corrente, Tensão, Interrupções, Harmônicos, Potência (ativa, reativa, aparente), Energia, FP, Frequência, Demanda, Flicker, Função Escape.
Acessórios	4 Transdutores do tipo alicate e/ou 4 Transdutores flexíveis; Cabos para conexão de tensão; Cabos para conexão de corrente; Cabo de força para alimentação; Maleta de armazenamento;
Uso de Software	SIM

Fonte: EMBRASUL (2020).

#### 4.2.5 Analisador Embrasul EN7000

Segue abaixo na Figura 16 o analisador Embrasul RE8000.

Figura 16 - Analisador Embrasul EN7000



Fonte: EMBRASUL (2020).

Segue abaixo na Tabela 8 Tabela 5 - Características do analisador Fluke 1736as características técnicas.

Tabela 8 - Características do analisador Embrasul EN7000

<b>ANALISADOR EMBRASUL EN7000</b>	
Medição AC	Sim
Medição DC	Não
Grandezas Medidas	Corrente, Tensão, Interrupções, Harmônicos, Potência (ativa, reativa, aparente), Energia, FP, Frequência, Demanda, Flicker.
Acessórios	4 Transdutores do tipo alicate; 4 Transdutores flexíveis; Cabos para conexão de tensão; Cabos para conexão de corrente; Cabo de força para alimentação; Maleta de armazenamento;
Uso de Software	SIM

Fonte: EMBRASUL (2020).

A Tabela 9 apresenta preço de mercado dos modelos de Analisadores de energia supracitados.

Tabela 9 - Medidores de Energia Convencionais

<b>Modelo</b>	<b>Fornecedor</b>	<b>Preço*</b>
---------------	-------------------	---------------

FLUKE 435 – II	FLUKE	R\$ 71.851,20
FLUKE 1736	FLUKE	R\$ 49.968,00
ION76000	Shneider	R\$ 45.680,00
RE8000	Embrasul	R\$ 45.000,00
RE7000	Embrasul	R\$ 25.800,00

Fonte: Autoria própria da autora desta dissertação, adaptado dos fornecedores.

Nota: \*Apresentado pelo fornecedor em 2016.

Embora os consumidores de baixa tensão possam realizar o uso dos medidores e/ou analisadores de energia, estes equipamentos apresentam limitações que vão desde a dificuldade de instalação ao preço inacessível. Atentos a isso algumas empresas desenvolvem medidores mais contemporâneos, quanto a tecnologia, aos consumidores de baixa tensão, conforme será abordado na próxima seção.

## 5 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA CONTEMPORÂNEOS

Os equipamentos contemporâneos utilizam tecnologia embarcada conectada à internet e são aqueles desenvolvidos por empresas relativamente novas. Esses equipamentos de medição desenvolvidos com a aplicação de sistemas embarcados apresentam funcionalidades direcionadas para o público consumidor de baixa tensão. As funcionalidades consistem em medição em tempo real da tensão, corrente e consumo de energia, análise de tarifação, sistemas de controle de dispositivos, medição da geração da energia solar fotovoltaica (quando existe na instalação), etc.

Segue abaixo o detalhamento dos dispositivos encontrados dentro das características de equipamentos contemporâneos de medição de energia elétrica:

### 5.1 GREENANT

A Greenant é uma empresa brasileira de inteligência de dados para o setor elétrico que desenvolve diferentes tipos de tecnologias que buscam digitalizar e disponibilizar a informação sobre o uso da energia. (GREENANT, 2020). Segue abaixo, na Figura 17, o dispositivo inteligente de medição chamado de “*Smart Meter*” desenvolvido pela Greenant.

Figura 17 - Smart Meter - Greenant



Fonte: GREENANT (2020).

Para realizar a medição é necessário que os medidores de corrente elétrica sejam instalados no disjuntor geral do painel ou circuito elétrico que se deseja realizar a medição e, através da conexão no *Wifi* local é possível acessar o sistema e acompanhar o consumo de energia ao longo do tempo, conforme Figura 18 abaixo.

Figura 18 - Sistema de acompanhamento de dados do Smart Meter



Fonte: GREENANT (2020).

## 5.2 SMAPPE

A Smappe é uma empresa dos Estados Unidos que desenvolve produtos para uso eficiente da energia elétrica, solar, gás e água. Além da medição de energia elétrica, o Smappe permite também o controle de cargas que possuem o conector de tomada, conforme apresentado na Figura 19.

Figura 19 - Dispositivo Smappe



Fonte: SMAPPE (2020).

A instalação do Smappee é realizada por meio da conexão à rede *Wifi* e instalação dos medidores de corrente nos circuitos que serão medidos no painel elétrico. Através da conexão no *Wifi* local é possível acessar o sistema e acompanhar o consumo de energia ao longo do tempo e controlar cargas, conforme Figura 20 abaixo.

Figura 20 - Sistema de acompanhamento do Smappee



Fonte: SMAPPE (2020).

### 5.3 SENSE

A Sense é uma empresa dos Estados Unidos que desenvolve produtos para uso eficiente da energia elétrica e solar. Além disso a tecnologia permite a identificação do consumo de cada aparelho doméstico por meio do sinal de medição, segue abaixo na Figura 21 do dispositivo e sistema de medição.

Figura 21 - Dispositivo e sistema de acompanhamento Sense



Fonte: SENSE (2020).

Para realizar a medição é necessário que os medidores de corrente elétrica sejam instalados no disjuntor geral do painel e, através da conexão no *Wifi* local é possível acessar o sistema e acompanhar o consumo de energia ao longo do tempo.

Dentro desse contexto, segue abaixo o preço dos equipamentos supracitados na Tabela 10.

Tabela 10 - Medição de energia com tecnologia embarcada

<b>Modelo</b>	<b>Preço</b>	<b>País de Origem</b>
GREENANT	R\$ 5.315,79	Brasil
SMAPPEE	R\$ 2.530,06*	Estados Unidos
SENSE	R\$ 1.465,8*	Estados Unidos

Fonte: GREENANT (2019); SMAPPE (2019) e SENSE (2019).

