



**INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS – *CAMPUS* AVANÇADO ITABIRITO**  
ENGENHARIA ELÉTRICA

**Gustavo Henrique Alves Silva**

**PROTÓTIPO PARA TELEMEDIÇÃO DE MEDIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA  
ATRAVÉS DO PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO PIMA**

**Itabirito**  
**2023**

**Gustavo Henrique Alves Silva**

**PROTÓTIPO PARA TELEMEDIÇÃO DE MEDIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA  
ATRAVÉS DO PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO PIMA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Minas Gerais, *Campus* Avançado Itabirito, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Me. Helvécio De Almeida Junior  
Coorientador: Prof. Me. Gabriel Cambraia Soares

**Itabirito  
2023**

**Gustavo Henrique Alves Silva**

**PROTÓTIPO PARA TELEMEDIÇÃO DE MEDIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA  
ATRAVÉS DO PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO PIMA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Minas Gerais, *Campus* Avançado Itabirito, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

**Banca Examinadora:**

Prof. Me. Helvécio De Almeida Junior (IFMG) – Orientador

Prof. Me. Daniel França Fonseca (IFMG) - Examinador

Prof. Me. Marcus Vinícius de Freitas Diadelmo (IFMG) - Examinador

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em Itabirito, 31 julho de 2023.

## FICHA CATALOGRÁFICA

S586p  
2023

Silva, Gustavo Henrique Alves

Protótipo para telemedição de medidores de energia elétrica através do protocolo de comunicação PIMA. – 2023.

93 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Avançado Itabirito, 2023.

Orientador: Me. Helvécio de Almeida Júnior.

Coorientador: Me. Gabriel Cambraia Soares.

1. Medidores convencionais. 2. Energia elétrica. 3. ESP32. 4. PIMA. 5. Sistemas de medição. I. Silva, Gustavo Henrique Alves. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Avançado Itabirito. III. Título.

CDD 621.37

Elaborada pela Biblioteca Jarbas Nazareth de Souza – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Avançado Itabirito

Bibliotecário Responsável: Veríssimo Amaral Matias – CRB-6/3266



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA**  
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS**  
Campus Avançado Itabirito  
Diretoria de Ensino  
Docentes do Campus Avançado Itabirito  
Rua José Benedito, 139 - Bairro Santa Efigênia - CEP 35450-000 - Itabirito - MG  
- www.ifmg.edu.br

**Ata de Aprovação do Trabalho de Conclusão de Curso,  
realizada em 31 de Julho de 2023**

Gustavo Henrique Alves Silva

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - Campus Avançado Itabirito para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

**Aprovado** em 31/7/2023 pela banca examinadora:

Prof. Me. Helvécio de Almeida Júnior (IFMG)  
**Orientador (presidente da banca avaliadora)**

Prof. Me. Gabriel Cambraia Soares (IFMG)  
**Coorientador (presidente da banca avaliadora)**

Prof. Me. Marcus Vinícius de Freitas Diadelmo (IFMG)  
**Membro avaliador**

Prof. Me. Daniel França Fonseca (IFMG)  
**Membro avaliador**

Itabirito, 31 de julho de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Helvécio de Almeida Junior, Professor**, em 02/08/2023, às 15:52, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Gabriel Cambraia Soares, Professor EBTT**, em 02/08/2023, às 15:56, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Marcus Vinícius de Freitas Diadelmo, Professor**, em 03/08/2023, às 16:27, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Daniel França Fonseca, Professor**, em 03/08/2023, às 19:11, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **1629105** e o código CRC **33C7F93E**.

---

23810.000397/2023-03

1629105v1

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar e antes de qualquer coisa, o meu agradecimento é a Deus por ter me concedido o dom da vida, por ter me dado forças, por ter colocado pessoas boas a minha volta, por me abençoar com uma família amorosa e amigos que transcendem as barreiras da amizade, por ter me guiado pelo caminho certo e me livrado de todo o mal. Sem todas essas bênçãos divinas tenho certeza de que nada seria.

Dito isso, aqui vão os meus agradecimentos terrenos. Primeiramente gostaria de agradecer ao Instituto Federal De Minas Gerais por proporcionar formação de qualidade para mim, meus colegas de classe e toda a sociedade mineira. Pela oportunidade em me graduar eu agradeço e desejo do fundo do meu coração que a instituição perdure por muitos anos proporcionando formação e ciência de qualidade para todos e todas.

Aos responsáveis por me trazer ao mundo, meus pais, agradeço, por me proporcionarem a vida e me acompanharam durante todas minhas conquistas e percalços. Agradeço minha Mãe, Eliane Alves, e meu pai, Marcos Aparecido. Não tenho palavras para expressar o meu amor, admiração e gratidão por ter vocês em minha vida, nem essa nem nenhuma outra conquista minha seria possível sem o amor incondicional de vocês.

Aos ausentes, agradeço por terem construído a estrada por onde passa o meu caminho, às minhas avós, Alaíde e Maria, pelo amor que depositaram em seus filhos e criação que deram a eles, todo esse amor foi replicado a mim. Ao meu Avô Eustaquio, por todos os ensinamentos espirituais, que com muita dificuldade foram aprendidos e repassados de alguma forma para mim. Vocês fazem parte dessa história.

Ao meu avô Jose Coelho, zé pratinha, agradeço por me mostrar que uma das únicas coisas que conservamos, durante toda nossa vida, é o conhecimento, obrigado por entregar amor a todos que o cercam, obrigado por ser, na sua simplicidade, um homem tão gigante. Que Deus me permita viver mais muitos anos de aprendizado ao seu lado.

Aos meus professores e professoras, obrigado por não desistirem de me ensinar, apesar das duras penas que passei eu aprendi, não tudo, mas muito do que precisava para viver e enfrentar os desafios do meu caminho. Em especial, agradeço, ao meu orientador, professor Helvécio De Almeida, primordialmente pela orientação neste trabalho, sem sua ajuda e colaboração não teria sido possível. E ao meu coorientador Gabriel Cambraia. Obrigado por

entregarem tanto conhecimento em todo encontro que tivemos, tanto em sala de aula como em reuniões de orientação.

Não poderia deixar de mencionar e agradecer ao meu amigo, professor e posteriormente diretor, Daniel Fonseca, você sem perceber me ajudou desde o meu primeiro dia em Itabirito, me recepcionou, me cativou com suas aulas e me prestou todo o suporte necessário dentro da instituição, já te admirava quando era apenas meu professor, mas depois da nossa amizade é até difícil encontrar palavras para descrever meu apreço e admiração. Obrigado por ter tido tanta empatia e por ser tão receptivo, você é diferenciado meu amigo Daniboy.

Aos amigos que eu tive o prazer de conhecer e dividir o caminho, agradeço, por conhecerem o meu verdadeiro eu e ainda assim se fazerem presentes. Amigos são a família que a vida nos permite escolher.

Aos amigos que tive o prazer de dividir a moradia, Chicão e Gudín, vocês se tornaram grandes irmãos que vou levar para toda a minha vida, vocês fizeram do desafio, de morar longe de casa, uma colônia de férias. Ao meu conterrâneo e posteriormente vizinho de porta, Henrique, agradeço por ter permitido fortalecermos tanto nossa amizade que começou em Contagem e evoluiu em Itabirito, você conseguiu fazer valer a pena ter passado por todos aqueles perrengues, a sua força me contagiou para vencer os desafios que compartilhávamos. Foi um prazer ter tido a oportunidade de vivenciar estes momentos com vocês.

Aos amigos e amigas que fiz em Itabirito, vocês me ajudaram muito a me adaptar ao novo ambiente, tornaram tudo mais leve e não me deixaram afundar na solidão. Baratão, pudim, Júlio, Thamires, Vitória e tantos outros que se dispuseram a me acolher na cidade de vocês, um muito obrigado, sei que não é fácil receber pessoas de “fora”, mas vocês fizeram isso com maestria.

Aos amigos de trabalho que fiz em Itabirito, Terramigos, vocês me transformaram em um profissional, obrigado por todo conhecimento transmitido durante os anos de colaboração que tivemos juntos, obrigado por me mostrarem que eu era capaz de vencer todos os desafios que me fossem postos, obrigado por me ensinarem da melhor forma como é o mundo corporativo e por terem me ajudado tanto a vencer as adversidades desse caminho. Em especial a Juciane, que com todo carinho e paciência me ajudou a me adequar a este mundo, e ao meu primeiro chefe, Paulo, que apesar de toda sua seriedade e rigidez, conseguiu conquistar com muita humildade todos com quem trabalhou, você é um chefe.

A todos os meus amigos e familiares que estiveram comigo durante esses anos, eu agradeço, saibam que vocês corroboraram de forma grandiosa para essa conquista. Em especial aos meus primos, Coelho, Torrado e Micael, por serem para mim irmãos de sangue. Aos meus amigos, Victor, Trajano, Fael, Drud e fada, estar em Itabirito não seria nem metade do que foi sem ter vocês tão próximo em OP.

Por fim agradeço a banca avaliadora. Muito obrigado por dedicarem este tempo de leitura e por todas as considerações feitas em prol da melhoria deste trabalho.

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo desenvolver e validar um protótipo, capaz de realizar a telemetria de medidores eletrônicos digitais que possuem saída serial assíncrona unidirecional e protocolo de comunicação PIMA. Os principais fatores explicativos que justificam este trabalho, estão relacionadas às evoluções tecnológicas que vêm permeando o mercado de medição de energia e os benefícios que estas evoluções podem trazer ao consumidor, as concessionárias e ao meio ambiente, relacionando o consumo consciente e a eficiência energética ao acesso à informação e a transparência das concessionárias. Este trabalho também se propôs a apresentar algumas tecnologias em evolução relacionadas aos objetivos propostos, trazendo uma visão das inovações e explicações sobre seu funcionamento, no intuito de relacionar estas tecnologias ao protótipo desenvolvido. Desse modo, para alcançar o objetivo proposto, foram pesquisadas, avaliadas e comparadas algumas soluções existentes, com o intuito de identificar uma forma funcional e otimizada de construir este equipamento. Este trabalho foi desenvolvido por meio de uma pesquisa qualitativa com uma abordagem de caráter exploratório-descritivo experimental sobre as tecnologias existentes e em evolução de telemetria para viabilizar a construção de um protótipo funcional de baixo custo. Ao longo deste trabalho estão descritas as características técnicas do protocolo de comunicação PIMA, de acordo com a especificação técnica da COPEL, utilizada para embasar este desenvolvimento. Além disso, está descrito como foi construído o código para interpretação do pacote de dados de medição obtido através da saída serial dos medidores. Diante do resultado obtido e considerando as definições de Lima (2021), conclui-se que o protótipo atende aos objetivos propostos por possibilitar a telemedição dos medidores convencionais, trazendo benefícios semelhantes aos que os Smart meters prometem entregar aos consumidores finais.

**Palavras-chave:** Medidores convencionais, Energia elétrica, ESP32, PIMA, Sistemas de medição, *Smart meter*, *Smart Grid*, Telemetria.

## ABSTRACT

The aim of this work was to develop and validate a prototype capable of performing telemetry of digital electronic meters that have a unidirectional asynchronous serial output and PIMA communication protocol. The main explanatory factors justifying this work are related to technological advancements in the energy measurement market and the benefits that these advancements can bring to consumers, utility companies, and the environment. Linking conscious consumption and energy efficiency to access to information and transparency of utility companies. This work also proposed to present some evolving technologies related to the proposed objectives, providing an insight of the innovations and explanations about their functioning in order to relate these technologies to the developed prototype. To achieve the proposed objective, some existing solutions were researched, evaluated, and compared in order to identify a functional and optimized way to construct this device. This work was developed through a qualitative research with an experimental exploratory-descriptive with approach on existing and evolving telemetry technologies to enable the construction of a low-cost functional prototype. Throughout this work, the technical characteristics of the PIMA communication protocol are described according to the technical specification of COPEL used to support this development. As well as, it is described how the code was constructed to interpret the measurement data packet obtained through the serial output of the meters. Given the results and considering Lima's (2021) definitions, it is concluded that the prototype meets the proposed objectives by enabling the telemetering of conventional meters, bringing similar benefits as those Smart meters promise to deliver to end consumers.

**Keywords:** Conventional meters, Electrical energy, ESP32, PIMA, Measurement systems, Smart meter, Smart Grid, Telemetry.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama do sistema elétrico.....	25
Figura 2 – Matriz elétrica Mundial 2019 .....	26
Figura 3 – Matriz elétrica Brasileira 2020.....	26
Figura 4 – Matriz elétrica brasileira em 2021 .....	27
Figura 5 – Mapa Sistema Interligado Nacional (SIN).....	28
Figura 6 – Torres de transmissão .....	29
Figura 7 – Mural CEMIG – Medidores através do tempo. ....	33
Figura 8 – Exemplo de medidor eletromecânico.....	34
Figura 9 – Medidores eletrônicos Nansen.....	35
Figura 10 – Medidor eletrônico Dowertech .....	35
Figura 11 – Medidor Siemens IM300-AD1035, Eletra Zeus 8023 e Weg SMW100 .....	37
Figura 12 – Medidor Landis+Gyr E450 e Nansen NSXi. ....	38
Figura 13 – Tipos de rede de gerenciamento da infraestrutura AMI .....	40
Figura 14 – Sistema de Distribuição de Medição de Energia Elétrica (SDMEE).....	41
Figura 15 – Estrutura de rede LoRa .....	43
Figura 16 – Topologia de rede Wi-SUN .....	44
Figura 17 – Comparativo de redes de comunicação.....	44
Figura 18 – Remota RMT-5.0 4G M2M.....	45
Figura 19 – controlador programável multiprotocolo GT41 .....	46
Figura 20 – Redução do consumo das unidades consumidoras – Coreia do Sul.....	47
Figura 21 – NodeMCU-32S .....	49
Figura 22 – Sistema <i>Smart meter</i> desenvolvido por Amaral.....	50
Figura 23 – Protótipo desenvolvido .....	52
Figura 24 – Fluxo de informações de medição .....	53
Figura 25 – Diagrama elétrico saída serial assíncrona unidirecional .....	55
Figura 26 – Protótipo desenvolvido .....	57
Figura 27 – Diagrama esquemático do projeto .....	57
Figura 28 – Fluxograma do código desenvolvido.....	59
Figura 29 – Código conexão <i>Wi-Fi</i> .....	60
Figura 30 - Confirmação de conexão <i>Wi-Fi</i> e IP.....	62
Figura 31 – <i>Web Server</i> indisponível .....	64
Figura 32 - Versão final do protótipo.....	65

Figura 33 – Protótipo dentro da caixa de medição e leitura na página *Web* ..... 66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição do escopo + Índice - protocolo PIMA .....	56
Tabela 2 – Descrição dos equipamentos comprados.....	56

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Ampère
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACEEE	<i>American Council for an Energy-Efficient Economy</i>
A/D	Analógico / Digital
AMI	<i>Advanced Metering Infrastructure</i>
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
AT	Alta Tensão
BCD	<i>Binary-Coded Decimal</i>
BEN	Balanco Energético Nacional
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CFE	Consumo Final de Energia
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
CPU	<i>Central Processing Unit</i> (Unidade Central de Processamento)
DLMS	<i>Device Language Message Specification</i>
DRC	Duração Relativa da Transgressão de Tensão Crítica
DRP	Duração Relativa da Transgressão de Tensão Precária
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FAN	<i>Field Area Network</i>
GD	Geração Distribuída
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i>

GPRS	<i>General Packet Radio Services</i>
HAN	<i>Home Area Network</i>
HTML	<i>HyperText Markup Language</i>
Hz	Hertz
IDE	<i>Integrated Development Environment</i> (Ambiente de Desenvolvimento Inte- grado)
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IFMG	Instituto Federal de Minas Gerais
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, qualidade e Tecnologia
IOT	<i>Internet Of Things</i>
IP	<i>Internet Protocol</i> (Protocolo de Rede)
IPV4	<i>Internet Protocol Version 4</i>
IPV6	<i>Internet Protocol Version 6</i>
kV	Quilovolt
kA	Quiloampère
Km	Quilometros
kVA	QuiloVolt-Ampère
Kwh	Quilowatt-hora
LoRa	<i>Long Range</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
MB	<i>Megabytes</i> (milionésima parte de um byte)
MDC	<i>Metering Data Collector</i>
MDM	<i>Meter Data Management</i>
MDMS	<i>Meter Data Management System</i>
MME	Ministério de Minas e Energia

NAN	<i>Neighbourhood Area Network</i>
NBR	Norma brasileira
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>
NR	Norma Regulamentadora
ONS	Operador Nacional do Sistema elétrico
OTEP	Oferta Total de Energia Primária
PIMA	Protocolo para Infraestrutura de Medição Avançada
PLC	<i>Power Line Communication</i>
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
RAM	<i>Random Access Memory</i> (Memória de Acesso Aleatório)
SDMEE	Sistema Distribuído de Medição de Energia Elétrica
SEP	Sistema Elétrico de Potência
SIN	Sistema Interligado Nacional
SSID	<i>Service Set Identifier</i> (Identificador do Conjunto de Serviços)
SMC	Sistema de Medição Centralizado
USB	<i>Universal Serial Bus</i> (Porta Serial Universal)
V	Volt
WAN	<i>Wide Area Network</i>
WI-fi	<i>Wireless Fidelity</i>
WI-SUN	<i>Wireless Smart Utility Network</i>
6LOWPAN	<i>Low Power Wireless Personal Area Networks</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
<b>1.1</b>	<b>Contextualização do Tema .....</b>	<b>19</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos .....</b>	<b>21</b>
<i>1.2.1</i>	<i>Objetivo Geral.....</i>	<i>21</i>
<i>1.2.2</i>	<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>21</i>
<b>1.3</b>	<b>Estrutura do texto .....</b>	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>23</b>
<b>2.1</b>	<b>História da energia elétrica .....</b>	<b>23</b>
<b>2.2</b>	<b>Geração, transmissão e distribuição de energia .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3</b>	<b>Órgãos Regulamentadores.....</b>	<b>30</b>
<b>2.4</b>	<b>Smart grids (Redes elétricas inteligentes) .....</b>	<b>31</b>
<b>2.5</b>	<b>Medidores de energia elétrica .....</b>	<b>32</b>
<i>2.5.1</i>	<i>Medidores eletromecânicos.....</i>	<i>33</i>
<i>2.5.2</i>	<i>Medidores eletrônicos.....</i>	<i>34</i>
<i>2.5.3</i>	<i>Smart meters (Medidores inteligentes).....</i>	<i>36</i>
<i>2.5.4</i>	<i>Infraestrutura de Medição Avançada - AMI.....</i>	<i>39</i>
<i>2.5.5</i>	<i>Sistema de Distribuição de Medição de Energia Elétrica - SDMEE (SMC).....</i>	<i>40</i>
<i>2.5.6</i>	<i>Tecnologias de comunicação .....</i>	<i>41</i>
<i>2.5.7</i>	<i>Tecnologias para telemetria .....</i>	<i>45</i>
<b>2.6</b>	<b>Redes inteligentes no Brasil e no mundo .....</b>	<b>47</b>
<b>2.7</b>	<b>ESP 32 48</b>	
<b>2.8</b>	<b>Trabalhos relacionados.....</b>	<b>50</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>53</b>
<b>3.1</b>	<b>Apresentação do projeto .....</b>	<b>53</b>
<b>3.2</b>	<b>Comunicação serial assíncrona unidirecional com o protocolo PIMA.....</b>	<b>54</b>
<b>3.3</b>	<b>Prototipagem e programação .....</b>	<b>56</b>
<i>3.3.1</i>	<i>Protótipo de comunicação.....</i>	<i>56</i>
<i>3.3.2</i>	<i>Programação.....</i>	<i>58</i>
<b>3.4</b>	<b>Visualização da comunicação .....</b>	<b>61</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>62</b>
<b>4.1</b>	<b>Inicialização do programa e conexão com a rede local .....</b>	<b>62</b>
<b>4.2</b>	<b>Comunicação.....</b>	<b>62</b>

<b>4.3</b>	<b>Tratamento de dados.....</b>	<b>63</b>
<b>4.4</b>	<b>Comportamento do <i>Web Server</i>.....</b>	<b>63</b>
<b>4.5</b>	<b>Hardware .....</b>	<b>64</b>
<b>4.6</b>	<b>Demonstrações do resultado.....</b>	<b>66</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>67</b>
<b>5.1</b>	<b>Trabalhos futuros.....</b>	<b>68</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>69</b>
	<b>ANEXO 1 – ETC 3.11 - SAÍDA SERIAL ASSÍNCRONA UNIDIRECIONAL - COPEL.</b>	<b>76</b>
	<b>APÊNDICE 1 - CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO.....</b>	<b>88</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização do Tema

A evolução tecnológica tem-se mostrado cada vez mais presente no nosso dia-a-dia, trazendo facilidades para as nossas vidas. No setor elétrico, estas tecnologias vêm inovando os processos de geração, transmissão e distribuição de energia, estimulando o desenvolvimento de novos produtos e serviços relacionados a este setor e possibilitando mais eficiência e sustentabilidade na utilização da energia elétrica.

De acordo com o Conselho Americano para uma Economia Eficiente em Energia (ACEEE) em seu *ranking* de desempenho internacional de eficiência energética (2022), que classifica através de métricas de desempenho os países que possuem uma utilização eficiente da energia, o Brasil ocupa a 19<sup>o</sup> posição entre os 25 maiores usuários de energia do mundo. A ACEEE aponta a “falta de padrões brasileiros para eficiência” como umas das causas para essa baixa pontuação no *ranking*, que contribui para o aumento da ineficiência e das perdas em todos os setores da economia.

No Brasil, durante o ano de 2021, o consumo do setor residencial foi de aproximadamente 10% da energia do país, segundo o Balanço Energético Nacional (2022), publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Os consumidores deste setor se enquadram no grupo do tipo B, unidades consumidoras conectadas a uma tensão inferior a 2,3kV, baixa tensão conforme a Resolução N<sup>o</sup> 1000 da ANEEL (2021). O grupo B, possui modelo de tarifação convencional, tarifa de consumo única que independe da hora de utilização, e apresenta uma alta capacidade de redução de consumo de acordo com estudos da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Entretanto, acredita-se que para um consumo mais eficiente e controlado da energia elétrica no setor residencial seja necessário que os consumidores tenham acesso a mais informações sobre o seu consumo, conscientizando e possibilitando ao consumidor um controle mais consciente da energia consumida em sua residência (COOPER, 2021). Os consumidores do setor industrial, conectados em alta tensão já possuem acesso à porta serial dos medidores e por consequência às suas informações (M2M TELEMETRIA, 2022). Contudo, para possibilitar que os consumidores do grupo B tenham acesso às informações de consumo é necessário que ocorra a modernização dos equipamentos de medição, substituindo os medidores eletromecânicos por medidores inteligentes que possuam estas funcionalidades de comunicação de dados.

Na busca por uma utilização mais eficiente e sustentável da energia elétrica, surgiram as *Smart grids* (redes inteligentes) e os *Smart meters* (sistema de medição inteligente) que são uma novidade do setor elétrico e pretendem agregar benefícios aos consumidores e às concessionárias de energia elétrica, possibilitando o monitoramento dos fluxos de energia e contribuindo para um sistema energético mais responsivo a falhas e mais eficiente (COOPER, 2021).

De acordo com Amin & Wollenberg (2005), o conceito de *Smart grid* está relacionado a uma melhor organização dos sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia, utilizando das tecnologias para desenvolver uma rede inteligente, possibilitando melhorias e facilidades na gestão, na introdução de novas fontes e na descentralização da geração de energia elétrica.

O *Smart meter* é essencial para o funcionamento das redes inteligentes, pois são capazes de medir e fornecer os dados da eletricidade consumida em tempo real, transmitindo dados de monitoramento dos clientes finais às concessionárias de energia. Um acompanhamento em tempo real do uso de energia, possibilita uma redução na ocorrência de cobranças indevidas e permite que os consumidores gerenciem melhor seu consumo e informem com mais facilidade variações e quedas de energia (COOPER, 2021).

Entretanto, a maior parte dos medidores instalados hoje no Brasil não possuem a tecnologia necessária para envio e recebimento de dados (LIMA, 2021). Pensando nisso, outros dispositivos de monitoramento vêm sendo utilizados com o intuito de proporcionar este acompanhamento em tempo real do consumo dos clientes finais (M2M TELEMETRIA, 2022).

Um exemplo de equipamento alternativo de monitoramento é a remota de comunicação, que proporciona a conexão de medidores convencionais eletrônicos, através da saída serial ou da porta óptica, aos sistemas de monitoramento das concessionárias de energia. De acordo com o fornecedor, M2M telemetria, estes equipamentos já são utilizados hoje no Brasil em alguns clientes industriais, porém não é comumente instalado em clientes residenciais (M2M TELEMETRIA, 2022).

A maior parte dos medidores eletrônicos convencionais instalados em unidades residenciais são medidores simples que contam com poucas funcionalidades de medição de energia e possuem apenas saída serial unidirecional. Estes enviam os pacotes de dados de medição através da saída serial utilizando um protocolo de comunicação. No Brasil, os protocolos mais comuns são ABNT-NBR14522, DLMS e PIMA (LIMA, 2021).

O protótipo desenvolvido neste trabalho tem como objetivo realizar a telemedição de medidores eletrônicos convencionais dos consumidores do grupo B, de forma a ampliar as suas funcionalidades permitindo que façam parte das redes inteligentes que estão sendo implantadas no Brasil, fornecendo dados de medição em tempo real para os consumidores e viabilizando uma futura integração aos sistemas de monitoramento das concessionárias. Esta integração é interessante tanto para os consumidores quanto para as concessionárias, pois além do consumo será possível monitorar a energia proveniente dos sistemas de geração distribuídos que é injetada na rede.

Um exemplo dessa potencialidade é que, segundo a ANEEL (2022), o Brasil já conta com mais de 389 mil sistemas distribuídos para geração de energia fotovoltaica, sendo que, os instalados em residências, grupo B, representam 72,3% dessas instalações. Segundo dados do Balanço Energético Nacional (BEN, 2022), em 2021 o país atingiu 9.810 GWh de geração advinda da micro e minigeração distribuída, sendo 9.019 GWh proveniente da geração solar fotovoltaica. Além disso, a ANEEL estima que, até 2024, o número de sistemas distribuídos possa se aproximar de 1 milhão.

## **1.2 Objetivos**

### *1.2.1* Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é construir e apresentar um protótipo de um equipamento de telemedição capaz de transmitir os valores medidos por um medidor eletrônico, para um servidor *online* através de uma conexão *Wi-Fi*.

### *1.2.2* Objetivos Específicos

- Desenvolver um protótipo para monitoramento online de medidores eletrônicos.
- Apresentar alguns modelos de medidores, dispositivos de leitura remota e tecnologias de medição inteligente, explicar sua aplicação e os investimentos que estão sendo realizados pelas concessionárias de energia no Brasil.
- Fazer uma revisão bibliográfica sobre a evolução das tecnologias de monitoramento de energia, sua importância e benefícios à sociedade.

## **1.3 Estrutura do texto**

Este trabalho está organizado em 5 capítulos e segue a seguinte estrutura:

- Capítulo 1 - Contextualização e os objetivos do trabalho;

- Capítulo 2 - Revisão da literatura, trazendo uma fundamentação teórica sobre as tecnologias já implantadas e os resultados obtidos;
- Capítulo 3 - Metodologia que orienta o trabalho e descreve o desenvolvimento do protótipo;
- Capítulo 4 - Demonstração dos resultados obtidos;
- Capítulo 5 - Apresenta o protótipo desenvolvido e as conclusões.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 História da energia elétrica

A eletricidade foi descoberta no século VI a.C pelo filósofo grego Tales de Mileto. Ele observou que ao esfregar um pedaço de âmbar na pele de um animal, o âmbar gerava a atração de pequenos objetos. Tales chegou a acreditar que esse experimento era um fenômeno de magnetismo, mas na verdade ele havia descoberto a eletricidade estática a partir do atrito (FORNELL, 2020).

O termo "eletricidade" foi cunhado no século XVII pelo físico William Gilbert, dando início aos estudos sobre o tema. Em 1672 Otto von Guericke, inventou a primeira máquina geradora de cargas elétricas, onde uma esfera de enxofre girava atritando-se com a terra seca. No século XVIII, Stephen Gray fez a primeira distinção entre condutores e isolantes elétricos. Neste mesmo século as máquinas elétricas evoluíram para discos rotativos e Benjamin Franklin inventou o primeiro para-raios, através de seu famoso experimento com uma pipa na tempestade (BONFIM, 2022).

Ainda no século XVIII, o médico Luigi Aloisio Galvani durante seus estudos de bioeletricidade, observou que o potencial elétrico produzia contrações nas pernas de uma rã. A partir do seu estudo, Alessandro Volta constrói a “pilha de Volta”, a primeira fonte de corrente elétrica estável descoberta pelo homem, que era basicamente placas de cobre e zinco empilhadas e separadas por um tecido embebido com ácido (PABLO RAFAEL, 2013).

Os geradores foram se aperfeiçoando até se tornarem as principais fontes de suprimento de eletricidade. Após a descoberta das lâmpadas incandescentes em 1879 por Thomas Edison a utilização da energia se difundiu, e para atender a demanda foi necessário iniciar a geração de energia em larga escala, surgindo os geradores e turbinas a vapor e as turbinas hidrelétricas. A primeira usina do mundo a vapor foi inaugurada em 1882 em *Pearl Street Station*, Nova York, (ANZANELLO, 2016).

No Brasil, a eletricidade chegou após a invenção do dínamo e da lâmpada de Edison. A iluminação elétrica foi utilizada para substituir a iluminação a gás em alguns pontos do país. Os primeiros foram, a Estação central da estrada de Ferro de D. Pedro II no Rio de Janeiro em 1879 e no campo dos Goytacazes em 1883. A primeira hidrelétrica do Brasil foi construída em Diamantina, Minas Gerais, e entrou em operação em 1883, ponto de partida para a utilização da fonte de energia mais utilizada no país (GOMES, 2009).

Com a crescente demanda por energia elétrica se tornou necessária uma forma de faturar a energia consumida e nesse contexto surgiram os medidores de energia elétrica. O primeiro medidor para corrente contínua foi o de Samuel Gardiner em 1872, que era constituído por um relógio, que era ligado ou desligado a partir de uma entrada de carga (WATTHOUR METERS, 2021). Com o avanço do conhecimento sobre energia elétrica alternada e as descobertas de Nicolas Tesla, surgiram os medidores eletromecânicos e estes foram sendo aprimorados com o tempo e são utilizados até os dias de hoje, entretanto estão sendo substituídos por medidores eletrônicos que são mais compactos, eficientes e possuem melhor exatidão (VIEIRA, 2011).

Os medidores eletrônicos seguem evoluindo e hoje em dia vêm sendo substituídos por medidores inteligentes. Estes medidores possuem funcionalidades de medição e comunicação, que vão muito além de apenas medição da energia consumida pelo cliente. Os *Smart meters* possuem comunicação remota, funções de análise da energia elétrica, relé com atuação remota, entre outras funcionalidades, sendo estes medidores um pilar essencial para a implementação das *Smart grids* no sistema de distribuição (VIEIRA, 2011).

## **2.2 Geração, transmissão e distribuição de energia**

No Brasil a energia elétrica é categorizada como serviço essencial, conforme a Lei de Greve – Lei nº 7.783/89 art. 10, inciso I. De acordo com Lectcher e Williamson (2014), “atualmente a energia elétrica é considerada como necessária para assegurar a sobrevivência do ser humano” e essa necessidade aumentou a demanda por energia elétrica em todo o mundo.

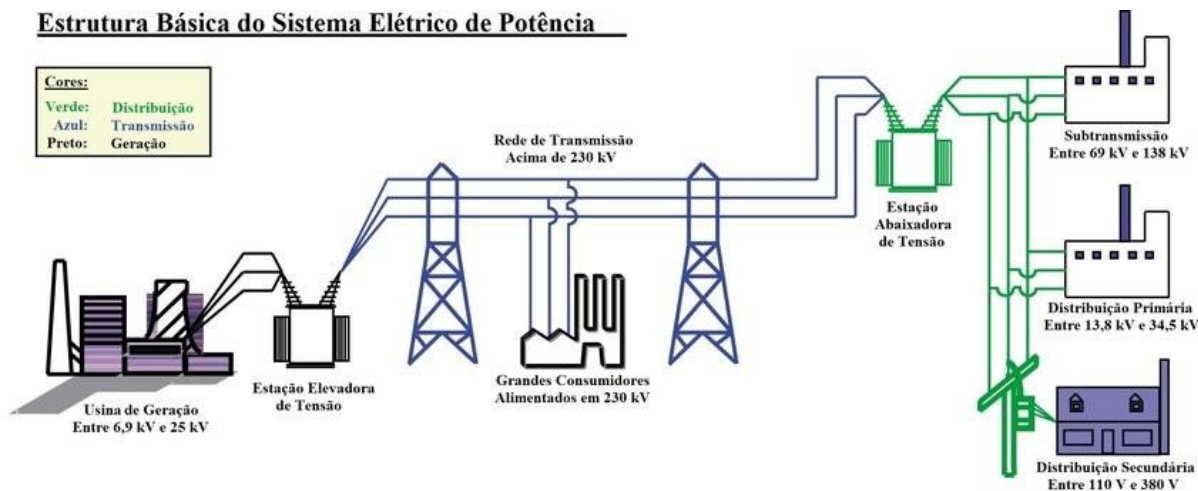
De acordo com Aboboreira & Cruz (2016), os sistemas de geração e transmissão no Brasil já apresentam algum grau de automação, supervisão e controle, diferentemente dos sistemas de distribuição, que devido ao elevado número de clientes e a grande complexidade dos sistemas, estão em um estágio inferior de implantação.

O sistema elétrico de potência (SEP) é subdividido em geração, transmissão e distribuição, sendo, as geradoras responsáveis pela geração da energia, as transmissoras pelo transporte até às subestações e as distribuidoras por levar a energia até os consumidores finais (ALBA ENERGIA, 2021).

Na Figura 1 pode ser visto um esquemático do SEP, como indicado na legenda da figura onde, identificadas na cor preta podem ser vistas a unidade de geração e a estação elevadora de tensão, que representam a geração de energia do sistema elétrico. Em azul é possível observar as redes de transmissão que interligam as unidades geradoras aos grandes consumidores e às subestações da distribuição, e em verde é possível ver as subestações abaixadoras de tensão que

alimentam as linhas de subtransmissão e linhas de distribuição primária e secundária, que representam a distribuição do sistema elétrico.

Figura 1 – Diagrama do sistema elétrico



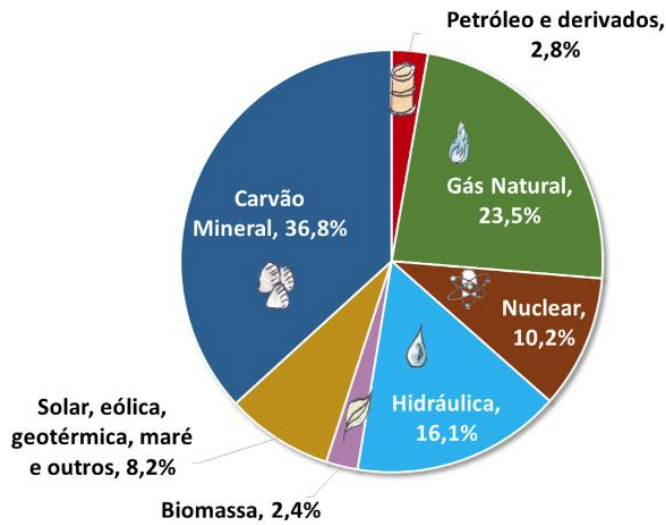
Fonte: Adaptado de <http://www2.econ.iastate.edu/classes/econ458/tesfatsion/images/ElectricPowerSystem.jpg>

A geração de energia é o processo de captação de energia primária e sua transformação em energia elétrica, esta pode ser gerada através de fontes como gás, vapor, água represada, energia solar, entre outras. Podem ser provenientes de grandes centrais de produção centralizadas ou de micro e minigerações distribuídas, localizadas nas próprias residências ou instalações de consumo final.

Para se obter um entendimento melhor das fontes de geração e a destinação da energia é necessário realizar um estudo do fluxo energético da região, que pode ser simplificado em Oferta Total de Energia Primária (OTEP) e Consumo Final de Energia (CFE). A oferta de energia primária é a quantidade de energia que um país tem à disposição, sendo ela importada ou proveniente de produção própria (extraída de recursos naturais) (DONEV, 2017). O consumo final, de acordo com a agência internacional de energia - IEA (2020), é a energia utilizada pelos setores de consumo final do país, seja para uso energético ou não.

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (2021) o mundo possui uma matriz elétrica composta, principalmente, por fontes não renováveis, baseada principalmente em combustíveis fósseis, como é possível observar na Figura 2, onde a energia proveniente do carvão mineral, petróleo, gás natural e da energia nuclear somam mais de 70%.

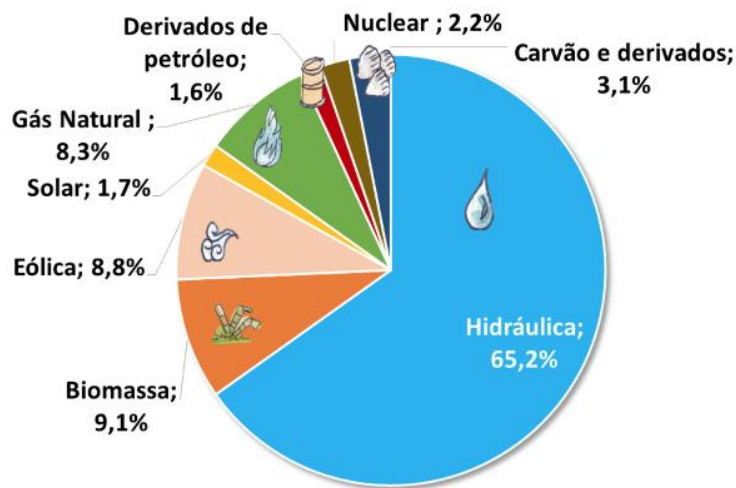
**Figura 2 – Matriz elétrica Mundial 2019**



Fonte: Agência internacional de energia, IEA, 2021

Já o Brasil possui uma matriz elétrica bem diferente, possuindo grande parte da energia elétrica proveniente de fontes renováveis, sendo a maior parte proveniente de usinas hidrelétricas (65,2%), como pode ser visto na Figura 3.

**Figura 3 – Matriz elétrica Brasileira 2020**

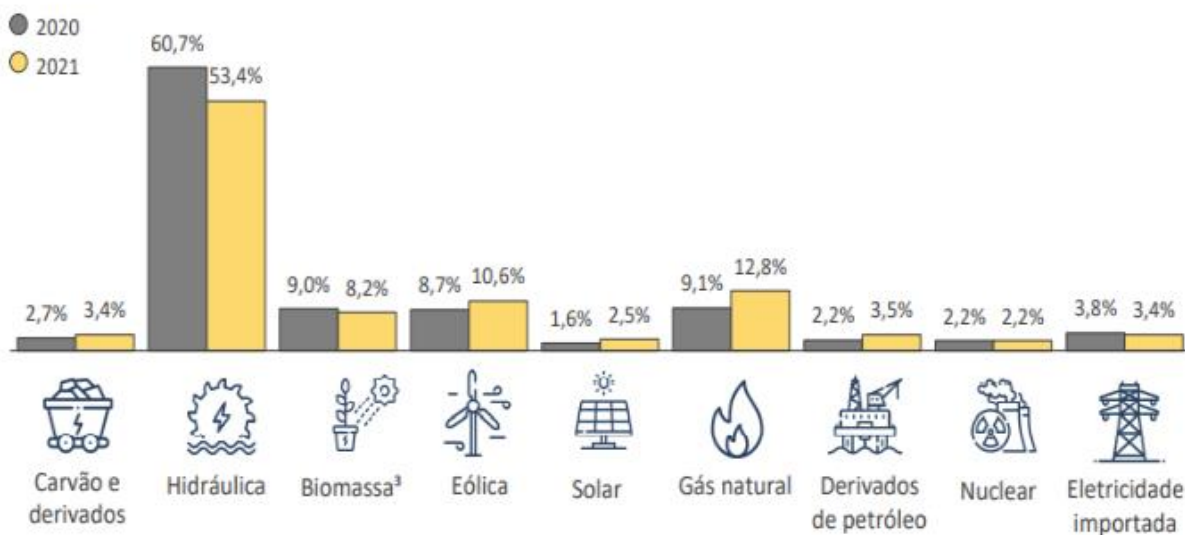


Fonte: Balanço energético nacional, BEN, 2021

De acordo com o Balanço Energético Nacional (2022), a matriz elétrica brasileira apresentou mudanças em função da escassez hídrica ocorrida ao longo do ano de 2021, onde a redução das chuvas provocou uma redução do nível dos reservatórios. Essa queda foi compensada pelo aumento da oferta de outras fontes. De 2020 para 2021 houve um aumento de 3,9% da oferta total de energia e uma redução de 8,5% da oferta de energia hidráulica, como

pode ser observado na Figura 4. Já a micro e minigeração distribuída apresentou um aumento de 84% (BEN, 2022).