Nota: \* Considerando o Dólar a R\$ 4,20

No tópico a seguir será apresentada revisão bibliográfica dos sistemas embarcados disponíveis no mercado e, em seguida, o detalhamento do projeto proposto bem como os testes realizados.

## **6 SISTEMAS EMBARCADOS**

Utilizados para realizar uma função específica, os sistemas embarcados consistem em sistemas eletrônicos microprocessados que exercem diversas funções presentes no cotidiano residencial ou industrial. Impressão de páginas de uma impressora, antenas retransmissoras, televisões, controle de esteiras transportadoras dentre outros são exemplos de aplicação. (ALMEIDA, 2019).

As funcionalidades dos sistemas embarcados apresentam características restritivas em relação aos recursos computacionais como memória e processamento bem como os estruturais como o número de portas e interface para exibição ou entrada dos dados (ALMEIDA, 2019).

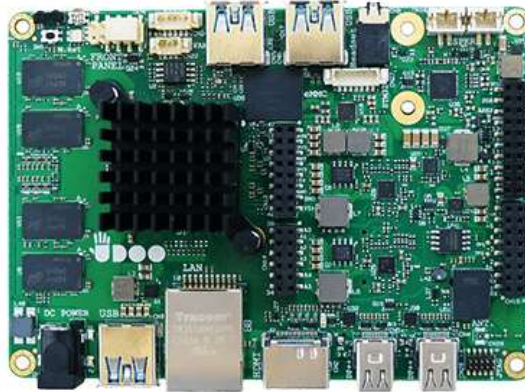
Em relação ao dispositivo desenvolvido neste trabalho, segue abaixo as características de alguns modelos de placas eletrônicas com o descritivo das características do processador, memória, conectividade, sistema operacional, dimensões, características de hardware e preço médio de mercado.

### **6.1 UDOO x86**

As placas eletrônicas da UDOO, Figura 22, foram desenvolvidas por pesquisadores com experiência em designer, eletrônica embarcada, redes de sensores e ciência cognitiva em conjunto com a SECO USA Inc, empresa italiana de

desenvolvimento de computadores, e Aidilab, laboratório de designer da Itália (UDOO, 2019).

Figura 22 - UDO x86 Ultra



Fonte: UDOO (2019).

Devido suas características de um computador, o UDOO pode executar softwares, principalmente jogos e streaming de vídeo, utilizados em computadores convencionais. Segue abaixo a Tabela 11 com as suas características técnicas.

Tabela 11 - Características UDO x86

<b>UDO x86</b>	
Microcontrolador	ATmega32U4
Processador	2,24 GHZ Intel Celeron N3160 (Advanced Plus) 2,56 GHZ Intel Pentium N3710 (Ultra)
Memória	4 GB (Advanced) 8 GB (Ultra)
Conectividade	Conexão Ethernet Gigabit Modulo Wireless M.2 USB 4.0
Sistema Operacional	Linux, Android e Windows
Hardware	23 portas digitais / 12 portas analógicas
Dimensões	120mm x 85mm



Preço Médio (R\$)	R\$ 1.050,00
-------------------	--------------

Fonte: UDOO (2019).

## 6.2 NODEMCU

Lançados pela Espressif Systems, empresa multinacional pública de semicondutores de Xangai, os chips ESP32 e ESP8266 foram desenvolvidos com o intuito de oferecer placas de desenvolvimento com baixo custo e alto desempenho para novos projetos de IOT. Em especial, o chip ESP8266 é aplicado à placa NodeMCU dispondo a fonte de alimentação e portas de conexão, conforme Figura 23, permitindo melhor conexão da placa à periféricos (sensores, chaves, etc) (ESPRESSIF, 2019).

Figura 23 - NodeMCU - ESP8266



Fonte: ELECROW (2019).

. Segue abaixo na Tabela 12 as características técnicas do NodeMCU:

Tabela 12 - Características NodeMCU

<b>NodeMCU</b>	
Microcontrolador	ESP8266
Processador	ESP8266 (80MHz /160MHz)
Memória	4Mb falsh
Conectividade	Wi-Fi 2.4 GHz
Sistema Operacional	ESP-IDF (código aberto), ESP-ADF, ESP-WHO, ESP-Skainet.
Hardware	13 portas digitais

	1 porta analógica
Dimensões	49mm x 25,5mm x 7mm
Preço Médio (R\$)	R\$ 39,90

Fonte: ESPRESSIF (2019).

### 6.3 RASPBERRY PI

Desenvolvido pela *Raspberry Pi Foundation* do Reino Unido, a placa eletrônica Raspberry, Figura 24, foi criada com o intuito de popularizar a computação e criação digital para as pessoas (RASPBERRY, 2019).

Figura 24 - Raspberry Pi



Fonte: Raspberry (2019).

O Raspberry é considerado um microcomputador de alto desempenho e baixo custo, conforme segue as características da Tabela 13.

Tabela 13 - Características Raspberry Pi

<b>Raspberry Pi</b>	
Microcontrolador	Não aplicável
Processador	Broadcom 1,4GHz quad-core (Pi 3 B+ e Pi 3 A+) Broadcom 1,2GHz quad-core (Pi 3 B)
Memória RAM	1 GB (Pi 3 B+) 512 MB (Pi3 A+) 1 GB (Pi 3 B)

Conectividade	Wi-Fi Dual Band (2,4 GHz e 5 GHz) e Ethernet (Pi 3 B+) Wi-Fi Dual Band (2,4 GHz e 5 GHz) (Pi 3 A+) Wi-Fi 2,4 GHz e Ethernet (Pi 3 B)
Sistema Operacional	Raspbian
Hardware	14 portas de comunicação
Dimensões	85mm x 56mm x 17mm
Preço Médio (R\$)	R\$ 200,00

Fonte: Raspberry (2019).

## 6.4 ARDUINO

Dado início no projeto de pesquisa *Processing no Instituto de Design de Interação de Ivrea* em 2000, apenas em 2005 foi desenvolvida a primeira placa do Arduino, Figura 25. Desde então, se concretizou como o primeiro projeto de hardware de código aberto para a população (ARDUINO, 2019).

Figura 25 - Arduino Uno



Fonte: Arduino (2019).

Atualmente, com o aprimoramento da tecnologia o Arduino compõe diversos modelos de placas. Segue na Tabela 14 as características técnicas de alguns modelos.

Tabela 14 - Características Arduino

Arduino	
Microcontrolador	Tmega328 Uno R3 ATmega328 Nano
Processador	ATMEL
Memória RAM	2 KB

Conectividade	USB
Sistema Operacional	Windows, Linux, Mac OS X
Hardware	14 portas digitais e 6 analógicas (Uno R3) 14 portas digitais e 8 analógicas (Nano)
Dimensões	68,58mm x 53,34mm (Uno R3) 43,2mm x 18,5mm (Nano)
Preço Médio (R\$)	R\$ 54,90 (Uno) R\$ 38,90 (Nano)

Fonte: Arduino (2019).

Conforme apresentado nas tabelas anteriores, existem diferentes tipos de placas de sistemas embarcados e com características de processamento, memória, portas analógicas e digitais diferentes entre si no mercado. No tópico posterior será apresentada a metodologia e resultados, para escolha do sistema embarcado mais adequado para este projeto, foram ponderados fatores tais como: processamento em relação a aplicação, dimensão da placa e o preço médio.

## **7 METODOLOGIA APLICADA AO MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA**

O desenvolvimento do dispositivo de medição proposto neste trabalho foi realizado em duas etapas, sendo a primeira, uma análise técnica qualitativa para a definição dos componentes e sistema embarcado utilizado e, a segunda, a etapa de análise estatística quantitativa para avaliar a performance da medição do dispositivo desenvolvido.

Na primeira etapa, foi delimitado para o dispositivo como função principal a medição de potência e corrente de forma instantânea por meio de um sensor de corrente não invasivo, sendo a última a variável de validação com os medidores convencionais.

Para escolha do sistema embarcado mais adequado, foram ponderados fatores tais como: aquisição dos dados de processamento em relação a aplicação, dimensão da placa e o preço médio.

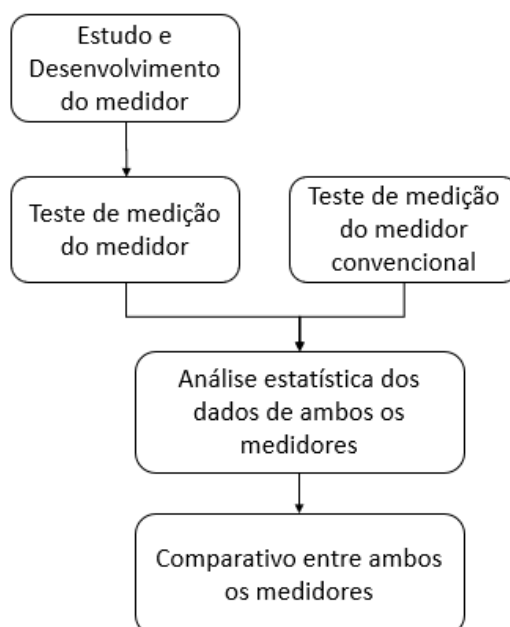
A segunda etapa, foi dividida em duas fases, sendo a primeira, a medição de diferentes arranjos (combinações) de lâmpadas no Laboratório de Máquinas Elétricas,

Térmicas e de Fluxo do Prédio de Aula 6 da Unifacs em Salvador e, a segunda, medição em um ar condicionado em uma instalação elétrica real.

É importante ressaltar que as medições de corrente elétrica realizadas pelo dispositivo foram comparadas simultaneamente com o Alicate Amperímetro Digital da Fluke 179, para o teste de laboratório, e Hikari modelo HA-300 para a instalação elétrica real, ambos amplamente utilizados no mercado.

Em cada experimento, foi realizada a medição a cada segundo, totalizando de seis segundos de amostra de medição, para fins de comparação simultânea entre os medidores. Para desenvolvimento do dispositivo, realização dos testes e demais validações, foi seguido o fluxo conforme Figura 26 abaixo:

Figura 26 - Etapas da segunda fase dos testes

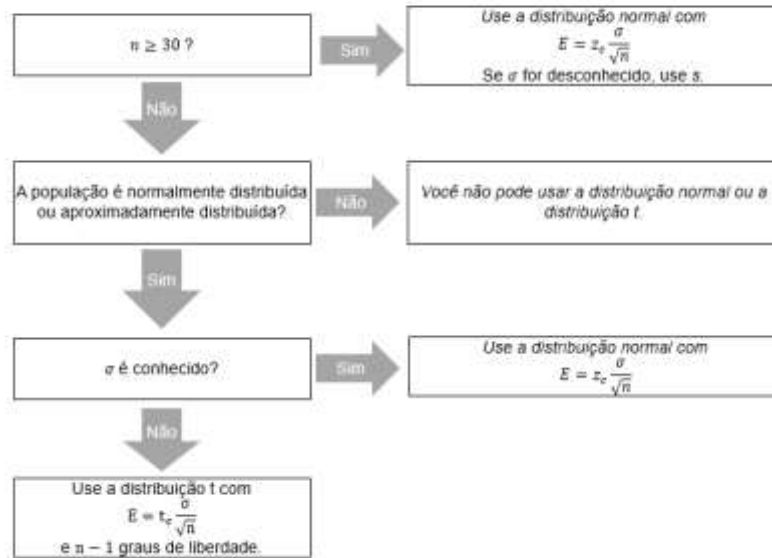


Fonte: Própria da autora desta dissertação (2020).

Para corroborar os valores dos medidores foi realizada a análise estatística de Distribuição t, conforme fluxo na Figura 27, uma vez que tal distribuição é mais recomendada para números de amostras inferiores a 30 (LARSON, 2010).

Figura 27 - Fluxograma para aplicação de Distribuição

O fluxograma descreve quando usamos a distribuição normal para construir um intervalo de confiança para a média da população e quando usamos a distribuição t.



Fonte: Adaptado de Larson (2010).