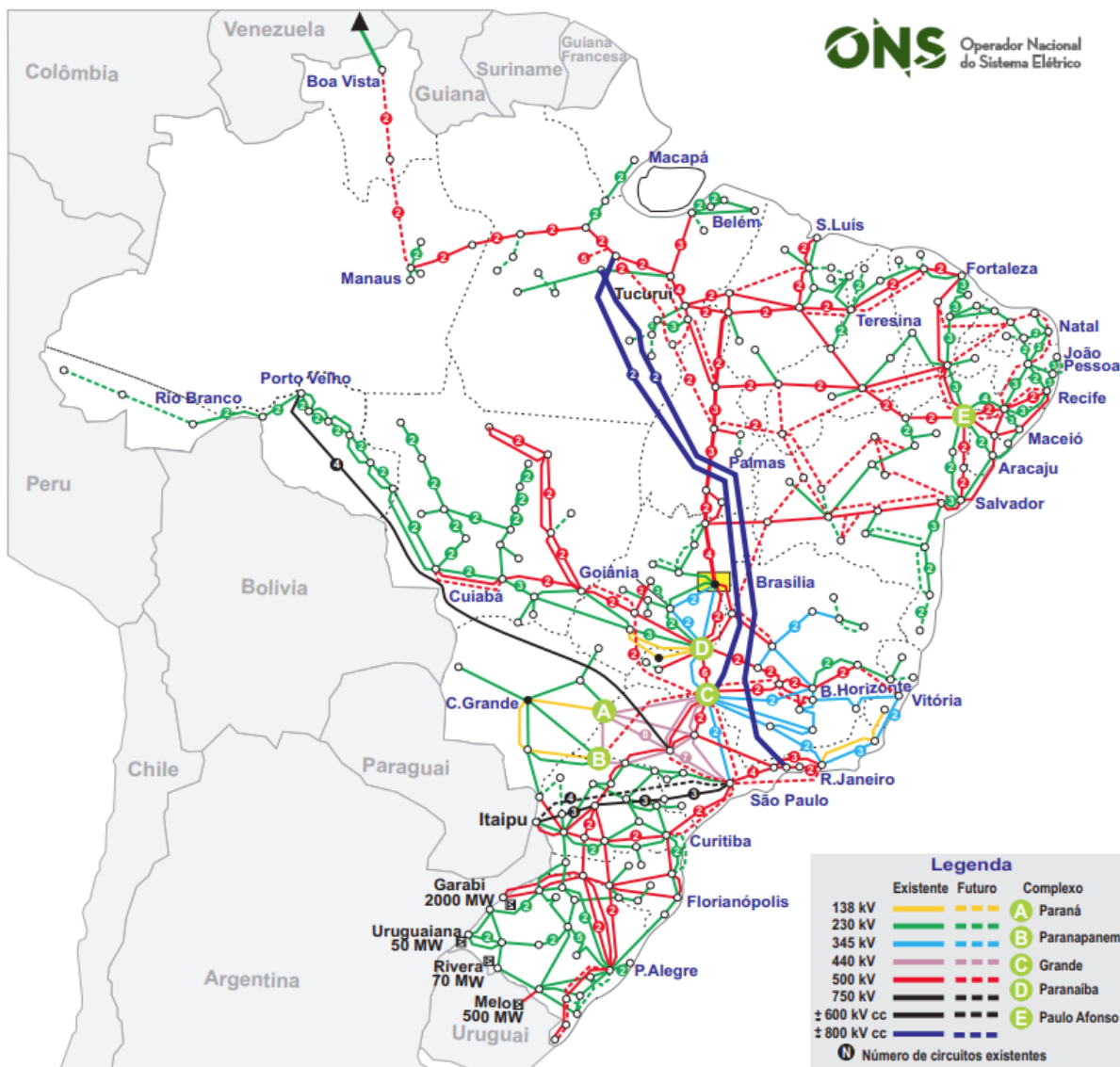
**Figura 4 – Matriz elétrica brasileira em 2021**



Fonte: Balanço energético nacional, BEN, 202

É através das linhas de transmissão da energia elétrica que a energia sai das usinas de geração e chega às empresas de distribuição e aos consumidores finais. A rede de transmissão é composta por linhas e subestações que compõem o Sistema Interligado Nacional (SIN), e transformam e transportam a energia por todo território nacional, de forma a permitir o intercâmbio de energia entre as cinco regiões do país (ENERGÊS, 2021). A energia gerada passa pelas subestações de transmissão para que a tensão seja elevada aos níveis apropriados de transporte, reduzindo as perdas na transmissão. Na Figura 5 é possível ver o mapa deste sistema.

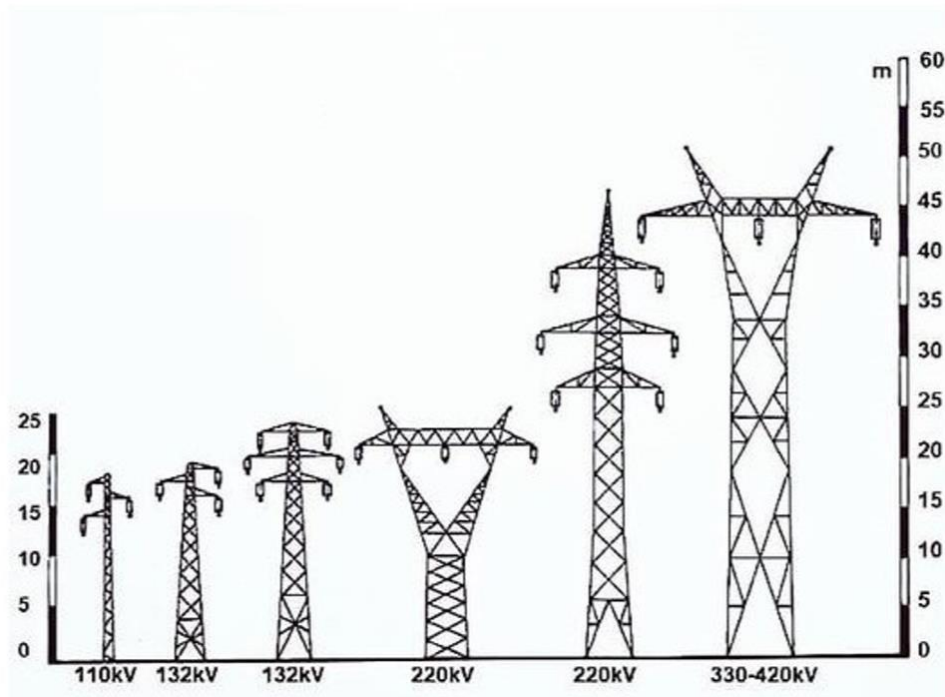
Figura 5 – Mapa Sistema Interligado Nacional (SIN)



Fonte: ONS, 2022

As linhas de transmissão transportam energia por longas distâncias através de grandes torres e conectam usinas geradoras aos grandes consumidores e às distribuidoras de energia elétrica do país. Estas são classificadas de acordo com seu nível de tensão de operação e cada código representa um conjunto de linhas de transmissão da mesma classe, sendo eles, A1, A2 e A3. O código A1, representa a rede básica, conjunto com tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV, interligado ao SIN, e possui mais de 145.000 km de linha de transmissão. A Classe A2, possui tensão de fornecimento entre 88 kV E 138 kV e a classe A3, possui tensão de fornecimento de 69 kV, estas representam as linhas de subtransmissão (ENERGÊS, 2021). Na Figura 6, é possível observar os tipos de torres de transmissão de acordo com o nível de tensão.

Figura 6 – Torres de transmissão



Fonte: Adaptado, Mundo da elétrica, 2021

Já as redes de distribuição operam em linhas de média tensão (rede primária), e linhas de baixa tensão (rede secundária). As linhas de média tensão são compostas geralmente por três cabos aéreos, sustentados por cruzetas de madeira no topo dos postes de concreto e possuem tensão de operação de 2,3kV a 44kV. Antes de chegar nos imóveis, a energia passa por mais uma redução nos transformadores dos postes nas ruas, e é distribuída através redes de baixa tensão, que são afixadas a uma altura inferior nos postes de concreto e possuem tensão de operação de 110V a 440V (ENERGÊS, 2021). Dessa forma, o nível de tensão entregue para população é mais seguro, reduzindo a exposição aos riscos da alta tensão.

A distribuição é o segmento dedicado a esta entrega de energia elétrica para o consumidor final, sendo responsabilidade das concessionárias distribuir essa energia por suas linhas de distribuição. Existem redes de distribuição aéreas e subterrâneas, sendo as aéreas convencionais, compactas ou isoladas (ENERGÊS, 2021). . A redes aéreas convencionais são as mais utilizadas no Brasil, nestas os cabos condutores não possuem isolamento e são espaçados a uma distância para evitar a ocorrência de curto-circuito, as redes compactas são compostas por cabos isolados ainda espaçados, mas de forma mais compacta e as redes isoladas possuem cabos condutores com isolamento reforçado que permite entrelaçar os cabos. As redes

de distribuição subterrânea são as de maior valor agregado e são utilizadas onde há restrições para instalação de redes aéreas (ENERGÊS, 2021).

### **2.3 Órgãos Regulamentadores**

O Ministério de Minas e Energia (MME) é a instituição responsável por formular os princípios básicos, definir as diretrizes da política energética nacional e promover estudos e análises do setor energético. “A Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao MME, é um órgão público, instituído nos termos da Lei nº 10.847, de 2004 e sua finalidade é prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinados a subsidiar o planejamento do setor energético” (EPE, 2022).

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é a agência vinculada ao Ministério de Minas e Energia que normatiza, fiscaliza, regulamenta e rege o sistema de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica no território brasileiro, através da Lei nº 9.427/1996 e do Decreto nº 2.335/1997. A agência iniciou suas atividades em dezembro de 1997.

A ANEEL regula desde a geração até a comercialização da energia elétrica no território nacional, fiscaliza diretamente todas as concessões, permissões e serviços prestados através de convênios com órgãos estaduais de fiscalização e além disso, estabelece resoluções para regulamentação do setor. A Resolução Normativa ANEEL nº 956/2021 estabelece os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Esses procedimentos são divididos em 11 módulos e normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e ao desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica. Através destes serviços a ANEEL realiza estudos e análises de custos para estabelecer as tarifas de energia que serão repassadas a todas as distribuidoras de energia que participam do Sistema Interligado Nacional (SIN).

O SIN é o sistema hidro-termo-eólico de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil, constituído por quatro subsistemas (Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e Norte). De acordo com o Operador Nacional do Sistema elétrico (2022), a interconexão entre os subsistemas viabilizada por meio da malha de transmissão, possibilita a transferência de energia entre as regiões e explora a diversidade entre os regimes hidrológicos das bacias. A integração dos recursos de geração e transmissão propicia o atendimento à necessidade do mercado de energia nacional com segurança e economicidade.

O Brasil possui dezesseis bacias hidrográficas nas diferentes regiões do país, devido a isto, a capacidade instalada de geração do SIN possui uma predominância de usinas hidrelétricas. A transferência de energia ocorre quando há seca em uma determinada região do país e as bacias das hidroelétricas da região não conseguem fornecer a energia requerida da demanda, mas no mesmo período existe a possibilidade de estar sendo gerado um excedente de energia em uma hidroelétrica de outra região, nestes casos é possível fazer a transmissão da energia de onde há excesso para onde há falta de energia (ASTORE, 2016).

O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), criado em 1998, é o órgão responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN). O ONS desenvolve uma série de estudos e ações exercidas sobre o sistema para gerenciar as diferentes fontes de energia e a rede de transmissão, visando garantir a segurança do suprimento contínuo no Brasil (ONS, 2022).

## 2.4 *Smart grids*

O termo *Smart grid* foi cunhado por Amin & Wollenberg em uma publicação da IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), onde os autores definem o termo como: “infraestrutura de rede elétrica em larga escala caracterizada por segurança, agilidade, resiliência e robustez, que enfrenta novas ameaças e condições não previstas” (AMIN & WOLLENBERG, 2005). De acordo com a *International Energy Agency* (IEA), uma *Smart grid* é uma rede de eletricidade que utiliza tecnologia digital para monitorar e gerenciar o transporte de eletricidade.

O Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia dos Estados Unidos (NIST, *National Institute of Standards and Technology*) define *Smart grid* como: “Rede elétrica que utiliza informações, de fluxo bidirecional, com tecnologias de comunicação segura e inteligência artificial de forma a integrar todo o espectro do sistema de energia, desde a geração até o consumidor final”. Essas redes estarão aptas a coordenar as necessidades e capacidades de todos os geradores, operadores e usuários finais do mercado de energia elétrica. Visando aperfeiçoar a utilização, minimizar os custos e impactos ambientais e elevar a confiabilidade, resiliência e estabilidade do sistema elétrico (BRADLEY, 2010).

De acordo com o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2012), “algumas das características das *Smart grids* são a auto recuperação da rede em caso de falhas, a participação

proativa dos consumidores, o foco na qualidade de energia, a capacidade para integrar à rede variadas fontes de energia, a atuação remota, entre outras”.

O Brasil está iniciando a implementação de redes inteligentes de energia pelo país, e de acordo com o CGEE (2012), alguns dos benefícios da implantação das *Smart grids* no Brasil, são:

- Aumento na segurança das redes de energia, devido à rede ser bidirecional e distribuída;
- Diminuição das perdas não técnicas, devido a inclusão de novos medidores e sensores, permitem uma maior detecção de fraudes;
- Possibilidade do consumidor se tornar um micro gerador de energia, possibilitando uma diminuição na conta deste e melhora na resiliência da rede;
- Automatização das redes de energia;
- Maior transparência entre as distribuidoras e os consumidores;
- Possibilidade de novos modelos de tarifação.

De acordo com Krishnan (2015), a definição de *Smart grid* pode ser resumida em “um grupo de equipamentos, conectados à rede elétrica por uma rede de comunicação que enviam diversos dados em tempo real”. O sistema de medição inteligente é uma etapa importante da implantação de uma *Smart grid* e consiste em um sistema de medição inteligente, uma infraestrutura de comunicação bidirecional e softwares que permitam gerenciamento do sistema (VIEIRA, 2011).

Ainda de acordo com a CGEE (2012), existem alguns desafios no caminho para implementação das *Smart grids* no Brasil, como “estabelecer um padrão de interoperabilidade e segurança entre os equipamentos, desenvolver um modelo de mercado viável devido ao alto custo de implementação, promover a cyber segurança do sistema e a privacidade dos dados dos clientes e engajar os clientes para o uso consciente da energia”.

## **2.5 Medidores de energia elétrica**

De acordo com o item 14 do módulo 5 do PRODIST (2021), “Os medidores utilizados para faturamento devem ter modelo aprovado por portaria específica do Inmetro, conforme a legislação metrológica.”. Além disso o item 16.1 do mesmo módulo aponta, “O sistema de medição utilizado para faturamento de unidades consumidoras do Grupo B deve ser capaz de apurar, no mínimo, a energia ativa em kWh, e disponibilizar as informações da medição por meio que permita ao consumidor acompanhar a leitura do medidor.”

### 2.5.1 Medidores eletromecânicos

O medidor eletromecânico é um equipamento composto por um estator, um rotor (disco de metal), uma carcaça e um registrador ciclométrico que contabiliza as rotações efetuadas pelo rotor. O funcionamento se baseia no princípio da indução eletromagnética e foi inventado por Shallenberger em 1888 (SILVA, 2010). Este tipo de medidor mede somente o consumo de energia, e para que a concessionária realize a leitura do consumo e emita a fatura é necessária à coleta *in loco*, na Figura 7, é mostrado alguns modelos destes medidores.

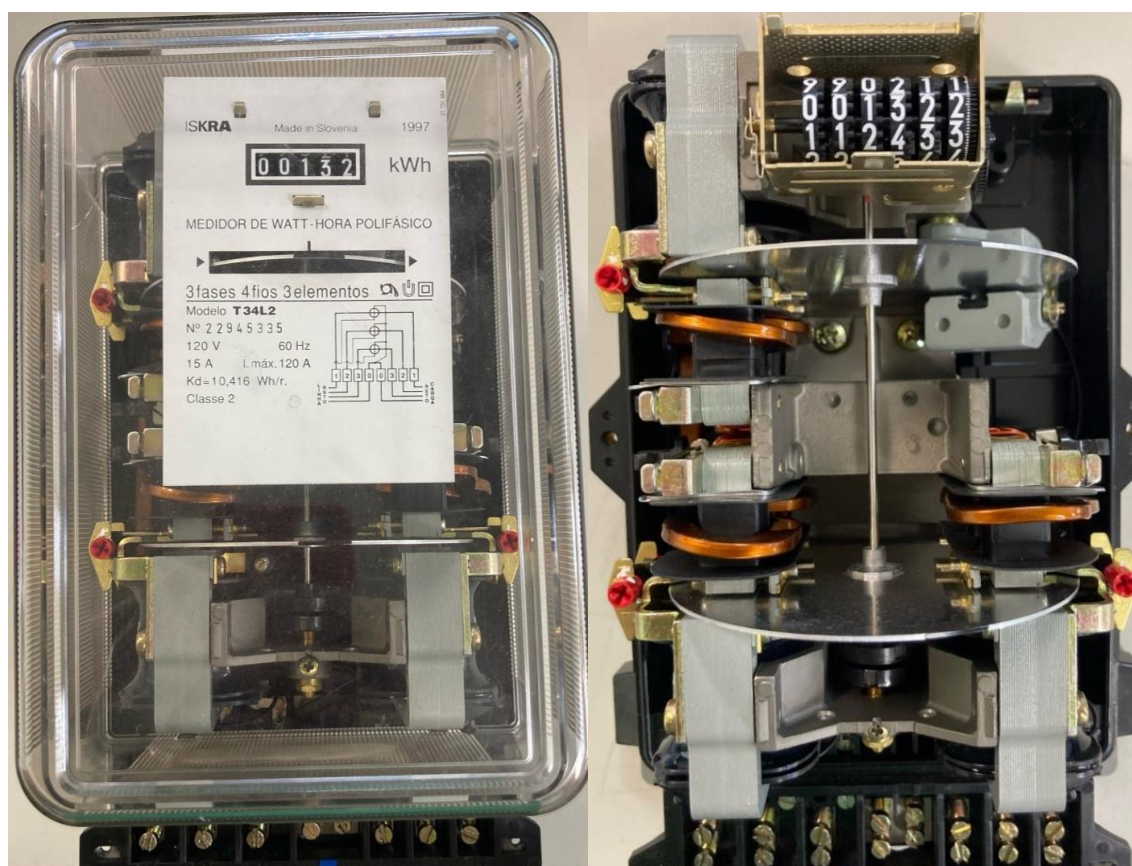
**Figura 7 – Mural CEMIG – Medidores através do tempo.**



Fonte: Do autor.

A vida útil estimada dos medidores eletromecânicos pode chegar a 25 anos conforme a tabela XVI – taxas de depreciação, MCPSE (ANEEL, 2009). Entretanto, este tipo de medidor é obsoleto e não é mais comercializado, e por mais que ainda haja muitos deles instalados no Brasil e no mundo, eles vêm sendo substituídos por medidores eletrônicos.

**Figura 8 – Exemplo de medidor eletromecânico**



Fonte: Do autor.

O medidor eletromecânico mede somente o consumo de energia ativa e para a aferição da tarifa é necessária a coleta local dos dados de medição. Além disso podem apresentar problemas na precisão em situações de variação de temperatura, tensão de rede, frequência, presença de harmônicos, campos magnéticos externos ou devido ao desgaste de seus componentes internos (SILVA, 2021). Na Figura 8 é possível observar um medidor eletromecânico de 1997, da marca Iskra.