A partir dos dados de medição foi realizada a Distribuição t para os dados provenientes tanto do medidor convencional do mercado quanto do medidor desenvolvido neste projeto. Foram consideradas as 6 amostras, com o grau de liberdade igual a 5, intervalo de confiança de 99% e, seu correspondente na tabela de Distribuição t igual 3,707. Segue abaixo na Figura 28 o esquemático para análise:

Figura 28 - Cálculo da Distribuição t

- |   |  |
|---|--|
| 1. Identifique a amostra estatística $n, \bar{x}$ e $s$ .                               | $\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$ ; $s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}}$                                     |
| 2. Identifique os graus de liberdade, o nível de confiança $c$ e valores críticos $t_c$ | g.l. = $n - 1$   |
| 3. Encontre a margem de erro $E$ .  | $E = z_c \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$  |
| 4. Encontre os extremos esquerdo e direito e forme os intervalos de confiança.          | Extremo esquerdo: $\bar{x} - E$<br>Extremo direito : $\bar{x} + E$<br>Intervalo: $\bar{x} - E < \mu < \bar{x} + E$ |

Fonte: Adaptado de Larson (2010).

Desta forma, foram analisadas e comparadas as médias, desvio padrão, intervalo de confiança, margem de erro das amostras bem como o intervalo de confiança da distribuição.

## 7.1 DEFINIÇÃO DO MEDIDOR DE ENERGIA

Em relação a escolha do dispositivo deste projeto, conforme delimitação e critérios apresentados na metodologia, foi desenvolvida a Tabela 15 abaixo para tomada de decisão acerca da tecnologia aplicada.

Tabela 15 - Comparativo das Tecnologias

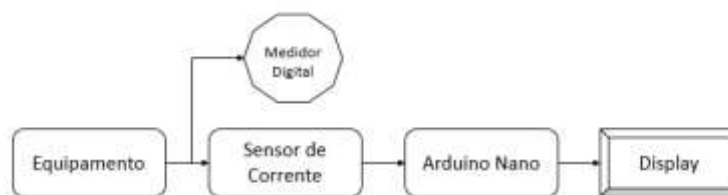
Placa	Aplicação	Dimensão	Preço Médio
UDOO x86	Atende	120mm x 85mm	R\$ 1.050,00
NodeMCU	Atende	49mm x 25,5mm	R\$ 39,90
Raspberry Pi	Atende	85mm x 56mm	R\$ 200,00
Arduino Uno R3	Atende	68,58mm x 53,34mm	R\$ 54,90
Arduino Nano	Atende	18,5mm x 43,2mm	R\$ 38,90

Fonte: Adaptado de UDOO x86, NODEMCU, RASPBERRY PI, ARDUINO (2019).

Conforme apresentado, o microcontrolador ATmega 328 (Arduino Nano) foi escolhido para a aplicação deste trabalho em função das suas características de processamento, dimensão e preço médio, sendo o mais baixo dentre os demais. É importante salientar que, as demais placas possuem características técnicas superiores às necessidades da aplicação proposta nesta dissertação.

Devido seu baixo custo e processador adequado às necessidades dos dados medidos o ATmega328 (Arduino nano) foi aplicado para o recebimento dos dados de medição e apresentação destes instantaneamente no Display. A partir dos dados de medição foi realizada a Distribuição t para os dados provenientes tanto do medidor convencional do mercado quanto do medidor desenvolvido neste projeto. Foram consideradas as 6 amostras, com o grau de liberdade igual a 5, intervalo de confiança de 99% e, seu correspondente na tabela de Distribuição t igual 3,707. Segue abaixo na Figura 29 o esquemático para análise com o esquema simplificado da medição realizado neste trabalho.

Figura 29 - Medição aplicada neste trabalho



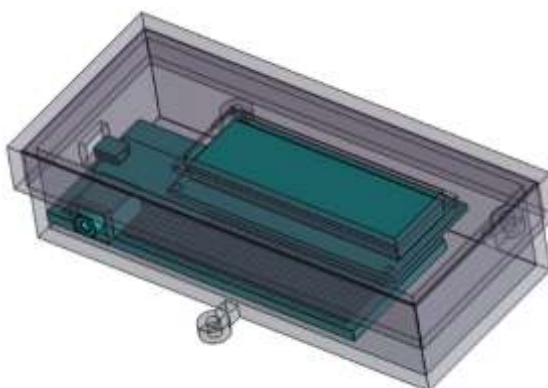
Fonte: Própria da autora desta dissertação (2020).

Para a construção da estrutura do medidor foi realizado o desenho estrutural por meio do SolidWorks, conforme

Figura 30, para impressão na impressora 3D do Laboratório de Sistemas Mecatrônicos e Robótica do Prédio de Aula 6 da Unifacs em Salvador.

Figura 30 - Estrutura do medidor de energia elétrica





Fonte: Própria da autora desta dissertação (2019).

Segue abaixo na Tabela 16 os demais componentes aplicadas a este trabalho.

Tabela 16 - Lista de materiais utilizados

<b>Material</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo (R\$)</b>
Arduino Nano	1	R\$ 15
Display	1	R\$ 25
TC 50mA:100A(SCT-013)	1	R\$ 47
Receptor de cabo de áudio	1	R\$ 2
Capacitor 100uF	1	R\$ 0,5
Resistor 1k $\Omega$	3	R\$ 0,1
Resistor 10k $\Omega$	2	R\$ 0,1
<b>TOTAL</b>		<b>R\$ 89,7</b>

Fonte: Própria da autora desta dissertação (2020).

O sensor de corrente do tipo alicate (não invasivo) que mede de 50mA à 100A com a saída de corrente para o sistema embarcado, classe de exatidão de 3%, Rigidez dielétrica de 6000V AC durante um minuto e temperatura de trabalho de Temperatura de trabalho de -25 °C à +70°C (YHDC, 2020).

Conforme apresentado na Tabela 16 os custos relacionados aos componentes do medidor foram baixos quando comparados aos analisadores e energia e competitivo em relação aos medidores de energia. Contudo, é importante salientar que o valor apresentado contempla apenas os custos dos materiais para o desenvolvimento do protótipo.

## 8 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados os resultados dos testes de medição em cada uma das condições propostas bem como a análise estatística dos dados.

- **Medição em Laboratório**

Para medição em laboratório foram utilizados dois tipos de lâmpadas: incandescentes e fluorescentes. Foram realizados três arranjos das luminárias aplicadas a uma fonte de tensão de 127V para avaliação dos valores de medição.

**Arranjo 1:** Apenas lâmpadas incandescentes.

Neste arranjo foi realizada a medição apenas em lâmpadas incandescentes, conforme a Tabela 17 abaixo apresenta a quantidade e potência de cada uma delas.

Tabela 17 - Arranjo 1 - Lâmpadas Incandescentes

Lâmpada	Potência (W)
1	60
2	60
3	60
4	60
5	60
6	40

Fonte: Própria da autora desta dissertação (2020).

A Figura 31 apresenta o teste realizado no laboratório:

Figura 31 - Teste de bancada - Lâmpadas Incandescentes



Fonte: Própria da autora desta dissertação (2020).

Após a medição, os valores de corrente, foram comparados conforme a cada segundo Tabela 18.

Tabela 18 - Comparativo de medição do Arranjo 1 – Teste de Laboratório

<b>Medição</b>	<b>Medidor (A)</b>	<b>Fluke 179 (A)</b>
1s	2,42	2,384
2s	2,45	2,384
3s	2,45	2,386
4s	2,41	2,386
5s	2,45	2,384
6s	2,46	2,384

Fonte: Própria da autora desta dissertação (2020).

### **Arranjo 2:** Apenas lâmpadas fluorescentes.

Neste arranjo foi realizada a medição apenas em lâmpadas fluorescentes, conforme a Tabela 19 abaixo apresenta a quantidade e potência de cada uma delas.

Tabela 19 - Arranjo 2 - Lâmpadas Fluorescentes

<b>Lâmpada</b>	<b>Potência (W)</b>
1	30
2	30
3	15
4	20
5	40
6	15

Fonte: Própria da autora desta dissertação (2020).

A Figura 32 apresenta o teste realizado no laboratório:

Figura 32 - Teste de bancada - Lâmpadas Fluorescentes



Fonte: Própria da autora desta dissertação (2020).

20. Após a medição, os valores de corrente, foram comparados conforme Tabela

Tabela 20 - Comparativo de medição do Arranjo 2 – Teste de Laboratório

Medição	Medidor (A)	Fluke 179 (A)
1s	1,31	1,305
2s	1,31	1,306
3s	1,31	1,306
4s	1,32	1,308
5s	1,30	1,309
6s	1,32	1,309

Fonte: Própria da autora desta dissertação (2020).

**Arranjo 3:** Conjunto misto entre lâmpadas fluorescentes e incandescentes.

Neste arranjo foi realizada a medição em um conjunto misto entre lâmpadas incandescentes e lâmpadas fluorescentes, conforme a Tabela 21 abaixo apresenta a quantidade e potência de cada uma delas.

Tabela 21 - Arranjo 3 - Lâmpadas Fluorescentes e Incandescentes

Lâmpada	Tipo	Potência (W)
1	Fluorescente	30
2	Fluorescente	30
3	Fluorescente	15
4	Incandescente	40
5	Incandescente	60
6	Fluorescente	15

Fonte: Própria da autora desta dissertação (2020).

A Figura 33 apresenta o teste realizado no laboratório:

Figura 33 - Teste de bancada - Lâmpadas Fluorescentes e Incandescentes



Fonte: Própria da autora desta dissertação (2020).

Após a medição, os valores de corrente, foram comparados conforme Tabela 22.

Tabela 22 - Comparativo de medição do Arranjo 3 – Teste de Laboratório

Medição	Medidor (A)	Fluke 179 (A)
1s	1,62	1,569
2s	1,63	1,57
3s	1,61	1,572
4s	1,61	1,573
5s	1,64	1,574
6s	1,62	1,576

Fonte: Própria da autora desta dissertação (2020).

- **Medição em uma Instalação Elétrica Residencial**

A instalação elétrica utilizada para a medição possui classificação B1 Residencial Trifásico, possui no total cinco moradores e apresenta o consumo médio mensal de 406 kWh de acordo com os dados da Concessionária local.

Para a instalação elétrica residencial foi realizada a medição de corrente elétrica em um ar condicionado do tipo Split Wall com corrente nominal de 5,2 A e alimentação elétrica de 220V. O dispositivo foi instalado diretamente no painel de baixa tensão, conforme Figura 34.

Figura 34 - Medidor instalado no painel elétrico



Fonte: Própria da autora desta dissertação (2020).

Após a medição, os valores de corrente, foram comparados conforme Tabela 23.

Tabela 23 - Medição de Campo – Ar Condicionado

<b>Medição</b>	<b>Medidor (A)</b>	<b>HIKARI HÁ-300 (A)</b>
1s	6,94	6,44
2s	6,91	6,49
3s	6,93	6,37
4s	6,95	6,49
5s	7,00	6,39
6s	6,89	6,39

Fonte: Própria da autora desta dissertação (2020).

Nos itens a seguir serão apresentados os resultados estatísticos de todas as medições propostos neste trabalho. Segue abaixo na Tabela 24 com o resumo dos parâmetros da Distribuição t dos medidores convencionais:

Tabela 24 - Análise da Distribuição t - Medidor Convencional

<b>Testes</b>	<b>Média (A)</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Erro</b>	<b>Intervalo da Direita e Esquerda</b>
Arranjo 1	2,385	0,001	0,002	2,383 < u < 2,386
Arranjo 2	1,307	0,002	0,003	1,305 < u < 1,310
Arranjo 3	1,572	0,003	0,004	1,568 < u < 1,576
Instalação Real	6,428	0,053	0,080	6,348 < u < 6,509

Fonte: Própria da autora desta dissertação (2020).

Em relação aos resultados dos testes realizados com o medidor desenvolvido neste trabalho, a Tabela 25, apresenta o resumo dos parâmetros da Distribuição t para análise estatística comparativa entre os medidores:

Tabela 25 - Análise da Distribuição t - Medidor desenvolvido

<b>Teste</b>	<b>Média (A)</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Erro</b>	<b>Intervalo da Direita e Esquerda</b>
Arranjo 1	2,440	0,020	0,030	2,410 < u < 2,470
Arranjo 2	1,312	0,008	0,011	1,300 < u < 1,323
Arranjo 3	1,622	0,012	0,018	1,604 < u < 1,639
Instalação Real	6,937	0,038	0,057	6,880 < u < 6,994

Fonte: Própria da autora desta dissertação (2020).