### 2.5.2 Medidores eletrônicos

Com o desenvolvimento dos sistemas digitais e com seu posterior barateamento, surgiram os medidores eletrônicos de energia. Esse tipo de medidor baseia-se no uso em conjunto de conversores A/D (análogo para digital) e microcontroladores ou microprocessadores (SILVA, 2021). Nas Figuras 9 e 10 podem ser observados alguns exemplos de medidores eletrônicos convencionais.

Figura 9 – Medidores eletrônicos Nansen



Fonte: Adaptado, site do fornecedor Nansen

Figura 10 – Medidor eletrônico Dowertech



Fonte: Do autor

Em geral os medidores eletrônicos são mais precisos que os eletromecânicos, mas possuem vida útil menor, entre 13 e 15 anos. Estes modelos, realizam a medição da corrente através de um resistor *shunt* ou de um transformador de corrente, retiram uma amostra de tensão através de um divisor de tensão e então calculam a energia elétrica consumida através de um microprocessador utilizando as medições, por fim apresenta no *display* os valores medidos (LIMA, 2021).

Alguns desses medidores são capazes de registrar energia ativa direta, ativa reversa (geração distribuída) e energia reativa (indutiva e capacitiva), entretanto não possuem nativamente a funcionalidade de comunicação a distância. Alguns destes medidores também possuem saída serial, que podem ser assíncronas unidirecionais ou bidirecionais (LIMA, 2021). As saídas seriais podem ser utilizadas para a comunicação local, ou a longas distancias utilizando equipamentos de comunicação como as remotas e o protótipo desenvolvido neste trabalho.

### 2.5.3 *Smart meters*

O termo “medidor inteligente” ainda não possui uma definição padronizada, isto é, os medidores digitais que estão conectados a uma rede podem ser chamados de sistemas de medição inteligente (LIMA, 2021). Entretanto, buscando uma diferenciação, os *Smart meters* serão tratados neste texto como uma evolução dos medidores eletrônicos, isto é, medidores de energia que recebem e enviam dados digitais através de uma rede de comunicação a qual está nativamente integrado. Estes medidores surgiram em resposta a demanda cada vez maior por uma rede elétrica inteligente, eficiente e que permita a inserção da geração distribuída sem complicações (LIPARI, 2014).

Os *Smart meters* foram introduzidos inicialmente para grandes consumidores, devido as necessidades especiais de tarifação. Entretanto com o barateamento da tecnologia e com os requisitos impostos pelas redes elétricas inteligentes, esse tipo de medidor começou a ser utilizado pelas concessionárias para os demais consumidores (SILVA, 2021).

Os *Smart meters* se caracterizam por possuírem controle de corte e religamento da energia de forma remota, envio e recebimento de dados, atualização do *software* embarcado, tipos de comunicação variadas e a possibilidade de ser integrado a diversos tipos de tecnologia como fibra ótica, *Wi-Fi*, *Mesh*, rádio frequência, GPRS e PLC (*Power Line Communication*), controlado por uma central de operações com funcionalidades de todo o sistema de medição (LIPARI, 2014). Alguns exemplos dos dados recebidos por estes medidores são, as alterações tarifárias, variação de períodos de medição, detecção de condições de uso, parâmetros para análise de energia e atualizações de *software*. Já dos dados transmitidos, além da energia elétrica consumida, podem ser citados a potência máxima demandada em um período, a energia reativa, períodos sem medição, a falta de energia, a Duração Relativa da Transgressão de Tensão Precária (DRP) e a Duração Relativa da Transgressão de Tensão Crítica (DRC) (LIMA, 2021).

Um medidor inteligente é composto por um dispositivo de medição e um módulo de comunicação, que podem estar localizados no mesmo dispositivo (LIMA, 2021), além disso, possuem porta óptica para comunicação, geralmente no modelo especificado na NBR 14522 (ABNT), norma que rege sobre o intercâmbio de informações para sistemas de medição de energia (ADAM, 2021). Nas Figuras 11 e 12 são mostrados alguns modelos de medidores inteligentes, na Figura 11 é possível observar os medidores IM300, Zeus 8023 e SMW100, estes medidores utilizam protocolo de comunicação DLMS/COSEM, possuem porta óptica e porta serial, além do módulo de comunicação remota. É possível visualizar o módulo na parte superior dos medidores IM300 e Zeus 8023 (ELETRA ENERGY), já no SMW100 o módulo fica localizado no meio do medidor acima do bloco de terminais (WEG).

**Figura 11 – Medidor Siemens IM300-AD1035, Eletra Zeus 8023 e Weg SMW100**



Fonte: Do autor.

**Figura 12 – Medidor Landis+Gyr E450 e Nansen NSXi.**



Fonte: Adaptado, site dos fornecedores

Na Figura 12, é mostrado os medidores E450 e NSXi, que também utilizam protocolo de comunicação DLMS/COSEM, possuem porta óptica e porta serial e módulo de comunicação. A porta óptica e a saída serial podem ser utilizadas para a comunicação ou parametrização local, além disso podem ser utilizadas para extrair e realizar a transmissão dos mesmos, através de outros tipos de rede de comunicação (ADAM, 2021).

Além de memória para armazenamento de informação, os medidores inteligentes, normalmente também possuem uma funcionalidade de *gateway* (*hardware* de rede), que é a interface entre o consumidor e a distribuidora de energia. A segurança e controle da comunicação via *gateway* é fundamental para a garantia da integridade e privacidade dos dados trocados que são propriedade da empresa de distribuição e são utilizados para tarifação. A VPN (*Virtual Private Network*) tem sido uma forma utilizada para se garantir um caminho seguro de comunicação, além de criptografia nos dados transmitidos/recebidos e estruturas em *blockchain* para a alteração de parâmetros do medidor (LIMA, 2021).

De acordo com o item 20 do módulo 5 do PRODIST “A critério da distribuidora, as informações apuradas pelos sistemas de medição podem ser disponibilizadas em meios alternativos, com vistas a facilitar o acesso às informações pelo usuário, adicionalmente às exigências metrológicas.” (ANEEL, 2021). Entretanto a privacidade e integridade dos dados representa um tema importante na implantação de medidores inteligentes, pois o registro dos

dados de consumo da unidade consumidora pode permitir que sejam tiradas conclusões sobre a rotina de vida dos consumidores, por exemplo, horários de banho de uma família ou períodos de ausência de seus membros, o que leva a questões de segurança. (LIMA, 2021).

#### 2.5.4 Infraestrutura de Medição Avançada - AMI

A Infraestrutura de Medição Avançada (AMI – *Advanced Metering Infrastructure*), é o sistema que possibilita a comunicação bidirecional entre os serviços públicos e os clientes. Esse sistema permite medir de forma remota, o consumo de energia, conectar/desconectar serviços, detectar adulterações, monitorar tensão e identificar quedas de energia. De acordo com a consultoria Gartner, a infraestrutura AMI é um conjunto de tecnologias composta por medidores de consumo, canal de comunicação bidirecionais e repositório de dados. Em conjunto, essas tecnologias suportam as fases do ciclo de vida de dados de medição, desde a aquisição de dados até o provisionamento final de informações de consumo de energia (GARTNER, 2022).

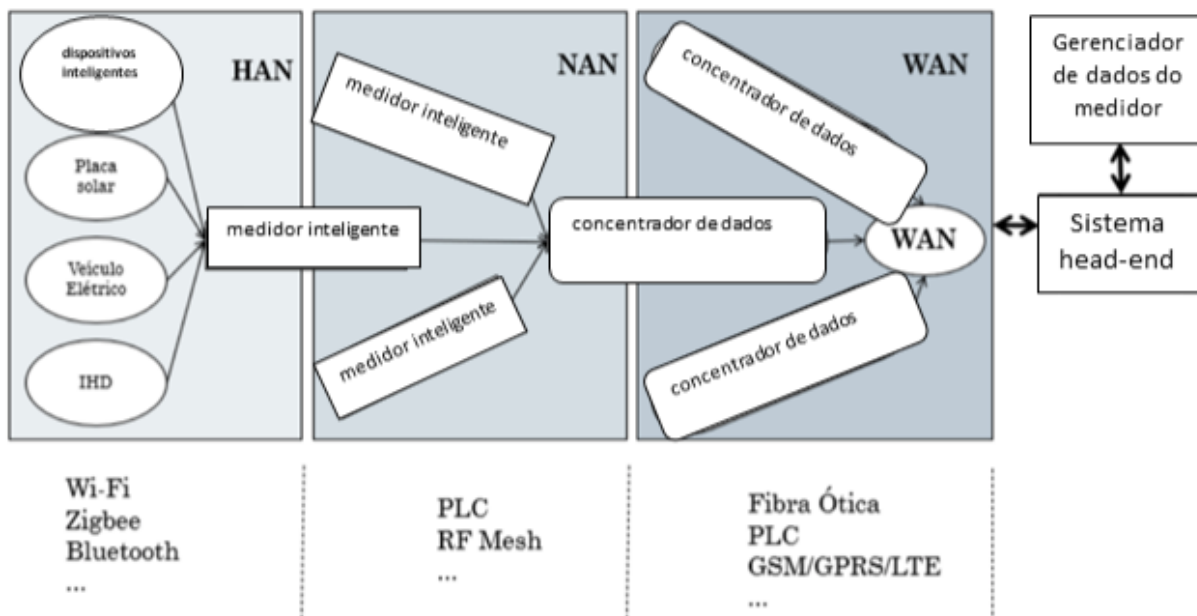
Os componentes principais incluem, os sistemas de medição inteligentes, que geram e armazenam dados de medição, unidades concentradoras de dados (DCU – *Data Concentrator Unit*), que recebem os dados dos medidores e envia ao centro de comando e vice-versa, e as centrais de controle da rede (*Smart grid control center*) que fazem a conexão final dos dispositivos ao sistema da concessionária (ADAM, 2021).

Segundo Mohassel, Fung, Mohammadi & Raahemifar (2014), a infraestrutura AMI é composta pelos medidores inteligentes, diferentes camadas de comunicação e o sistema de gerenciamento de dados de medição (MDMS). O módulo MDMS (*Meter Data Management System*) é um módulo central, que é responsável por gerenciar, armazenar e analisar os dados recebidos e fazer a conexão entre os dados e os subsistemas legados das distribuidoras. As camadas de comunicação podem utilizar diferentes tecnologias, como, *PLC*, *Zigbee*, *RF Mesh* ou redes móveis, para estabelecer a comunicação bidirecional.

A infraestrutura AMI é composta por três tipos de camadas de comunicação, são elas, *home area network (HAN)* rede interna do domicílio, que conecta os dispositivos inteligentes a um medidor inteligente, essa rede utiliza tecnologias como *Wi-Fi*, *Zigbee* e *Bluetooth*. *Neighbourhood area network (NAN)* que interliga os medidores vizinhos, armazena o pacote de dados da rede e envia para o concentrador de dados, esta comunicação pode utilizar tecnologias como *PLC*, *RF Mesh*, entre outras. E a *Wide Area Network (WAN)* que conecta o concentrador de dados à central de gerenciamento de medição através de fibra ótica, redes

móveis ou PLC (PELIELO, 2016). A Figura 13 ilustra a arquitetura de rede da infraestrutura AMI.

Figura 13 – Tipos de rede de gerenciamento da infraestrutura AMI



Fonte: Adaptado de Silva, 2021

### 2.5.5 Sistema Distribuído de Medição de Energia Elétrica - SDMEE (SMC)

No contexto de uma medição de energia remota algumas outras tecnologias tem permeado o mercado da medição, um exemplo é o conceito de medição centralizada, que são sistemas instalados diretamente nos postes de energia que concentram vários medidores em uma mesma central, conhecidos como, sistema distribuído de medição de energia elétrica (SDMEE) ou sistema de medição centralizado (SMC) . Estes também possuem um sistema de comunicação que possibilita o faturamento a distância, sem a necessidade da visita local de um leiturista periodicamente. Na Figura 14, é possível observar um SDMEE instalado no poste.

**Figura 14 – Sistema de Distribuição de Medição de Energia Elétrica (SDMEE)**



Fonte: Labelo, Pucrs 2019

Estes sistemas também conhecidos como sistema de medição centralizado ou baixa tensão zero, tem um conceito um pouco diferente dos medidores de energia. O SDMEE é constituído por diferentes peças que seguem um funcionamento semelhante aos medidores apresentados anteriormente, nessa tecnologia os equipamentos que realizam a medição da energia ficam localizados nas caixas metálicas instaladas no alto do poste, este equipamento envia as medições para o sistema das concessionárias para faturamento e transmite o valor medido para os mostradores que são instalados no lugar dos antigos medidores nas caixas de medição dos clientes possibilitando a consulta do valor medido (LABELO, 2019).

Estes sistemas além de possuírem a comunicação remota apresentam outros benefícios diferentes dos medidores convencionais, pois dificultam a execução de fraudes por parte dos consumidores finais, reduzindo as perdas comerciais das concessionárias. Isto é possível pois as caixas de SDMEE são instaladas nos postes, com alarmes de abertura e indicadores de energia que inibem possíveis fraudes.

#### 2.5.6 Tecnologias de comunicação

A comunicação de medidores de energia pode ser dividida em duas situações, comunicação local e comunicação remota. A comunicação local é a forma mais simples, e envolve os protocolos disponibilizados pelos fabricantes a partir das definições das concessionárias de energia, definida de acordo com a necessidade e particularidade da sua utilização. No Brasil os protocolos RS-232 e RS-485 são os mais utilizados, sendo o RS-232

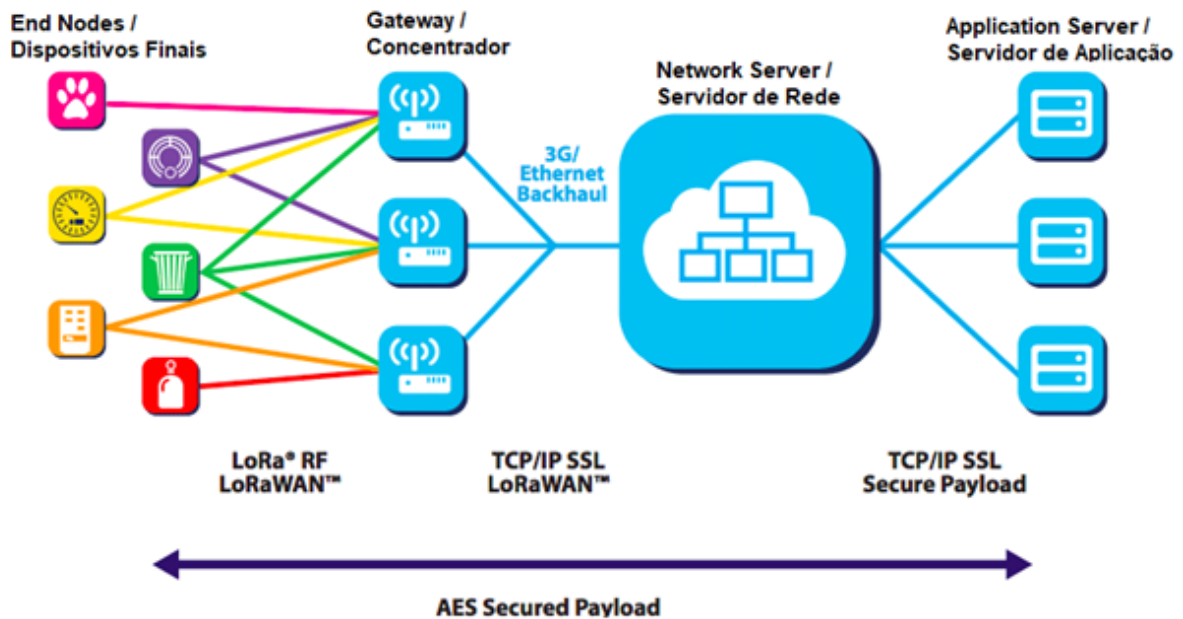
aplicado em situações mais simples que envolvem pequenas distâncias e pontos de comunicação individuais. Já o RS-485 possui um perfil mais arrojado com mais eficiência de comunicação, maior taxa de transmissão de dados, possibilidade de comunicação múltipla de até 32 pontos e possibilidade de comunicações a maiores distâncias (*NATIONAL INSTRUMENTS*, 2017).

A comunicação remota é mais complexa que a local por envolver uma infraestrutura que estabelece conexão entre pontos distantes entre si. Existem várias tecnologias disponíveis para comunicação de medidores de energia através de IoT (*Internet Of Things*), como 3G/4G/GPRS, comunicação via rádio frequência com protocolo *Lora-wan*, *Wi-sun*, entre outras. A rede de comunicação com o uso de IoT exige a utilização de um protocolo IP (*Internet Protocol*) que fornece as regras padronizadas para conexão de equipamentos e é responsável por atribuir um endereço a cada dispositivo interligado em uma rede (SANTOS, 2014).

O protocolo IP possui duas versões IPV4 e IPV6, a versão IPV4 se baseia em um endereçamento codificado em 32 bits, que possibilita que diversos dispositivos estejam diretamente conectados à internet. A versão IPV6, *6LoWPAN*, foi desenvolvida devido a necessidade em se interligar mais dispositivos na rede, visando ser implementada em sistemas embarcados de dispositivos que podem assumir variadas funções, como sensores e *smartphones* (SANTOS, 2014).

Outro protocolo existente é a Aliança *Lora-wan*, que oferece suporte ao *6LoWPAN* e atende aos requisitos de comunicação segura e bidirecional. O LoRa tem o objetivo de proporcionar uma comunicação a longas distâncias com baixo consumo de energia, projetado para redes públicas com milhões de dispositivos conectados. Este protocolo segue o modelo de topologia em estrela onde cada módulo envia e recebe dados de *Gateways* (concentradores), que repassam os dados via conexão IP para servidores locais ou em nuvem (SANTOS, 2014). Na Figura 15 é mostrada a topologia de rede LoRa.

Figura 15 – Estrutura de rede LoRa



Fonte: Adaptado de Couto, 2021

Uma nova solução de comunicação existente é a tecnologia *Wi-SUN (Wireless Smart Ubiquitous Network)*, que tem se mostrado promissora no mercado de medidores inteligentes, esta tecnologia tem como base os padrões da IEEE 802.15.4.g e fornece comunicações bidirecionais através de uma implementação de pacotes de protocolos de Internet, como a camada de adaptação *6LoWPAN*. Foi criada pelo órgão *Wi-SUN Alliance*, um consórcio de corporações globais composta por centenas de empresas colaboradoras, com o intuito de garantir que produtos de diferentes fabricantes, que implementam a especificação *Wi-SUN*, funcionem em conjunto (SILVA, 2015).

A interconectividade sem fio da rede *RF Mesh* possibilita a criação de uma *Field Area Network (FAN)* que conecta diversos medidores aos concentradores, utilizando uma série de rádios de curto alcance, aproximadamente 1 km, para propagar os dados por meio de ondas eletromagnéticas entre os equipamentos conectados, formando um caminho entre os medidores inteligentes e os receptores de comunicação final. Para se tornar funcional é necessário a instalação de rádios e concentradores, ao redor da área que deve ser varrida pela comunicação, garantindo uma conexão eficiente entre os rádios dos medidores e os concentradores (PETENEL, 2014). Na Figura 16, é possível observar a rede *Wi-SUN*.