Através dos dados acima, notou-se que o medidor desenvolvido neste trabalho demonstrou valores levemente superiores em relação ao medidor convencional para todas as medidas envolvidas. Contudo, as variações bruscas de carga dentre outros

distúrbios de qualidade de energia podem contribuir no erro (PIRES; SILVA, 2010 e 2006). Desta forma, é importante levar em consideração que os medidores convencionais (Fluke e Hikari) são compostos de demais dispositivos eletrônicos que atenuam interferências e demais perturbações de energia.

É possível afirmar também que para ambos os medidores existe 95% de chance de que a média medida esteja dentro do Intervalo de Confiança. Embora o medidor desenvolvido neste trabalho utilize a tecnologia embarcada é importante salientar que, para ambos os medidores, a análise da Distribuição t resultou em valores coerentes entre si.

Desta forma, as medições comparadas entre os medidores convencionais e o medidor desenvolvido neste trabalho demonstraram-se satisfatórias uma vez que apresentaram valores próximos tanto na medição quanto na análise estatística.

## 9 CONCLUSÕES

Durante o desenvolvimento deste trabalho, foi possível notar que o mercado de energia brasileiro está em constante desenvolvimento, principalmente, sobre a regulamentação e abertura de novas formas de tarifação da energia elétrica para o consumidor de baixa tensão. Considerando que os investimentos para eficiência energética no mercado de energia ocorreram há cerca de dezenove anos, as constantes revisões da regulamentação para adesão do consumidor a tarifa branca e, futuramente, ao mercado livre de energia apresentam mais opções ao consumidor de baixa tensão.

Ao analisar a necessidade de conhecimento do consumidor sobre a própria instalação para a tomada de decisão, foi necessário dividir os tipos de equipamentos de medição e/ou em convencionais e contemporâneos a fim de categorizar os equipamentos que utilizam sistemas embarcados visto as constantes inovações que o setor apresenta.

Durante a pesquisa sobre os equipamentos convencionais, foi possível identificar diferentes tipos de equipamento para medição e análise de energia elétrica. Os equipamentos convencionais, foram subdivididos entre os medidores e analisadores de energia e apresentaram aspectos importantes em relação as opções de dispositivos disponíveis no mercado para o consumidor.

Embora os equipamentos de medição tenham apresentado o custo mais acessível para o Grupo B, é importante salientar que a maioria apresenta limitações quando as funcionalidades e a utilização deste necessita de maior conhecimento sobre instalações elétricas a fim de evitar riscos de acidentes. Quanto aos analisadores de energia existentes no mercado, estes apresentaram uma disparidade grande entre o custo quando comparado a acessibilidade de aquisição destes para os consumidores de baixa tensão.

Visto o contexto supracitado, o mercado oportuniza a utilização de sistemas embarcados na medição de energia para amadurecimento do setor em relação a inovação, maior acessibilidade e segurança ao consumidor. Dentre os equipamentos de medição contemporâneos existentes no mercado brasileiro, apenas o dispositivo



da Greeant apresentou competitividade nacional comercial de menor custo e funcionalidades mais acessíveis.

Sendo assim fica evidente que, o desenvolvimento dos dispositivos para medição para fins de análise particular e estudo individual do consumo de energia no Mercado Nacional ainda é deficitário e necessita de mais dispositivos que atendam o mercado consumidor de baixa tensão, especificamente, os consumidores comerciais.

Com as placas de sistemas embarcados, o desenvolvimento de novos dispositivos para medição de corrente e potência elétrica demonstrou potencial para o mercado de energia uma vez que possuem recursos computacionais avançados e um baixo custo. Dentro deste contexto, a aplicabilidade do ATmega 328P neste projeto está diretamente correlacionada a medição de corrente para projeto piloto realizado neste trabalho. Ou seja, para estudos futuros e aprimoramento do dispositivo de medição as demais opções de placas de sistemas embarcados são passíveis de reanálise de aplicação, não sendo algo inflexível.

Em relação ao dispositivo desenvolvido neste trabalho, foi observado também um resultado satisfatório tanto no aspecto de custo quando nos testes de medição. Conforme abordado nos resultados, não houve diferenças significativas entre a medição do medidor e os equipamentos profissionais de mercado.

Os cálculos da Distribuição t aplicados as amostras de medição demonstraram que, do ponto de vista estatístico, ambas as medições apresentaram resultados similares. Contudo, é importante salientar que as pequenas diferenças de medição podem ser corrigidas em trabalhos futuros do dispositivo.

Do ponto de vista social, ambiental e tecnológico o dispositivo demonstrou potencial de desenvolvimento, podendo ser aplicado com o desenvolvimento futuro tanto para escolha da melhor classificação tarifária como para a sensibilização sobre o uso consciente de energia.

Por fim, como proposta para trabalhos futuros sugere-se o desenvolvimento do dispositivo para medição trifásica, conexão com a internet e aplicativo mobile para gestão do consumo de energia em tempo real.

## REFERÊNCIAS

ANEEL. 2019. *REN ANEEL Nº 414/2010*. Disponível em: [www.aneel.gov.br › cedoc › bren2010414](http://www.aneel.gov.br/cedoc/bren2010414) Acesso em: 1 ago. 2019.

ANEEL. 2019. *REN Nº733/2018*. de Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2016733.pdf> Acesso em: 18 dez. 2019.

ANEEL. 2019. *Postos Tarifários REN Nº733/2018*. <https://www.aneel.gov.br/postos-tarifarios> Acesso em: 18 dez. 2019.