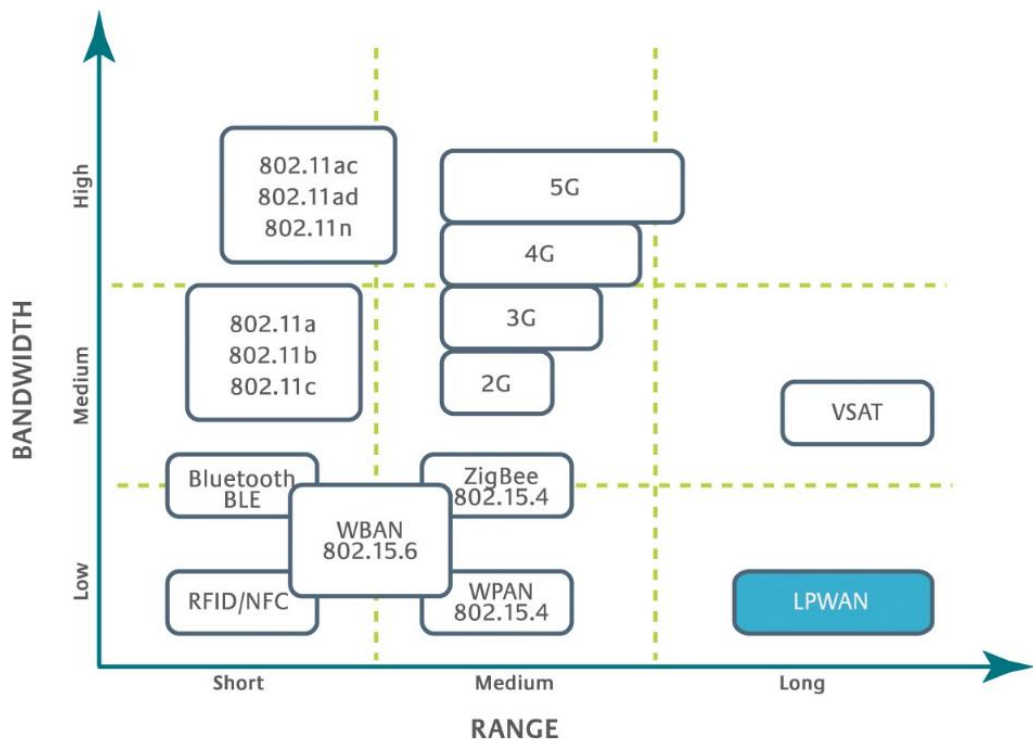
**Figura 16 – Topologia de rede Wi-SUN**



Fonte: Couto, 2021.

Além das tecnologias citadas, existem algumas outras que podem ser utilizadas como base para a transmissão de informações dos medidores inteligentes, como por exemplo, a própria rede de energia (PLC – *Power Line Communication*), serviços de rádio de dados móveis como LTE (*Long-term Evolution*), Internet via conexão com modem local, entre outras. (LIMA, 2021). Na Figura 17, é apresentado um comparativo do alcance e da taxa de dados dos principais tipos de rede usada em IoT.

**Figura 17 – Comparativo de redes de comunicação**



Fonte: Addvalue, 2022

No Brasil foram testadas diversas tecnologias de comunicação com medidores inteligentes realizadas pelas concessionárias de distribuição, como canais dedicados de radiofrequências, distribuição de sinais em formato *Mesh*, *Wi-Fi* e o uso da rede de telecomunicações 3G e 4G. (LIMA, 2021).

### 2.5.7 Tecnologias para telemetria

A telemetria consiste em realizar a medição do consumo de energia elétrica a distância, podendo ser realizada por medidores que possuem a comunicação integrada ou por equipamentos que são conectados aos medidores e enviam os dados para os sistemas de controle e faturamento das concessionárias, estes equipamentos são comumente chamados de remotas de telemedição (M2M TELEMETRIA, 2023).

Em suma estes equipamentos realizam a captação dos dados dos medidores e utilizam a rede 4G para envio dos dados aos *softwares* MDC (*Metering Data Collector*) e MDM (*Meter Data Management*) das concessionárias. Também são capazes de receber comandos do MDC e MDM, realizando comandos como abertura e fechamento de relé, fechamento de demanda, programações, entre outros (M2M TELEMETRIA, 2023).

Um exemplo deste equipamento é a remota RMT-5.0 4G, do fabricante M2M telemetria, de acordo com a M2M (2023), “A remota RMT-5.0 4G é um equipamento dedicado à telemedição de grandes consumidores de energia elétrica, possui mais de 30 rotinas de detecção de irregularidades e proporciona à concessionária uma atuação rápida e eficaz em casos de fraudes e defeitos dos elementos de medição”. Este equipamento pode ser visto na Figura 18.

**Figura 18 – Remota RMT-5.0 4G M2M**



Fonte: M2M telemetria, 2023

Algumas características técnicas deste equipamento, 3 portas RS232 (Db9), LEDs de sinalização, dual SIM Card, comando de relés integrado, memória *flash* de 32MB e sensores de tensão pós-relé, temperatura, bateria e de abertura da tampa. É compatível com os seguintes protocolos de comunicação de medidores, ABNT NBR14522 e suas variações, PIMA, SIBMA e DLMS e possui as seguintes opções para comunicação LTE, UTMS, GSM e contingências por SMS (M2M TELEMETRIA, 2023).

Outro equipamento disponível no mercado para esta aplicação é o controlador programável multiprotocolo GT41, do fabricante V2com, de acordo com a V2com (2023), “O GT 41 é o *gateway* IoT multiprotocolo V2COM para supervisão, comunicação e controle remoto de equipamentos em campo. Possibilita a digitalização de medidores, transformadores, religadores, inversores, painéis, entre outros equipamentos”. O GT41 pode ser visto na Figura 19.

**Figura 19 – controlador programável multiprotocolo GT41**



Fonte: V2com, 2023

Algumas características técnicas deste equipamento, multi-operadora (2 micros SIM Cards), possuir portas seriais, 2 RS232 em 1 DB9, conectividade 4G (LTE), 3G e 2G, memória

RAM 256MB, memória Flash de 512MB e as seguintes opções para comunicação, LTE 4G FDD e TDD, 3G HSPA e 2G GPRS/EDGE (V2COM, 2023).

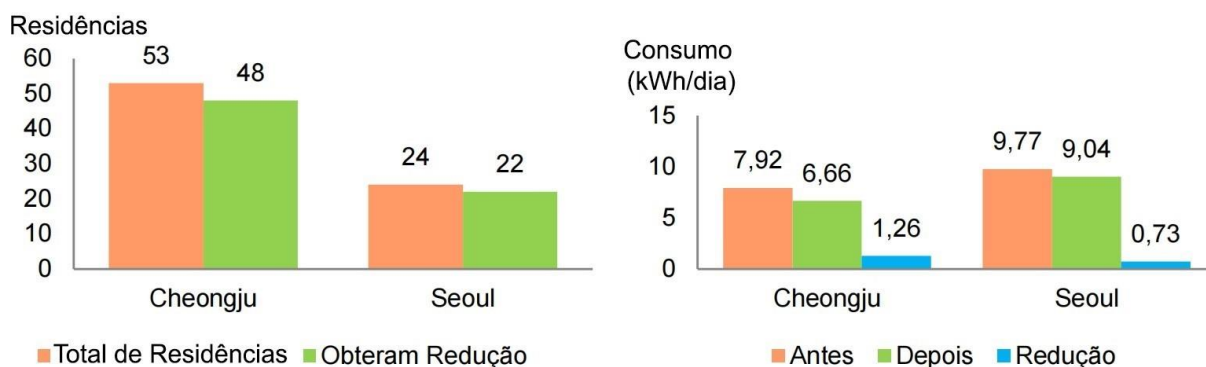
## 2.6 Redes inteligentes no Brasil e no mundo

A evolução dos medidores inteligentes e a busca por uma maior eficiência energética tem tornado a utilização das redes elétricas inteligentes cada vez mais comum no mundo. Vários países já promovem a instalação dos medidores inteligentes incluindo o Brasil. De acordo com a diretiva 2006/32/EC, os países da União Europeia devem prever a instalação de medidores inteligentes em novas instalações e nas instalações onde estiverem previstas a substituição do equipamento de medição (RODRIGUES, 2021).

Países como Alemanha, Romênia, Coreia do Sul e Estados Unidos vêm realizando projetos de redes inteligentes desde 2006. A Alemanha, um dos países pioneiros nos estudos sobre as *Smart grids*, lançou em 2008 o projeto *Intelliekon* para analisar o comportamento dos consumidores diante das informações fornecidas pelos medidores inteligentes. O projeto durou cerca de 1 ano e apresentou como resultado uma redução do consumo por parte dos clientes contemplados (RODRIGUES, 2021).

A Coreia do Sul implementou seu projeto piloto também em 2008, e tinha como ideia principal avaliar o impacto de uma interface com o usuário e o autogerenciamento, de forma que o usuário seria o grande protagonista na economia de energia. Este projeto demonstrou redução de consumo na maioria das unidades contempladas, e evidenciou que um fator importante no nível de economia de energia seria o poder aquisitivo do consumidor, de forma que a economia de energia dos consumidores com maior poder aquisitivo foi mais baixa (CHOI et al., 2009). Na Figura 20 podemos observar os resultados deste projeto.

Figura 20 – Redução do consumo das unidades consumidoras – Coreia do Sul



Fonte: Rodrigues, 2021

Diversos outros países embarcaram na utilização dos medidores inteligentes em busca de economia de energia e eficiência energética, como a Romênia onde projetos pilotos foram iniciados em 2013 e a Suécia que em 2014 já havia instalado *Smart meters* em aproximadamente 90% das unidades consumidoras do país (RODRIGUES,2021). O que denota a difusão da tecnologia e valida a aplicabilidade dos medidores inteligentes para promover economia de energia.

O Brasil iniciou os projetos em 2009, através da Companhia Elétrica de Minas Gerais, CEMIG, que lançou no estado de Minas Gerais o projeto Cidade do futuro, para modernizar o sistema de medição de energia, permitindo que os consumidores observassem seu próprio consumo e injetassem na rede energia gerada a partir da geração própria. O projeto contemplou 1200 unidades consumidoras e foi encerrado em 2014 (O setor elétrico, 2014). Esta mesma companhia conta hoje com um projeto para substituição de 250 mil medidores na região metropolitana de Belo Horizonte com expectativa de expansão para todo o estado nos próximos anos (CEMIG, 2022).

Outros projetos foram implementados no país como a cidade inteligente Búzios, lançado pela Enel em 2011 na cidade Armação de Búzios, no Rio de Janeiro. Este projeto substituiu aproximadamente 9.000 medidores inteligentes e além dos *Smart meters* contava com outros conceitos de uma cidade inteligente, como mobilidade elétrica e iluminação pública eficiente (O SETOR ELÉTRICO, 2014).

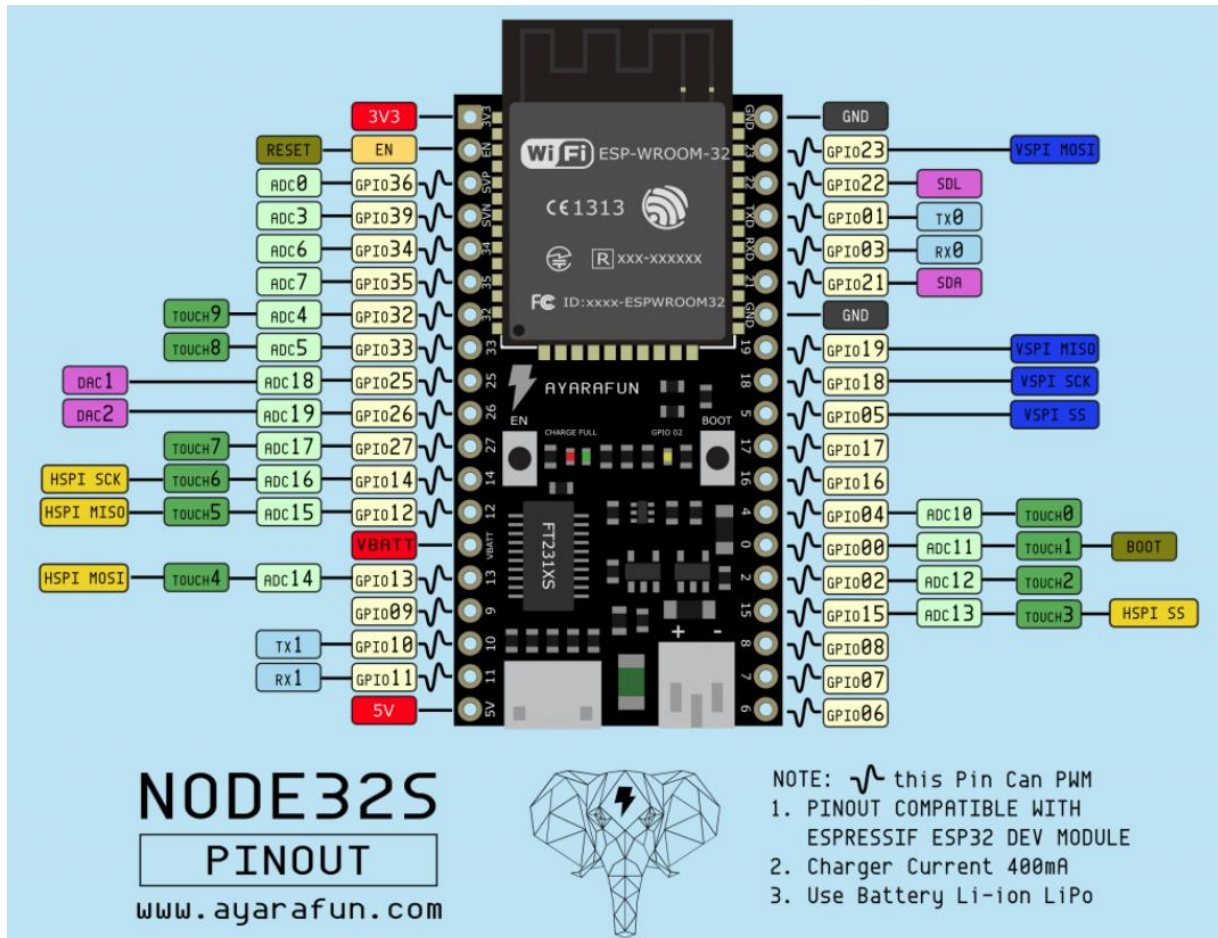
Além dos projetos citados anteriormente a Companhia Paraense de energia, COPEL, lançou em 2020 o projeto rede elétrica inteligente, REI, para implantação de medidores inteligentes e pretende beneficiar mais de 1 milhão de unidades consumidoras no estado do Paraná. De acordo com a COPEL a previsão era instalar mais de 460 mil medidores inteligentes até o fim de 2022 (COPEL, 2022).

## **2.7 ESP 32**

O módulo ESP32 foi o escolhido para construção do protótipo apresentado neste trabalho, esse microcontrolador de alto desempenho para projetos IoT, desenvolvido pela empresa Espressif Systems foi lançado oficialmente em 2017, é um dos mais notórios microcontroladores do mercado. Constituído por um robusto processador dual core de 32-bit, com suporte à rede *Wi-Fi*, *Bluetooth* e memória *flash* integrada, com baixo consumo de energia. O ESP32 permite variadas aplicações para projetos de IoT, acesso remoto, *Web Servers*, *dataloggers* e muito mais (IBRAHIM, 2019).

Comumente utilizado na plataforma de prototipagem NodeMCU-32S, como pode ser visto na Figura 21, este microcontrolador se torna uma ferramenta versátil e independente, com arquitetura que permite programação e alimentação através da porta micro USB. Programação que pode ser realizada utilizando a linguagem C++ através do ambiente de desenvolvimento integrado do Arduino (IDE).

Figura 21 – NodeMCU-32S



Fonte: Ayarafun, 2017

O NodeMCU-32S conta com 38 pinos, sendo os GPIO responsáveis por receber e enviar informações para outros dispositivos, estes pinos realizam as funções de captar as informações de sensores analógicos e as converter em informações digitais, de forma que o microcontrolador possa interpretá-las. Seus pinos de GPIO têm maior precisão se comparados com outros microcontroladores e permitem receber uma sequência de caracteres de até 12 bits. O ESP32 também traz recursos como o modo de hibernação, que reduz a demanda de energia para mantê-lo em atividade nos momentos em que não estiver em uso (ESPRESSIF, 2018).

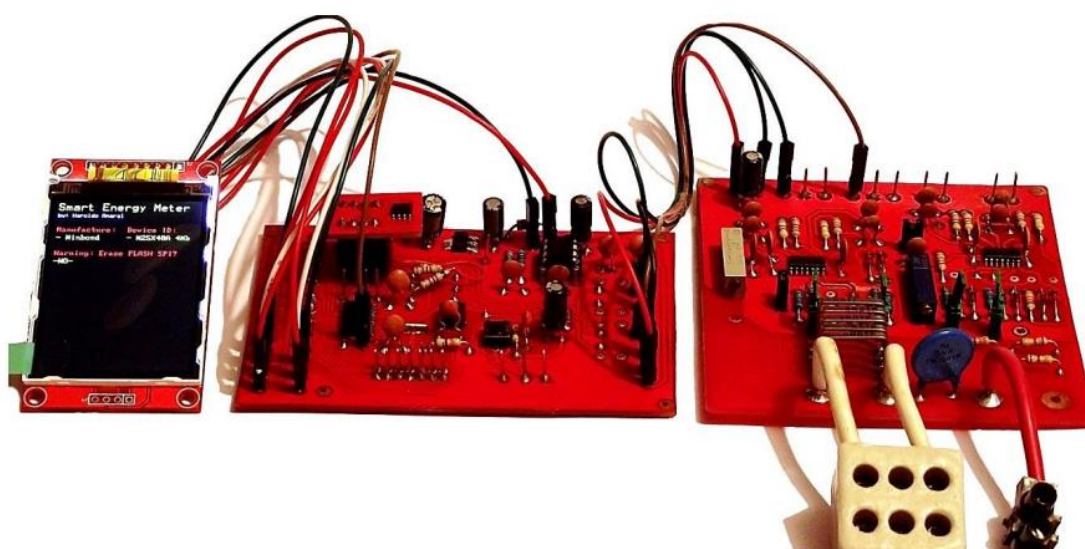
## 2.8 Trabalhos relacionados

Nesta seção serão apresentados trabalhos relacionados ao desenvolvido nesta monografia. Durante a pesquisa para embasar esta monografia foram encontrados alguns trabalhos relacionados que desenvolveram protótipos com funcionalidades análogas ao que foi desenvolvido neste trabalho. Neste tópico serão apresentados alguns destes trabalhos que contribuíram para este desenvolvimento e que possuem informações complementares e/ou análogas as que foram apresentadas aqui.

### 2.8.1 DESENVOLVIMENTO DE UM SMART METER

A dissertação de mestrado em Engenharia Elétrica de Amaral (2014), apresentada à Faculdade de Engenharia de Bauru, com título, DESENVOLVIMENTO DE UM SMART METER: um estudo sobre eficiência energética através das redes inteligentes. Nela o autor compartilha das opiniões apresentadas nesta monografia no que tange aos benefícios que a utilização dos *Smart meters* podem trazer aos consumidores e às concessionárias. Entretanto, na dissertação de mestrado é apresentada o desenvolvimento de um *Smart meter* de baixo custo com estrutura flexível, e não um equipamento de telemetria. Além disso, o principal objetivo é obter precisão e exatidão nas medidas, além da capacidade de armazenar os dados coletados, e não está focado na telemetria como é o caso do protótipo desenvolvido nesta monografia. O sistema desenvolvido por Amaral pode ser visto na Figura 22.

Figura 22 – Sistema *Smart meter* desenvolvido por Amaral



Fonte: Amaral, 2014.

## 2.8.2 CONSTRUÇÃO DE UM DISPOSITIVO BASEADO EM INTERNET DAS COISAS PARA O GERENCIAMENTO DE ENERGIA

Na pesquisa do programa de iniciação científica, apresentado por Olivio (2018), à vice-reitoria de Pós-graduação e pesquisa da universidade paulista, com título “construção de um dispositivo baseado em internet das coisas para o gerenciamento de energia”. O entendimento do autor é consonante com as opiniões apresentadas nesta monografia acerca dos benefícios que medidores inteligentes podem trazer para a população em geral. Contudo, nesta pesquisa o autor desenvolveu um gerenciador que através da *Internet of Things* (IOT) capta informações pontuais de cada equipamento, a fim de reportar em uma aplicação *Web* quanto cada equipamento consumiu, com a premissa de que estas informações serão uteis para o consumidor que poderá gerenciar melhor a utilização de cada equipamento.

## 2.8.3 DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO PARA COMUNICAÇÃO À LONGA DISTÂNCIA COM MEDIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA PARA CONSUMIDORES DO GRUPO B

No artigo de Adam (2022), com título “DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO PARA COMUNICAÇÃO À LONGA DISTÂNCIA COM MEDIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA PARA CONSUMIDORES DO GRUPO B” desenvolvido com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES/PROEX) e das empresas Mux Energia e Fox IoT através do projeto de P&D ANEEL. Os autores descrevem o desenvolvimento de um dispositivo bem similar ao dessa monografia, entretanto alguns diferenciais podem ser citados, como por exemplo, o protocolo de comunicação utilizado, que neste artigo foi o ABNT14522, o modo de conexão entre o medidor e o protótipo, realizado via cabo óptico e o tipo de conexão de rede, que nesse artigo foi realizada utilizando uma rede *Lora*. Na Figura 23 pode ser observado o protótipo desenvolvido por Adam.

**Figura 23 – Protótipo desenvolvido**



Fonte: Adam, 2022

Desse modo, após encerrada as discussões acerca do referencial teórico que embasou este trabalho e a apresentação de trabalhos relacionados, passaremos a discussão da metodologia do trabalho e a apresentação dos resultados e conclusões.

### 3 METODOLOGIA

Este trabalho possui um caráter exploratório-descritivo experimental, está baseado em fontes primárias de pesquisas e a experimentos realizados durante o desenvolvimento.

Neste capítulo será demonstrado a metodologia utilizada para o desenvolvimento do projeto, bem como demonstrar a sua utilidade. Serão abordados o funcionamento dos medidores eletrônicos e suas características de comunicação, as particularidades do protocolo PIMA, a forma de conexão entre medidor e protótipo e o comportamento do microcontrolador ESP32 nesta aplicação.

#### 3.1 Apresentação do projeto

O protótipo desenvolvido busca realizar a comunicação com medidores eletrônicos e apresentar as leituras em uma página *Web*, para isso é necessário que ele seja conectado a um medidor através da saída de usuário, onde serão obtidas as informações de medição. Esta conexão é realizada fisicamente através de *jumpers* que conectam o medidor ao ESP32, já a conexão com a página *Web* é realizada através da rede *Wi-Fi*, sendo essa função nativa do microcontrolador utilizado (ESPRESSIF, 2018).

O fluxo das informações inicia nos medidores eletrônicos, que armazenam os valores das medições de energia e além de apresentarem estes valores no display os disponibiliza em formato de pacote de dados através da saída de usuário. O protótipo obtém esse pacote ao ser conectado nesta saída e realiza a conversão das informações para poder apresentá-las na página *Web* atrelada ao *Web Server*, esta conexão *Web* é feita através de uma rede *Wi-Fi* local. O fluxo de informações pode ser visto na Figura 24.

Figura 24 – Fluxo de informações de medição



Fonte: Do autor.

A ideia do projeto é obter as leituras constantemente e apresentar os valores na página *Web* possibilitando o acompanhamento, de forma remota, do consumo. Espera-se que com estas

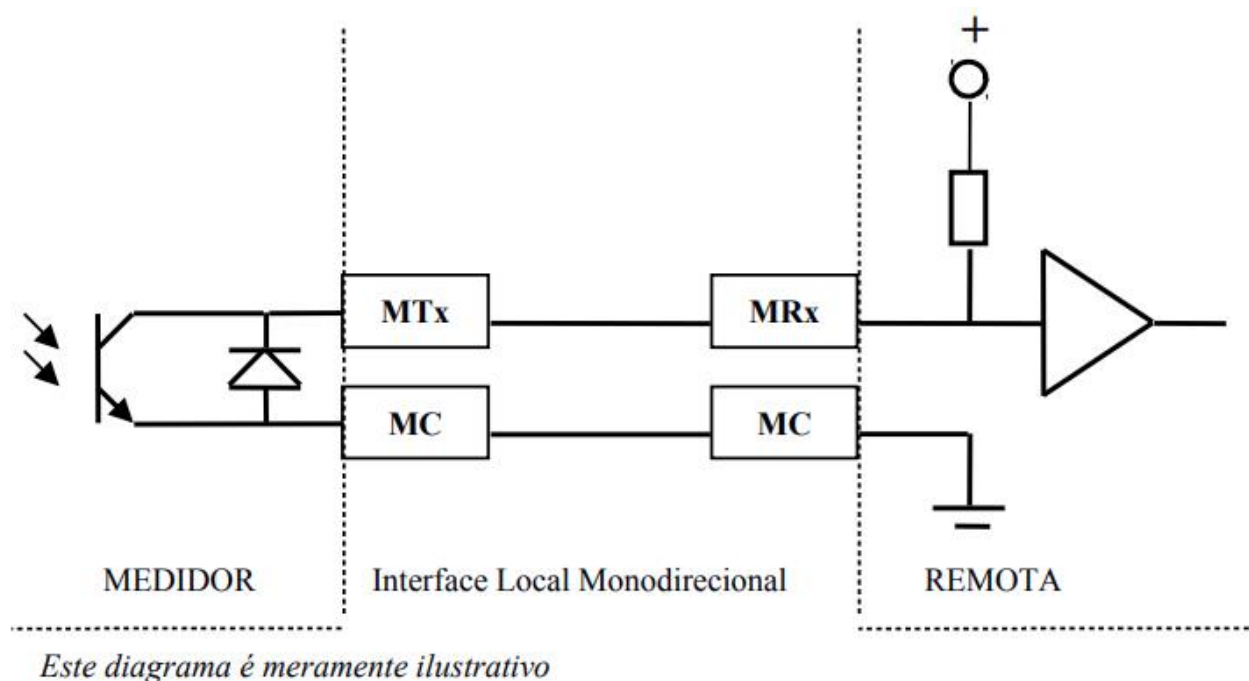
informações o consumidor passe a policiar melhor seu uso, estimulando o consumo consciente de energia elétrica.

### **3.2 Comunicação serial assíncrona unidirecional com o protocolo PIMA**

A saída serial assíncrona unidirecional de medidores eletrônicos de energia elétrica é composta por dois terminais para fixação dos cabos de comunicação, MTx e MC, geralmente posicionados um ao lado do outro ou um acima do outro. A velocidade de comunicação da saída serial assíncrona unidirecional, é 2400 ( $\pm 3\%$ ) bits por segundo, descrita em 8 *bits* por caractere, cada caractere possui 1 *start bit* e 1 *stop bit* e possui tempo máximo de 50 *bits* entre o fim de um *stop bit* de um caractere e o início do *start bit* do caractere seguinte do mesmo pacote. Já o tempo mínimo entre o fim do *stop bit* do último caractere de um pacote e o início do *start bit* do primeiro caractere do pacote seguinte é de 200 *bits* (COPEL, 2018).

Na Figura 25 é possível observar o diagrama elétrico ilustrativo da saída serial assíncrona unidirecional, onde a esquerda podemos observar as saídas seriais do medidor e a direita podemos observar a entrada serial da “remota”, que neste caso se refere ao protótipo desenvolvido neste trabalho. Os componentes podem variar de acordo com fabricação dos equipamentos, entretanto, a energização partindo do MRx do protótipo, ligado ao MTX do medidor e o MC do aterrado, foram replicados durante esse desenvolvimento. Dessa forma ao energizar o MTx do medidor o protótipo passa a receber o pacote de dados contendo as informações de leitura, realizando as conversões para então apresentar no *WebServer* criado.

Figura 25 – Diagrama elétrico saída serial assíncrona unidirecional



Fonte: COPEL, 2018

De acordo com a especificação 3.11 da COPEL (2018), a formação dos pacotes de dados enviados através da saída serial assíncrona deve seguir a seguinte formatação específica:

- Preâmbulo - Sinalização inicial de um pacote. Consistem em 2 *bytes* com os caracteres hexadecimais AA e 55;
- Identificador - Número de série do medidor. Composto por 5 *bytes*, no formato BCD, que permitem uma numeração de 10 dígitos;
- Tamanho - Contagem do número de *bytes* referentes aos caracteres de ESCOPO+ÍNDICE e DADOS. Composto por 1 *byte*;
- Escopo + índice - Identificador do tipo de informação a ser mandado, de acordo com o padrão contido na Tabela 1;
- Dados - Corresponde aos valores de medição propriamente ditos apresentadas no formato BCD. Estes dados devem seguir às definições do Protocolo de Aplicação definido no âmbito da Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT;
- CRC - Referente ao caractere de redundância cíclica da mensagem CRC16 ( $X_{16} + X_{15} + X_2 + 1$ ), aplicado sobre todos os bytes do pacote, exceto o PREÂMBULO e o próprio CRC.

**Tabela 1 – Descrição do escopo + Índice - protocolo PIMA**

<b>Escopo + Índice</b>	<b>Formato</b>	<b>Descrição</b>
0A 02	3 Bytes, BCD	kWh Total
0A 07	3 Bytes, BCD	kvarh indutivo Total
0A 0C	3 Bytes, BCD	kvarh capacitivo Total
0A 51	3 Bytes, BCD	kWh reverso Total

Fonte: Adaptado, COPEL 2018.

### **3.3 Prototipagem e programação**

#### **3.3.1 Protótipo de comunicação**

O microcontrolador utilizado neste trabalho foi o ESP32, já integrado a um módulo NodeMCU-32S, além disso foi utilizado uma fonte ajustável 3,3/5 Vcc, uma placa de circuito impresso, *jumpers* para conexão dos pinos e uma caixa para acomodação do protótipo. Na tabela 2 estão detalhados os valores dos itens utilizados.

**Tabela 2 – Descrição dos equipamentos comprados**

<b>Descrição</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor</b>
Esp32 Esp-wroom-32 38 pinos	1 pç.	R\$60,00
Fonte Vca - Vcc	1 pç.	R\$20,00
Fonte ajustável 3,3 5Vcc	1 pç.	R\$16,00
Cabo <i>Wire jumper</i>	1 cj.	R\$15,00
Caixa plástica Patola pequena	1 pç.	R\$35,00
<b>TOTAL</b>		<b>R\$146,00</b>

Fonte: Do autor.

Este protótipo foi desenvolvido para ser instalado dentro da caixa de medição do cliente e para ser energizado diretamente no medidor do cliente, dessa forma precisa ser constituído de materiais que possuam baixo grau de inflamabilidade, por questões de segurança. O protótipo desenvolvido pode ser visto na Figura 26.

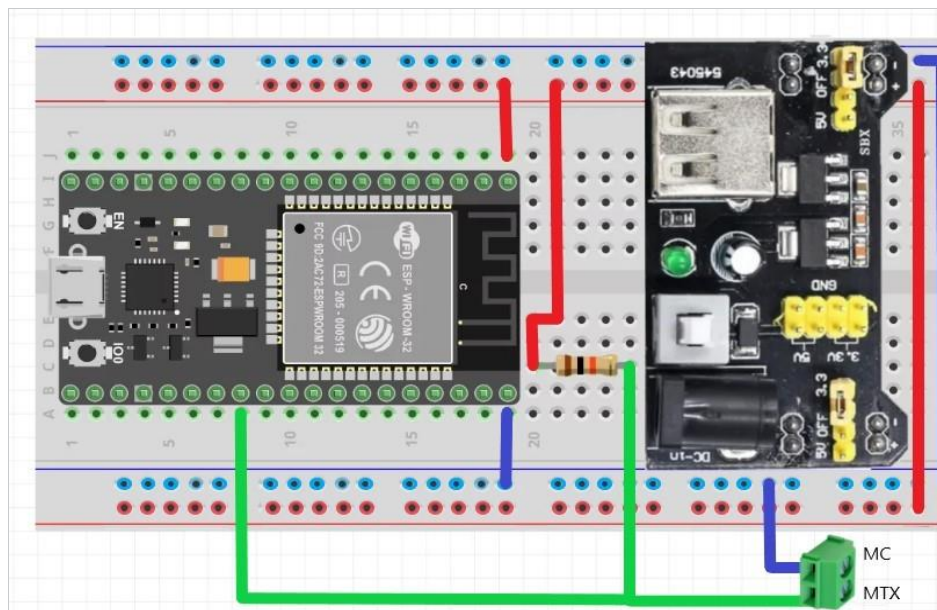
**Figura 26 – Protótipo desenvolvido**



Fonte: Do autor.

O esquemático do protótipo desenvolvido é mostrado na Figura 27. A fonte ajustável foi regulada em 3,3V, tensão recomendada para funcionamento do ESP32, que foi energizado através desta. Para realizar a conexão com a saída serial assíncrona do medidor foi necessário aplicar um resistor de 10 k $\Omega$ , energizado pelos 3,3V e conectado à saída MTX do medidor e à GPIO16 do ESP32, que faz o papel de receptor serial (RX).

**Figura 27 – Diagrama esquemático do projeto**



Fonte: Do autor.

Existem alguns modelos de ESP32 disponíveis no mercado, de diferentes fabricantes e com número de pinos diferentes. O módulo ESP32 utilizado no desenvolvimento deste protótipo possui 38 pinos e as seguintes especificações (ESPRESSIF, 2018):

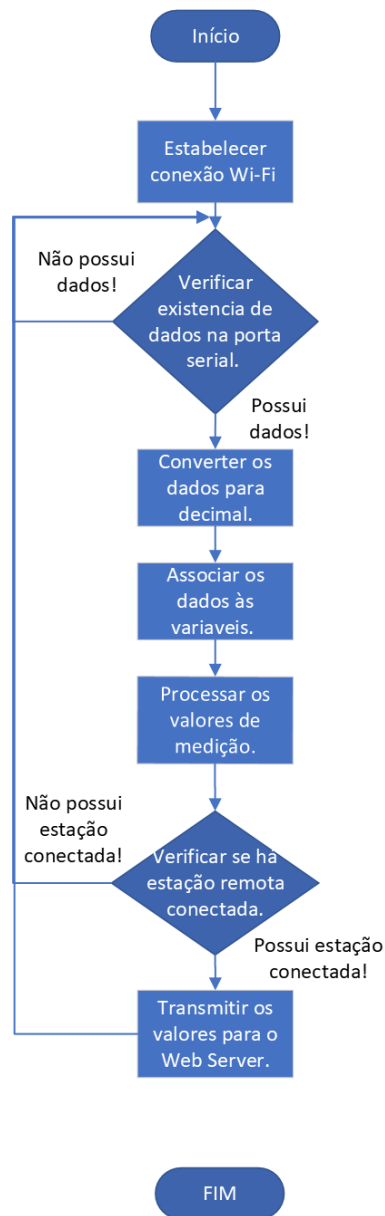
- CPU de *Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6*;
- ROM de 448 KB;
- RAM de 520 KB;
- Memória *Flash* de 4 MB;
- *Clock* máximo de 240MHz;
- Wireless padrão 802.11 b/g/n;
- Conexão *Wi-Fi* 2.4Ghz (máximo de 150 Mbps);
- Antena embutida;
- Conector micro-usb;
- *Wi-Fi Direct (P2P), P2P Discovery, P2P Group Owner mode e P2P Power Management* ;
- Modos de operação: STA/AP/STA+AP;
- *Bluetooth* BLE 4.2;
- 38 pinos;
- GPIO com funções de PWM, I2C, SPI etc;
- Tensão de operação: 4,5 ~ 9V;
- Taxa de transferência: 110-460800bps;
- Suporta *Upgrade* remoto de *firmware*
- Conversor analógico digital (ADC);
- Dimensões: 5,5 x 2,8 x 1,3 cm (medidas totais, incluindo pinos);

### 3.3.2 Programação

A plataforma de programação utilizada foi a Arduino IDE, com a inclusão da biblioteca ESP32. A linguagem de programação nativa da plataforma IDE é C++. O protótipo deve ser capaz de realizar a leitura de cada *byte*, fazer a conversão destes e analisar o resultado. Quando os valores do preâmbulo são identificados o código inicia as associações, identificando o número do medidor e salvando essa informação para apresentá-la na página *Web*. Da mesma forma o código identifica o escopo e índice, a partir disso salva os dados da medição e os apresenta separadamente no *Web Server*, separando o que é energia ativa direta/reversa e

energia reativa indutiva/capacitiva. Na Figura 28, é apresentado um fluxograma do código desenvolvido, e no apêndice 1 está disponível o código na linguagem C++.

**Figura 28 – Fluxograma do código desenvolvido**



Fonte: Do autor.

No código desenvolvido é necessário inserir as informações de rede *Wi-Fi* e senha, para que o ESP32 possa se conectar à rede local. Para isso foram instaladas as bibliotecas na IDE arduino, *Wi-Fi built-In by Arduino 1.2.7*, *WiFiManager by tzapu 2.0.5* e *Firestore Arduino cliente for ESP8266 e ESP32*. As linhas referentes a conexão e teste do *Wi-Fi* podem ser vistas na Figura 29.

Figura 29 – Código conexão *Wi-Fi*

```
#include <WiFi.h>

const char *ssid = "NOME_DA_REDE";
const char *password = "SENHA_REDE";

WiFiServer server(80);

void relay_wifi();

void setup()
{
  Serial.begin(2400);
  Serial2.begin(2400);

  Serial.println();
  Serial.print("conectando-se a");
  Serial.println(ssid);
  WiFi.begin(ssid, password);

  while(WiFi.status() !=WL_CONNECTED)
  {
    delay(741);
    Serial.print(".");
  }

  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi Conectado");
  Serial.println("Endereço IP:");
  Serial.println(WiFi.localIP());

  server.begin();
}
```

Fonte: Do autor.

A tecnologia *Wi-Fi* já é bem difundida no Brasil e no mundo, sendo utilizada em diversos ramos de aplicação, de empresas a residências, possibilitando a utilização da internet das coisas (IoT) no nosso cotidiano. Por isso foi a tecnologia escolhida para execução deste protótipo, possibilitando uma conexão do equipamento sem nenhuma ligação física, o que é muito importante quando observamos os riscos elétricos. O intuito é enviar os dados coletados do medidor para um *Web Server* conectado à rede *Wi-Fi* local e atrelado a uma página *Web*.

O foco do projeto são os dados de medição, que serão captados pelo ESP32 através das entradas seriais do dispositivo (RX, TX) onde estas estarão conectadas na saída serial assíncrona unidirecional dos medidores eletrônicos de energia elétrica, entretanto estes dados precisam ser processados pelo ESP32 para serem convertidos de hexadecimal e/ou BCD para

decimal, esses dados serão então armazenados em variáveis e depois enviados à página *Web* (verificar Figura 28).

Após a conexão com a rede, o protótipo inicia o tratamento do pacote de dados recebido, obtendo as informações relevantes de identificação e medição e atribuindo às variáveis. O código inicialmente faz uma verificação dos bytes recebidos a fim de identificar se está sendo recebido o pacote de dados esperado, verificando os bytes de preâmbulo antes de prosseguir com as atribuições das variáveis.

Os valores de identificação do medidor e de leitura precisam ser convertidos em decimais e organizados para serem apresentados na página *Web*, o número identificador do medidor pode conter até 10 dígitos e é apresentado em formato *Binary-Coded Decimal* (BCD), logo precisa ser convertido e organizado antes de ser apresentado (cada medidor possui um número identificador). Já os valores de leitura precisam passar por um processo de multiplicação e soma, isso porque os *bytes* mais significativos são apresentados no pacote de dados antes dos menos significativos e podem representar a casa da centena, milhar ou dezena de milhar, por isso, precisam ser multiplicados até atingirem o seu valor real para depois serem somados e atingirem o valor medido da grandeza. Uma lógica semelhante foi aplicada nos números identificadores para organizar a sequência de números. O código desenvolvido executa essas funções para cada pacote de dados enviado, atualizando os valores na página HTML. O código completo pode ser visto no apêndice 1 deste trabalho.

### **3.4 Visualização da comunicação**

O resultado obtido nas etapas de comunicação, na captação do identificador e dos dados da medição podem ser observados no próprio monitor serial da plataforma de programação, assim como o resultado da conexão do ESP32 com a rede Wireless, através de uma resposta de conexão inserida no código de programação.

Após a decodificação dos dados (mostrado na seção anterior), os mesmos são apresentados em uma página *Web*, nesta página são apresentados o número de identificação do medidor e os valores de leitura, onde o consumidor final terá acesso de forma remota aos dados podendo acompanhar seu consumo e geração de energia em tempo real, como pode ser visto na Figura 33.

## 4 RESULTADOS


Neste capítulo serão apresentados os resultados atingidos com o protótipo desenvolvido.

Os resultados obtidos foram os esperados. Sendo bem-sucedidas a comunicação entre o medidor e o protótipo, a conexão do ESP32 com a rede Wireless e a apresentação online em tempo real dos dados do medidor (identificação e valores de medição).