ANEEL. 2020. *Relatório Online*. Disponível em: [http://relatorios.aneel.gov.br/\\_layouts/xlviewer.aspx?id=/RelatoriosSAS/RelSAMPCla sseConsNivel.xlsx&Source=http%3A%2F%2Frelatorios%2Eaneel%2Egov%2Ebr%2 FRelatoriosSAS%2FForms%2FAIItems%2Easpx&DefaultItemOpen=1](http://relatorios.aneel.gov.br/_layouts/xlviewer.aspx?id=/RelatoriosSAS/RelSAMPCla sseConsNivel.xlsx&Source=http%3A%2F%2Frelatorios%2Eaneel%2Egov%2Ebr%2 FRelatoriosSAS%2FForms%2FAIItems%2Easpx&DefaultItemOpen=1) Acesso em: 18 abr. 2020.

ANEEL (2019). *Tarifa Branca*. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/tarifa-branca> Acesso em: 26 out. 2019.

ARDUINO (2019). *Arduino Uno R3*. Disponível em: <https://www.baudaeletronica.com.br/arduino-uno-r3.html> Acesso em: 29 out. 2019.

ALMEIDA, Lahis; LIMA, Rachel; SILVA, Edgard. Development of Residential Automation Modules for Performing Low Complexity Activities Using IoT: Emerging Trends and Challenges in Technology. 2019. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-93112-8\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-93112-8_7). Acesso em: 29 out. 2019.

BALL, S. *Embedded Microprocessor Systems: Real World Design*. 3. ed. EUA: MCPros, 2005.

BRASIL. (2018, 29 de dezembro). Portaria nº 514, de 29 de dezembro de 2018. Regulamenta no que se refere às competências da União, estados, municípios e Distrito Federal, na área de do mercado de energia elétrica, define a nova faixa de potência do consumidor que desejar aderir o Mercado Livre de Energia. Brasília, DF: *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, 29. dez. 2018.

BNDES. *Produto 1 – Benchmark de iniciativas e políticas públicas*. 2017. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/pesquisaedados/estudos/estudo-internet-das-coisas-iot/estudo-internet-das-coisas-um-plano-de-acao-para-o-brasil> Acesso em: 16 ago. 2019.

BNDES. *Produto 2 - Roadmap Tecnológico*. 2017. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/pesquisaedados/estudos/estudo-internet-das-coisas-iot/estudo-internet-das-coisas-um-plano-de-acao-para-o-brasil> Acesso em: 16 ago. 2019.

BONFIM, M. *Medidas Elétricas*. 2002. Disponível em: <http://www.eletr.ufpr.br/marlio/medidas/apostila/apostila1a.pdf> Acesso em: 19 abr. 2020.

CCEE. *Accelartion Energy Efficiency: Initiatives and opportunities – Latin American and Coribbean*. 2015. Disponível em: <https://europa.eu/capacity4dev/public-environment-climate/document/accelerating-energy-efficiency-initiatives-and-opportunities-latin-america-and-caribbean> Acesso em: 16 ago. 2019.

CARPIO, C. *Energy Efficiency in Latin America and the Caribbean: Progress and challenges of the past five years*. 2010. Disponível em: <https://www.cepal.org/en/publications/36637-energy-efficiency-latin-america-and-caribbean-progress-and-challenges-past-five> Acesso em: 20 out. 2019.

COELBA. *Tabela de tarifas de energia elétrica Grupo B*. Disponível em: <http://servicos.coelba.com.br/residencial-rural/Pages/Baixa%20Tens%C3%A3o/tarifas-grupo-b.aspx> Acesso em: 1 ago. 2019.

CCEE. *Estrutura de Governança do Setor elétrico Brasileiro*. 2018. Disponível em: [https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/quem-somos/estrutura\\_e\\_pessoas/organograma?\\_afLoop=134119781688199&\\_adf.ctrl-state=voihujrzs\\_1#!%40%40%3F\\_afLoop%3D134119781688199%26\\_adf.ctrl-state%3Dvoihujrzs\\_5](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/quem-somos/estrutura_e_pessoas/organograma?_afLoop=134119781688199&_adf.ctrl-state=voihujrzs_1#!%40%40%3F_afLoop%3D134119781688199%26_adf.ctrl-state%3Dvoihujrzs_5) Acesso em: 1 ago. 2019.

EASYAUT. *Medidor de Consumo Monofásico 100A*. 2020. Disponível em: <http://www.easyaut.com.br/medidor-de-consumo-monofasico-100a/prod-7094405/> Acesso em: 21 abr. 2020.

ESPRESSIF. *About Espressif*. 2019. Disponível em: <https://www.espressif.com/en/company/about-us/who-we-are> Acesso em: 20 out. 2019.

ESPRESSIF SYSTEMS. *Datasheet do Node Mcu8266*. 2019. Disponível em: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf) Acesso em: 15 nov. 2019.

ELECROW. *NodeMCU*. Disponível em: <https://www.elecrow.com/nodemcu-lua-wifi-board-based-on-esp8266-cp2102-module-p-1556.html> Acesso em: 29 out. 2019.

EMBRASUL. *RE8000 Classe A*. 2020. Disponível em: <http://www.embrasul.com.br/solucoes-detalhes?id=3&title=RE8000%20Classe%20A> Acesso em: 21 abr. 2020.

EMBRASUL. *RE7000*. 2020. Disponível em: <http://www.embrasul.com.br/solucoes-detalhes?id=5&title=RE7000> Acesso em: 21 abr. 2020.

FARUQUIA, A. The impact of informational feedback on energy consumption – a survey of the experimental evidence. *Energy*. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.07.042> Acesso em: 21 abr. 2020.

FLUKE. *Fluke 305 – Alicata amperímetro*. 2020. Disponível em: <https://www.fluke.com/pt-br/produto/teste-eletrico/alicates-amperimetros/fluke-305> Acesso em: 21 abr. 2020.

FLUKE. *Analisadores de Energia e de Qualidade de Energia Fluke 434-II e 435-II*. 2020. Disponível em: <https://www.fluke.com/pt-br/produto/teste-eletrico/analisadores-da-qualidade-de-energia/434-435#> Acesso em: 21 abr. 2020.

FLUKE. *Analisadores de Energia e de Qualidade de Energia Trifásica Fluke 1736 e 1738*. 2020. Disponível em: <https://www.fluke.com/pt-br/produto/teste-eletrico/analisadores-da-qualidade-de-energia/1736-1738> Acesso em: 21 abr. 2020.