### 4.1 Inicialização do programa e conexão com a rede local

Como apresentado no capítulo anterior, para realizar uma conexão com ESP32 configurado como servidor *Web* são necessários o cadastro da rede *Wi-Fi* local no *firmware* do ESP32, *SSID* e *Password*, que correspondem ao nome da rede e senha respectivamente. A conexão exitosa do protótipo com a rede resulta no fornecimento do endereço IP da página *Web* onde serão apresentados os dados de medição, esse é apresentado no monitor serial da IDE Arduino.

Figura 30 - Confirmação de conexão *Wi-Fi* e IP



```
COM5
17:36:22.466 ->
17:36:22.466 -> conectando-se aCLARO_2G982C7C
17:36:23.254 -> ..
17:36:24.005 -> WiFi Conectado
17:36:24.099 -> Endereço IP:
17:36:24.145 -> 192.168.0.23
17:36:24.192 ->
```

Fonte: Do autor.

Utilizando o endereço IP mostrado na Figura 30 (192.168.0.23), é possível acessar o *Web Server* e obter os valores de medição e identificação do medidor que está conectado ao protótipo. Em caso de perda de sinal ou desconexão, o protótipo volta a tentar a conexão até que tenha êxito, este endereço IP ficará disponível enquanto o equipamento estiver energizado e conectado à rede *Wi-Fi*.

### 4.2 Comunicação

A comunicação entre o protótipo e o medidor foi feita entre a saída serial do medidor e as entradas seriais do ESP32, utilizando fios para a conexão. Esta comunicação funcionou perfeitamente durante os testes, o medidor entrega os pacotes de dados e o ESP os recebe sem dificuldades. Como a saída dos medidores é do tipo serial unidirecional o fluxo de informações

acontece exclusivamente do medidor para o protótipo. Após receber o pacote de dados o protótipo executa as conversões e envia os valores para o *Web Server*.

No que tange à comunicação do ESP32 com a rede local vale salientar que o próprio equipamento já possui a funcionalidade de conexão *Wi-Fi* nativa na própria placa, sendo necessário apenas a inclusão do *SSID* e *password* no código.

### **4.3 Tratamento de dados**

Os dados recebidos do medidor são enviados em *Bytes* no formato BCD ou hexadecimal, por isso é necessário realizar a conversão e o tratamento dos dados recebidos. Durante o desenvolvimento foi possível analisar o pacote de dados recebido na sua forma bruta antes de realizar a conversão e foi observado que sem a indicação do formato do *Byte* não é possível identificar qual o número que foi enviado, por isso, foi necessário implementar no código uma etapa de conversão dos *bytes* lidos para decimal.

Os dados relevantes do pacote enviado são os números identificadores do medidor e os valores de energia registrados, estes devem ser convertidos e armazenados para serem apresentados na página *Web*. Os números identificadores são exclusivos do equipamento e não mudam, já os valores de energia registrados variam de acordo com o consumo do cliente e são atualizados sempre que a página *Web* é atualizada.

### **4.4 Comportamento do *Web Server***

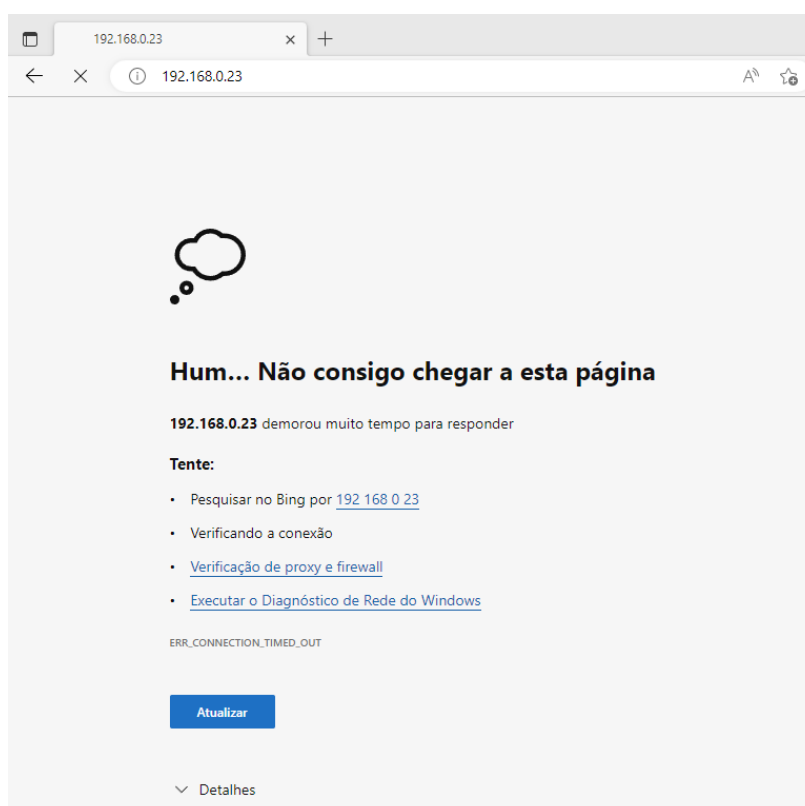
O endereço da página *Web* atrelada ao *Web Server* responsável pela entrega das informações de leitura, depende do equipamento e da rede local ao qual o mesmo está conectado, conforme dito anteriormente o endereço IP gerado pelo protótipo foi 192.168.0.23, através deste endereço é possível acessar os valores de leitura do medidor a distância, de qualquer lugar que possua acesso à internet. Entretanto existem algumas particularidades do equipamento que devem ser observados durante a utilização.

Primeiramente, os valores de leituras são atualizados no dispositivo sempre que ele recebe um pacote de dados, entretanto para atualizar na página *Web* é necessário atualizar a página, caso contrário os valores ficarão congelados no primeiro valor recebido após o acesso.

Em segundo lugar, sempre que o protótipo for retirado de algum medidor é necessário que o controlador seja reiniciado<sup>1</sup>, isso porque o protótipo não entende a desconexão como sinal de reinicialização e não apaga valores já identificados, apenas sobrepõem os valores, sendo necessário executar esse procedimento para limpar as leituras anteriores.

Por fim, em caso de perda de comunicação com o medidor, o protótipo mantém a última leitura realizada e as atualizações não apresentam novo valor de leitura. Assim, é necessário verificar a ligação do dispositivo e as conexões dos cabos de comunicação serial. Agora, caso haja a perda de comunicação com a rede local, o dispositivo interrompe o endereço IP e a página fica indisponível. Neste caso, deve-se verificar o sinal *Wi-Fi* e a conexão do dispositivo a rede, sendo necessário acessar o código através da plataforma Arduino IDE para verificar nome da rede, senha e se o dispositivo conseguiu conectar. Na Figura 31 é possível observar a página *Web* indisponível por perda de conexão com a internet.

**Figura 31 – Web Server indisponível**



Fonte: Do autor.

Foi observado durante o desenvolvimento que o ESP32 não possui capacidade para conexão a redes *Wi-Fi* 5G, sendo necessário conectar à rede *Wi-Fi* 2,4G, por se tratar de um pacote de dados pequeno, essa característica não impacta diretamente no funcionamento do protótipo.

#### **4.5 Hardware**

O protótipo desenvolvido foi projetado pensando nos riscos elétricos no interior da caixa de medição. Sendo assim, a caixa utilizada e a fonte externa não propagam chamas, reduzindo

o risco de incidentes. Na Figura 32, é apresentado o protótipo em sua versão final com a fonte externa acoplada.

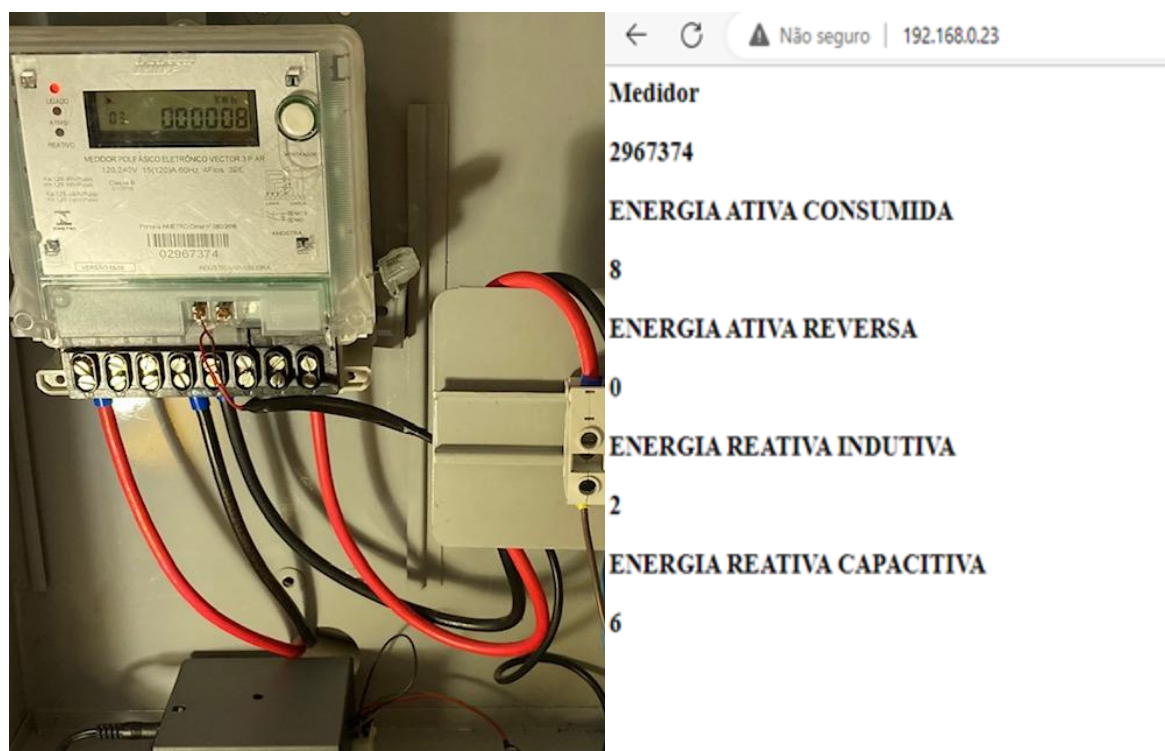
**Figura 32 - Versão final do protótipo**



Fonte: Do autor.

Outro ponto de atenção foi a questão dimensional do protótipo, sendo que o seu tamanho não pode ser muito grande, para não ocupar muito espaço dentro da caixa de medição. Na Figura 33, é mostrado o equipamento de telemetria desenvolvido acondicionado dentro de uma caixa de medição polifásica e os valores de leitura apresentados na página *Web*.

Figura 33 – Protótipo dentro da caixa de medição e leitura na página Web



Fonte: Do autor.

#### 4.6 Demonstrações do resultado

Para demonstrar o funcionamento do protótipo foram realizadas montagens com diferentes modelos de variadas marcas, a fim de validar o funcionamento do equipamento. Estas montagens podem ser visualizadas acessando o *link*: <https://youtu.be/d5z8VI04-Sk>. Vale salientar que nem todos os modelos possuem as mesmas funcionalidades de medição de energia, sendo que, alguns possuem apenas a funcionalidade de medição de energia ativa direta (código 003), outros contam com a medição ativa reversa (código 103) e outros além da energia ativa registram a energia reativa capacitiva (código 031) e indutiva (código 024).

Os resultados alcançados foram satisfatórios para todos os modelos analisados e em todos os casos avaliados o equipamento de telemetria desenvolvido realizou a captação da identificação dos medidores e leituras de energia de forma correta.

## 5 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi construído um equipamento de telemetria capaz de realizar a leitura dos dados de medição de um medidor eletrônico através de sua saída serial assíncrona unidirecional e disponibilizar estes dados em uma página *Web*, para que pudesse ser acessada de forma remota.

Também foi apresentada neste trabalho, uma breve revisão bibliográfica sobre o desenvolvimento da tecnologia para a medição de energia consumida, passando dos medidores eletromecânicos até os *Smart meters*, mostrando os benefícios do investimento nesta área.

O equipamento de telemetria desenvolvido proporciona a telemedição de medidores convencionais e oferece uma possibilidade de incluir os medidores eletrônicos, utilizados em consumidores do grupo B, nas *Smart grids*, permitindo assim uma maior eficiência do consumo e controle de energia (principais vantagens das *Smart grids* aos consumidores). Muito embora o conjunto formado pelo medidor convencional e o equipamento desenvolvido não possa ser considerado um *Smart meter* pelas definições de Lipari (2014), o mesmo pode ser enquadrado nas definições de Lima (2021), por possibilitar a conexão dos medidores a uma rede.

Para alcançar os objetivos propostos, a solução foi construída se espelhando em equipamentos já existentes que realizam esta telemedição. Entretanto, foram necessárias algumas adequações já que o protocolo de comunicação e as funcionalidades dos medidores ao qual o protótipo visa atender são diferentes dos medidores aos quais os equipamentos já existentes atendem.

Um dos aspectos evidenciados durante o desenvolvimento deste trabalho é que, devido às limitações dos medidores que o protótipo busca atender não é interessante a aplicação dos equipamentos já existentes. Isso ocorre porque esses equipamentos possuem funcionalidades de comando e leitura que não serão aproveitados, além de possuírem um valor agregado muito alto. Sendo assim, torna-se inviável a aplicação desses equipamentos em clientes que não consomem o suficiente para tornar financeiramente interessante a utilização.

No âmbito da viabilização econômica, o protótipo desenvolvido se mostra um tanto quanto interessante por possuir um baixo valor agregado e conseguir realizar a função de telemedição de forma exitosa.

Tendo em vista as questões de pesquisa e os desenvolvimentos apresentados neste trabalho, conclui-se que o protótipo atende muito bem aos objetivos propostos, entregando de forma concisa as informações requeridas e podendo proporcionar grande parte dos benefícios que os *Smart meters* prometem trazer aos consumidores finais.

## 5.1 Trabalhos futuros

Mesmo tendo alcançado os objetivos propostos e demonstrando eficácia, é importante ressaltar algumas possibilidades de melhoria no protótipo desenvolvido que não foram implementadas no trabalho atual, mas podem servir de base para desenvolvimentos futuros.

Uma delas é no tocante à página *Web*, que pode ser redesenhada para apresentar algumas outras informações que não são necessariamente obtidas do pacote de dados do medidor, como: data e hora da última comunicação, curva de utilização, dias e horários que houve mais consumo, entre outras métricas de consumo que podem auxiliar o consumidor final na interpretação dos valores de leitura. Esta melhoria pode ser desenvolvida otimizando a própria página *Web* gerada pelo controlador ou atrelando as informações a uma outra página.

Um outro ponto de melhoria observado que pode ser desenvolvido é com relação à configuração da rede local, onde pode ser desenvolvida uma forma simplificada de configurar o *SSID* e *PASSWORD* da rede *Wi-Fi* sem a necessidade de alterar o código do protótipo, bem como uma forma alternativa de obter o endereço IP gerado sem ser diretamente no monitor serial do programa Arduino IDE.

Por fim, um último vislumbre seria equiparar o protótipo aos equipamentos já existentes no mercado, de forma a possibilitar uma comunicação bidirecional. Isto é, evoluir a nível de mercado, tornando-o capaz de enviar comandos aos medidores além de realizar a captação dos dados de medição.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOBOREIRA, F. L.; CRUZ, A. F. S. A importância do Smart grid na rede elétrica de distribuição do Brasil. In: XV Seminário Estudantil de Produção Acadêmica (SEPA), v. 15, 2016. Disponível em: <https://revistas.unifacs.br/index.php/sepa/article/download/4375/3023>. Acesso em: 20 de dez 2022;

ADAM, L., Barriquello, C. H., Bernardon, D. P., Carloto, F. G., Maziero, L., & Marchesan, T. B. (2021). Desenvolvimento de Dispositivo para Comunicação à Longa Distância com Medidores de Energia Elétrica para Consumidores do Grupo B. SEPOC 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/21811> . Acesso em: 20 de dez 2022;

ADDVALUE. Satcom-IoT via LoRa-WAN. Disponível em: <https://www.addvaluetech.com/satcom-iot-via-lora-wan/>. Acesso em: 22 de outubro de 2022;

ALBA ENERGIA, Entenda a diferença entre geração, transmissão e distribuição de energia, 2021. Site. Disponível em: <https://albaenergia.com.br/entenda-a-diferenca-entre-geracao-transmissao-e-distribuicao-de-energia/>. Acesso em: 10 de dez de 2022.

AMARAL, Haroldo Luiz Moretti do. Desenvolvimento de um smart meter: um estudo sobre eficiência energética através das redes inteligentes. 2014. 88 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia, 2014. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/122123> . Acesso em: 20 de dez 2022;

AMIM S. Massoud; WOLLENBERG B. F., "Towards a smart grid: power delivery for the 21st century", in IEEE Power and Energy Magazine, vol. 3, n. 5, pp. 34-41, set.-out. (2005). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/MPAE.2005.1507024> . Acesso em: 20 de dez 2022;

ANEEL. Resolução Normativa N° 1000, de 2021. De 7 de dezembro de 2021. Disponível em: [www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.html#:~:text=Estabelece as Regras de Prestação,2020 e dá outras providências.](http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.html#:~:text=Estabelece as Regras de Prestação,2020 e dá outras providências.) . Acesso em: 20 de dez 2022;

ANEEL. Resolução Normativa N° 367, de 2009. Manual de Controle Patrimonial Do Setor Elétrico, MCPSE. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2009367.pdf> . Acesso em: 20 de dez 2022;

ANEEL. Resolução Normativa Nº 956/2021 - PRODIST. Disponível em: [www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2021956.html](http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2021956.html) . Acesso em: 20 de dez 2022;

ANZANELLO JÚNIOR, José David. Análise de Microgeração Fotovoltaica em um Sistema de Distribuição utilizando o OpenDSS. (2016) Trabalho de conclusão de curso, apresentado a UFRGS. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/151342> .Acesso em: 20 de dezembro de 2022;

BARAI, Gouri R.; KRISHNAN, Sridhar; VENKATESH, Bala. Smart metering and functionalities of smart meters in smart grid-a review. In: 2015 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC). IEEE, 2015. p. 138-145. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7379940> . Acesso em: 20 de dez 2022;

BONFIM GOMES, T.; DE ANDRADE, V. C. A descoberta da natureza elétrica dos raios: uma abordagem histórico-investigativa. Revista do Professor de Física, v. 6, n. Especial, p. 185–191, 2022. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/45948>. Acesso em: 20 de dezembro de 2022;

BRADLEY, Richard. Energy Efficiency Efficiency, Electricity Electricity Demand and Smart grids. International Energy Agency, (2010). Disponível em: <http://www.iea.org/>. Acesso em: 20 de dez 2022;

CEMIG. Medidores inteligentes. (2022). Disponível em: <https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/medidores-inteligentes>. Acesso em: 20 de dez 2022;

CGEE. Redes elétricas inteligentes: contexto nacional. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), 2012. Disponível em: [https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/Redes\\_Eletricas\\_Inteligentes\\_22mar13\\_9539.pdf/36f87ff1-43ed-4f33-9b53-5c869ace9023?version=1.5](https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/Redes_Eletricas_Inteligentes_22mar13_9539.pdf/36f87ff1-43ed-4f33-9b53-5c869ace9023?version=1.5) . Acesso em: 20 de dez 2022;

CHOI, Tae-Seop et al. Analysis of energy savings using smart metering system and IHD (in-home display). In: 2009 Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific. IEEE, 2009. p. 1-4. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5356956> . Acesso em: 20 de dez 2022;

CONTROLADOR PROGRAMÁVEL MULTIPROTOCOLO GT41, V2com. Disponível em: <https://www.v2com.com.br/gt41-controlador-programavel-multiprotocolo>. Acesso em: 28 de março de 2023;

COOPER, Adam; SHUSTER, Mike. Electric Company Smart meter Deployments: Foundation for a Smart grid (2021). Disponível em: <https://www.edisonfoundation.net/iei/publications/>. Acesso em: 20 de dez 2022;

COPEL. ETC 3.11 – Especificação Técnica Para Saída Serial Assíncrona Unidirecional, Paraná, 2018. Disponível em: <https://web.sharepoint.com/sites/ETC/ETC311%20Saida%20Serial%20Medidores%20eletronicos.pdf>. Acesso em: 29 de março de 2022;