GREENANT. *Contato com o fornecedor*. 2019. Disponível em: <https://www.greenant.com.br/contato> Acesso em: 1 set. 2019.

GREENANT. *Produtos*. 2020. Disponível em: <https://www.greenant.com.br/#produtos> Acesso em: 21 abr. 2020.

HAYT, W . *Análise de Circuitos em Engenharia*. Colômbia: MC Graw Hill, 2007.

IDC. *The Growth in Connected IoT Devices Is Expected to Generate 79.4ZB of Data in 2025, According to a New IDC Forecast*. 2020. Disponível em: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS45213219> Acesso em: 18 abr. 2020.

KUMAR, R. Aggarwal; K. SHARMA, D. Energy analysis of a building using artificial neural network: a review. *Energy Build*, p.352-358. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.06.007> Acesso em: 18 abr. 2020.

LAMIN, H. *Medição eletrônica em baixa tensão: aspectos regulatórios e recomendações para implantação*. 2009. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/trabalhos-academicos> Acesso em: 1 set. 2019.

LARSON, R. *Estatística aplicada*. 4. ed. São Paulo: Pearson, 2010.

LANDIS. E34A. 2020. Disponível em: <https://www.landisgyr.com.br/product/e34a2/> Acesso em: 18 abr. 2020.

LINO, J. Salem; B. RAUTERBERG, M. *Explorando a Consciência de Situação em Smart Homes utilizando a Plataforma LabVIEW*. Disponível em: [ubiq.inf.ufpel.edu.br/ptdavet/lib/exe/fetch.php?media=positionpaper\\_maiconsantos\\_patriadavet.pdf](http://ubiq.inf.ufpel.edu.br/ptdavet/lib/exe/fetch.php?media=positionpaper_maiconsantos_patriadavet.pdf) Acesso em: 25 abr. 2020.

METRUM. *Portátil 7600 - LRB*. 2020. Disponível em: <https://memt.com.br/portfolio/medidor-portatil-7600-lrb/> Acesso em: 21 abr. 2020.

MME. *Eficiência Energética – Plano Nacional de Energia 2030*. 2006. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-PNE-2030> Acesso em: 15 out. 2019.

MME. *Plano Nacional de Eficiência Energética*. Brasília, 2011. Disponível em: [http://cmsdespoluir.cnt.org.br/Documents/PDFs/Plano\\_Nacional\\_de\\_Eficiency\\_Energética\\_-\\_PNEf\\_-\\_final.pdf](http://cmsdespoluir.cnt.org.br/Documents/PDFs/Plano_Nacional_de_Eficiency_Energética_-_PNEf_-_final.pdf) Acesso em: 15 out. 2019.

NOGUEIRA, Luiz. *Indicadores de políticas públicas en materia de eficiencia energética en América Latina y el Caribe*. 2010. 10.13140/2.1.4429.4725.

PIRES, I. A. Efeitos de harmônicos no sistema de distribuição e limites segundo as principais normas nacionais e internacionais – Parte III. *Revista O Setor Elétrico*, p. 36-41, 2010.

RAZA, A.; IKRAM, A.A.; AMIN, A.; IKRAM, A. A review of low cost and power efficient development boards for IoT applications. *2016 Future Technologies Conference (FTC)*, p.786-790, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/FTC.2016.7821693> Acesso em: 15 out. 2019.

RASPBERRY. *About*. 2019. Disponível em: <https://www.raspberrypi.org/about/> Acesso em: 29 out. 2019.

SNOFF. *Sonoff PowR2*. 2020. Disponível em: <https://sonoff.tech/product/wifi-diy-smart-switches/powr2> Acesso em: 15 out. 2019.

SILVERIA. *Transformador de Corrente: veja quais os tipos*. 2019. Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/transformador-de-corrente/> Acesso em: 27 out. 2019

SMAPPE. *Technical Specifications*. 2019. Disponível em: [https://www.smappee.com/media/wysiwyg/Smappee%20Infinity%20Technical%20Specifications\\_EN.pdf](https://www.smappee.com/media/wysiwyg/Smappee%20Infinity%20Technical%20Specifications_EN.pdf) Acesso em: 19 nov. 2019

SMAPPE. *Smappee Monitor De Energia (box)*. 2019. Disponível em: [https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-910757960-smappee-monitor-de-energia-box-\\_JM?quantity=1](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-910757960-smappee-monitor-de-energia-box-_JM?quantity=1) Acesso em: 20 dez. 2019

SENSE. *See what's up*. Disponível em: [https://sense.com/product?utm\\_expid=.BKQCinDyTzmP6Tj21niGRg.0&utm\\_referrer=https%3A%2F%2Fsense.com%2Fabout](https://sense.com/product?utm_expid=.BKQCinDyTzmP6Tj21niGRg.0&utm_referrer=https%3A%2F%2Fsense.com%2Fabout) Acesso em: 29 out. 2019.

SILVA, L. S. *Influência das distorções harmônicas em medições de energia elétrica*. 2006. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília - UNB, Brasília, 2006.

UDOO. *Datasheet UDOO x86*. Disponível em: <https://www.udoo.org/udoo-x86/> Acesso em: 19 nov. 2019.

UDOO. *Nosso time*. 2019 Disponível em: <https://www.udoo.org/team/> Acesso em: 19 nov. 2019.

VILLATE, J. *Física 2 – Eletricidade e Magnetismo*. 1. ed. Portugal: Editora Livre, 2011.

YHDC. *Split Core Current Transformer*. 2020. Disponível em: [https://www.mcielectronics.cl/website\\_MCI/static/documents/Datasheet\\_SCT013.pdf](https://www.mcielectronics.cl/website_MCI/static/documents/Datasheet_SCT013.pdf) Acesso em: 19 nov. 2019.

ZOYA, N.; MOONAMY, M.; YASSER, C. A Cloud-Based Energy Monitoring System Using IoT and Machine Learning. *Information Systems Design and Intelligent Applications*, p.165-174, 2019. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-3338-5\\_16](https://doi.org/10.1007/978-981-13-3338-5_16). Acesso em: 19 nov. 2019.