COPEL. Rede elétrica inteligente – REI. 2022. Disponível em: [https://www.copel.com/hpcweb/copel\\_rede\\_eletrica\\_inteligente\\_rei.php](https://www.copel.com/hpcweb/copel_rede_eletrica_inteligente_rei.php). Acesso em: 20 de dez 2022;

COUTO, Danielle D'angelo Delabrida. Smart Grid: o uso de IoT na gestão de energia elétrica. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Pitágoras. Belo Horizonte, 2021. Disponível em: <https://repositorio.pgsscogna.com.br/handle/123456789/38907> . Acesso em: 20 de dez 2022;

Distribuição de energia elétrica, Wikipédia. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Distribuição\\_de\\_energia\\_elétrica](https://pt.wikipedia.org/wiki/Distribuição_de_energia_elétrica) . Acesso em: 20 de dez 2022;

DONEV, J. M. K. C. et al. Energy Education-Total Primary Energy Supply. University of Calgary. Calgary, 2017. Disponível em: [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Total\\_primary\\_energy\\_supply](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Total_primary_energy_supply). Acesso em: 16 de outubro de 2022;

ELETRA ENERGY. Medidores inteligentes. 2022. Disponível em: <https://www.eletraenergy.com.br/medidores-inteligentes/>. Acesso em: 20 de dez 2022;

ENERGÊS. Diferença entre linha de distribuição e transmissão, Energês a linguagem da energia. 2021. Disponível em: <https://energes.com.br/diferenca-entre-linhas-de-transmissao-e-distribuicao/>. Acesso em: 20 de dez 2022;

EPE. Matriz energética e elétrica, Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2022). Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/matriz-energetica>. Acesso em: 16 de outubro de 2022;

ESPRESSIF. ESP-WROOM-32 Series. Datasheet. Espressif System, 2019. Disponível em: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf). Acesso em: 22 de outubro de 2022;

Faisal, M.A., Aung, Z., Williams, J.R., Sanchez, A. (2012). Protegendo a infraestrutura de medição avançada usando o sistema de detecção de intrusão com mineração de fluxo de dados. In: Chau, M., Wang, G.A., Yue, W.T., Chen, H. (eds) Inteligência e Informática de Segurança. PAISI 2012. Notas de Aula em Ciência da Computação, vol 7299. Springer, Berlim, Heidelberg. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-30428-6\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-642-30428-6_8) . Acesso em: 20 de dez 2022;

FORNELL. História da eletricidade – william gilbert. 2020. Disponível em: <https://blog.fornell.com.br/historia-da-eletricidade-william-gilbert/>. Acesso em: 16 de outubro de 2022;

GARTNER GLOSSARY. Infraestrutura de medição avançada (AMI), (2023). Disponível em: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/advanced-metering-infrastructure-ami>. Acesso em: 21 de outubro de 2022;

GOMES, João Paulo Pombeiro; VIEIRA, Marcelo Milano Falcão. O campo da energia elétrica no Brasil de 1880 a 2002. Revista de Administração Pública, v. 43, p. 295-321, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rap/a/QdDzYr3y5rWZQ8WbFXGY8hP/>. Acesso em: 20 de dezembro de 2022;

IBRAHIM, Dogan. The Complete ESP32 Projects Guide: 59 Experiments with Arduino IDE and Python. Elektor, 2019;

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Data and Statistics. Paris, 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics>. Acesso em: 11 de outubro de 2022;

LABELO. Você sabia? Sistemas de distribuição de medição de energia elétrica (sdmee). Labelo PUCRS, 2019. Disponível em: <https://lebelopucrs.github.io/medicao-eletrica/sdme/>. Acesso em: 22 de outubro de 2022;

LANDIS +GYR. MEDIDORES E450. Disponível em: <https://www.landisgyr.com.br/product/e450/>. Acesso em: 16 de outubro de 2022;

LEI Nº 7.783, DE 28 DE JUNHO DE 1989. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L7783.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L7783.htm). Acesso em: 15 de outubro de 2022;

LETCHER, T. M.; WILLIAMSON, A. Forms and Measurement of Energy. Encyclopedia of Energy, Vol. 2. 2004: 739-748;

LIMA, C. A. F.; GOMES, R. D. M.; MACIEL, A. A. Uso de Novas Tecnologias Digitais Para Medição de Consumo de Energia e Níveis de Eficiência Energética No Brasil— Baseado Nas Experiências Da Alemanha. **Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit: Brasília, Brazil, 2021;** Disponível em: [https://www.energypartnership.com.br/fileadmin/user\\_upload/brazil/media\\_elements/Estudo\\_Digitaliza%C3%A7%C3%A3o\\_Brasil\\_-\\_Diagramado\\_-\\_V5.pdf](https://www.energypartnership.com.br/fileadmin/user_upload/brazil/media_elements/Estudo_Digitaliza%C3%A7%C3%A3o_Brasil_-_Diagramado_-_V5.pdf)

LUTERLED. Entenda o que é e quais são as vantagens da medição remota de energia elétrica, (2020). Disponível em: <https://www.luterled.com.br/blog/entenda-o-que-e-e-quais-sao-as-vantagens-da-medicao-remota-de-energia-eletrica/>. Acesso em: 20 de dez 2022;

M2M. REMOTA RMT-5.0 4G M2M. Disponível em: <https://www.remota.com.br/remota-rmt-5-0-4g-m2m>. Acesso em: 28 de março de 2023;

MATTEDE, Henrique. Redes de energia elétrica, tipos e características, 2021. Artigo Mundo da Elétrica. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/redes-de-energia-eletrica/>. Acesso em: 16 de outubro de 2022;

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Balanço Energético Nacional. Brasília, DF, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional>. Acesso em: 15 de outubro de 2022;

MOHASSEL, R. R. et al. A survey on Advanced Metering Infrastructure. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, v. 63, p. 473-484, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.06.025> . Acesso em: 20 de dez 2022;

NANSEN. Medidores NSXi. Disponível em: <http://nansen.com.br/medidores/nsxi/> . Acesso em: 16 de outubro de 2022;

O SETOR ELÉTRICO. Cidades Inteligentes: o futuro do Smart grid no Brasil. 2014. Disponível em: <https://www.osestoreletrico.com.br/noticias/cidades-inteligentes-o-futuro-do-smart-grid-no-brasil/>. Acesso em: 22 de outubro de 2022;

OLIVIO, Lucas de Moraes. Construção de um Dispositivo baseado em Internet das Coisas para o Gerenciamento de Energia. 2018. Trabalho de iniciação científica apresentado a Vice-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa da universidade paulista. Disponível em: <https://conic-semesp.org.br/anais/files/2018/1000002475.pdf> . Acesso em: 22 de dez. 2022;

PELIELO, Gabriel; ACCÁCIO, Rafael; MOYSÉS, Rodrigo. Smart grid. GTA UFRJ, 2021. Trabalho apresentado ao departamento da Engenharia Eletrônica e de Computação da Escola Politécnica da UFRJ. Disponível em: [https://www.gta.ufrj.br/grad/21\\_1/Inf\\_Soci\\_3/Proj\\_01\\_Smart\\_Grid.pdf](https://www.gta.ufrj.br/grad/21_1/Inf_Soci_3/Proj_01_Smart_Grid.pdf). Acesso em: 21 de dez de 2022;

RAFAEL, Pablo. Luigi Galvani. Física e Cidadania, [S. l.], p. 1, 16 jan. 2014. Disponível em: <https://www.ufjf.br/fisicaecidadania/ciencia-uma-construcao-humana/mentes-brilantes/luigi-galvan> . Acesso em: 20 de dez de 2022;

SANTOS, Rogério Luís dos. Internet das coisas e 6LoWPAN. 2014. 32 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/17312> . Acesso em: 20 de dez. 2022;

SILVA, Marcelo Rubia da. Modelação e análise da vida útil (metrológica) de medidores tipo indução de energia elétrica ativa. 2010.. 165 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2010. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/87039>>. Acesso em: 20 de dez. 2022;

SILVA, Rafael Givanildo da. Um Estudo Sobre Medidores Inteligentes de Energia. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Computação) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/13779>. Acesso em: 20 de dez. 2022;

SILVA, Thalita Bento da; ROSA, Mário; PESSOA, Cláudio Roberto Magalhães; JAMIL, George Leal. “A internet das coisas: será a internet do futuro ou está prestes a se tornar a realidade do presente?” Revista Engenharia de Telecomunicações - Redes de Computadores, V.1 N.1 (2015) Engenharia Online. Disponível em: <http://revista.fumec.br/index.php/eol/article/view/2961> . Acesso em: 20 de dez 2022;

SMART GRID COMMUNICATIONS. NIST. Disponível em: <https://www.nist.gov/programs-projects/smartgrid-communications-0>. Acesso em: 27 de setembro de 2022;

TECMUNDO. A história da eletricidade e de cientistas que mudaram o mundo. 2017. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/ciencia/122576-historia-eletricidade-cientistas-mudaram-mundo-video.htm>. Acesso em: 16 de outubro de 2022;

VIEIRA, José Gonçalves. Conheça o primeiro trabalho sobre Smart grid desenvolvido por pesquisadores no Brasil. Smartgrid News, 2011. Disponível em: <https://reativaeficienciaenergetica.blogspot.com/2011/05/conheca-com-exclusividade-o-primeiro.html> . Acesso em: 19 de outubro de 2022;

WATTHOUR METERS. Uma breve história das empresas de medidores e evolução do medidor. 2022. Disponível em: <https://watthourmeters.com/historia-das-empresas-de-medidores/>. Acesso em: 22 de outubro de 2022;

WEG. Medidores inteligentes, 2022. Disponível em: <https://www.weg.net/catalogo/pt/medidores-inteligentes>. Acesso em: 20 de dezembro de 2022;

**Superintendência Comercial  
da Distribuição**

DEPARTAMENTO DE MEDIÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO

**ETC 3.11 – ESPECIFICAÇÃO  
TÉCNICA PARA  
SAÍDA SERIAL ASSÍNCRONA  
UNIDIRECIONAL**

maio/2018



CÓPIA NÃO CONTROLADA – Verificar versão atual na Intranet

## HISTÓRICO DE REVISÃO

Informações sobre qualquer modificação neste documento.

Contatos para informações:

Marcio – 41 3230-8500;

Paulo - 41-3331-3359;

Raquel – 41-3310-5172

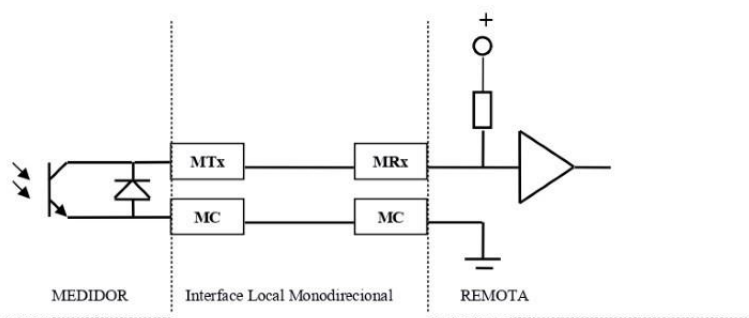
Rodrigo - 41 3310-5286.

Data	Itens alterados
fevereiro/2018	2 – Inclusão da Tensão de operação da remota: 5 Vcc; 4 – Comunicação serial somente em 2400 bps; 5 - Inclusão do "Escopo + índice" dos Postos tarifários e Alarmes;
maio/2018	4 – Comunicação serial compatível com versão anteriores

## OBJETIVO

Este documento especifica a saída serial assíncrona unidirecional a ser requerida em medidores eletrônicos de energia elétrica.

## 1 - DIAGRAMA ELÉTRICO



*Este diagrama é meramente ilustrativo*

## 2 - CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

Saída MTx:

Coletor aberto isolado

Nível lógico 1 corresponde à saída desativada (sem corrente circulando)

Tensão Máxima aplicável com saída desativada: +30 Vcc

Tensão de operação da remota: 5 Vcc

Tensão Máxima com saída ativada: 0,8 Vcc @ 2,5 mAcc

Tensão máxima reversa aplicável: 0.7V

Corrente Máxima com saída desativada: 0,01 mAcc @ +30 Vcc

Corrente Mínima com saída ativada: 2,5 mAcc

Corrente Máxima reversa aplicável: 50 mAcc

## 3 - CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS

Dois terminais apertados por parafuso para fixação de um cabo flexível com seção entre 0.1 e 0.5 mm<sup>2</sup>.

O terminal MTx deve estar posicionado abaixo ou à direita do terminal MC, considerada a posição normal de instalação do medidor.

## 4 - CARACTERÍSTICAS TEMPORAIS

Comunicação serial assíncrona unidirecional, 2400 ( $\pm 3\%$ ) bits por segundo, 8 bits por caractere, 1 start bit e 1 stop bit. Para que o sistema continue compatível com versões anteriores, os fabricante de telemedição devem fazer leituras com velocidades de 300bps e 1200bps inclusive.

Tempo máximo entre o fim de um stop bit de um caractere e o início do start bit do caractere seguinte do mesmo pacote: tempo de 50 bits.

Tempo mínimo entre o fim do stop bit do último caractere de um pacote e o início do start bit do primeiro caractere do pacote seguinte: tempo de 200 bits.

## 5 - FORMAÇÃO DE PACOTES

Os pacotes enviados através da saída serial assíncrona devem seguir a seguinte formatação:

PREÂMBULO	IDENTIFICADOR	TAMANHO	ESCOPO + ÍNDICE	DADOS	CRC
2 bytes	5 bytes	1 byte	2 bytes	n bytes	2 bytes

### Preâmbulo:

É a sinalização inicial de um pacote. Consistem em 2 bytes com os caracteres hexadecimais AA e 55.

### Identificador

É o número de série do medidor. Sua apresentação será feita com 5 bytes, no formato BCD, que permitem uma numeração de 10 dígitos. Os bytes mais significativos devem ser apresentados no pacote antes dos menos significativos.

### Tamanho

É a contagem do número de bytes referentes aos caracteres de ESCOPO+ÍNDICE e DADOS. Sua apresentação é feita com 1 byte.

### Escopo + índice

Identifica o tipo de informação a ser mandado.

Este identificador seguirá o padrão contido na **Tabela 1**. É admitido apenas um escopo e um índice por pacote.

### Dados

Corresponde aos valores propriamente ditos. Este identificador seguirá às definições do Protocolo de Aplicação definido no âmbito da Associação Brasileira de Normas Técnicas. Para informações apresentadas no formato BCD, os bytes mais significativos devem ser apresentados no pacote antes dos menos significativos.

## CRC

Caractere de redundância cíclica da mensagem CRC16 ( $X^{16} + X^{15} + X^2 + 1$ ), aplicado sobre todos os bytes do pacote, exceto o PREÂMBULO e o próprio CRC, com semente zero. O byte menos significativo deve ser apresentado antes do mais significativo.

## FUNÇÃO PARA O CÁLCULO DE CRC16

```
int calcula_crc16(int tamanho_buffer) {
    int retorno=0;
    int crcpolinv=0x4003;
    int i;
    int j;
    for (i=0;i<tamanho_buffer;i++) {
        retorno^=(string_crc[i]&0xff);
        for (j=0;j<8;j++) {
            if ((retorno&0x0001)!=0) {
                retorno^=crcpolinv;
                retorno>>=1;
                retorno|=0x8000;
            } else {
                retorno>>=1;
            }
        }
    }
    return retorno;
}
```

## 6 - PERIODICIDADE

O Conjunto de Pacotes, específicos de cada modelo de medidor, deve ser enviado com periodicidade máxima de 5 segundos.

## 7 – PADRONIZAÇÃO CONJUNTO DE PACOTES

O Conjunto de Pacotes, específicos de cada modelo, é definido na respectiva Especificação técnica do medidor.

### Observação

Os medidores que possuírem o registro do sexto dígito mais significativo nos acumuladores de energia e não apresentam o mesmo no mostrador, deve substituí-lo por zero no respectivo pacote.

## 8 – EXEMPLOS

Seguem, como exemplo, os Conjuntos de pacotes definidos para medidores Unidirecional e Bidirecional.

### **Totalizador de energia ativa direta (linha – carga)**

É definido através do escopo 010 e índice 002 (Escopo + índice = 0A 02).  
O valor é dado em BCD com 3 bytes (6 dígitos).

### **Totalizador de energia reativa indutiva Total**

É definido através do escopo 010 e índice 007 (Escopo + índice = 0A 07).  
O valor é dado em BCD com 3 bytes (6 dígitos).

### **Totalizador de energia reativa capacitiva Total**

É definido através do escopo 010 e índice 012 (Escopo + índice = 0A 0C).  
O valor é dado em BCD com 3 bytes (6 dígitos).

### **Totalizador de energia ativa sentido reverso Total**

É definido através do escopo 010 e índice 081 (Escopo + índice = 0A 51).  
O valor é dado em BCD com 3 bytes (6 dígitos).

#### **8.1 - Medidor UNIDIRECIONAL**

Um medidor cujo número de série é 0103050709 possui os seguintes registros:  
22222 kWh (energia direta)  
33333 kvarh indutivo  
44444 kvarh capacitivo

Este medidor deve emitir através da porta serial os seguintes pacotes (em formato hexadecimal):

```
AA 55 01 03 05 07 09 05 0A 02 02 22 22 B3 D0  
AA 55 01 03 05 07 09 05 0A 07 03 33 33 2E 80  
AA 55 01 03 05 07 09 05 0A 0C 04 44 44 FA B3
```

## 8.2 - Medidor BIDIRECIONAL

Um medidor cujo número de série é 0103050709 possui os seguintes registros:

22222 kWh (energia direta)

11111 kWh (energia reversa)

33333 kvarh indutivo

44444 kvarh capacitivo

Este medidor deve emitir, através da porta serial os seguintes pacotes (em formato hexadecimal):

AA 55 01 03 05 07 09 05 0A 02 02 22 22 B3 D0

AA 55 01 03 05 07 09 05 0A 51 01 11 11 06 71

AA 55 01 03 05 07 09 05 0A 07 03 33 33 2E 80

AA 55 01 03 05 07 09 05 0A 0C 04 44 44 FA B3

### Observação

Nos exemplos apresentados, embora os medidores estejam configurados para ocultar os dados de energia reativa no mostrador, os respectivos pacotes são emitidos pela saída serial PIMA.

<b>Tabela 1</b>		
<b>Escopo + Índice</b>	<b>Formato</b>	<b>Descrição</b>
09 11	1 BYTE, BCD	TARIFA ATUAL (*)
0A 02	3 BYTES, BCD, 6 INTEIROS	kWh Total
0A 03		kWh Ponta
0A 04		kWh Reservado
0A 05		kWh Fora ponta
0A 06		kWh Tarifa D
0A 07		3 BYTES, BCD, 6 INTEIROS
0A 08	kvarh-ind Ponta	
0A 09	kvarh-ind Reservado	
0A 0A	kvarh-ind Fora Ponta	
0A 0B	kvarh-ind Tarifa D	
0A 0C	3 BYTES, BCD, 6 INTEIROS	
0A 0D		kvarh-cap Ponta
0A 0E		kvarh-cap Reservado
0A 0F		kvarh-cap Fora Ponta
0A 10		kvarh-cap Tarifa D
0A 51		3 BYTES, BCD, 6 INTEIROS
0A52	kWh reverso Ponta	
0A53	kWh reverso Reservado	
0A54	kWh reverso Fora ponta	
0A55	kWh reverso Tarifa D	
0A 56	3 BYTES, BCD, 6 INTEIROS	
0A 57		kvarh-ind reverso Ponta
0A 58		kvarh-ind reverso Reservado
0A 59		kvarh-ind reverso Fora Ponta
0A 5A		kvarh-ind reverso Tarifa D
0A 5B		3 BYTES, BCD, 6 INTEIROS
0A 5C	kvarh-cap reverso Ponta	
0A 5D	kvarh-cap reverso Reservado	
0A 5E	kvarh-cap reverso Fora Ponta	
0A 5F	kvarh-cap reverso Tarifa D	

Tabela 1 - Continuação		
Escopo + Índice	Formato	Descrição
0B 01	2 BYTES, BCD, 3 INTEIROS 1 DECIMAL	Tensão na fase A
0B 02		Tensão na fase B
0B 03		Tensão na fase C
0C 00	4 BYTES	ALARMES (*)
0D 01	3 BYTES, BCD, DDMMYY	Data
0D 02	3 BYTES, BCD, SSMMHH	Hora
0D 02	3 BYTES, BCD, SSMMHH	Hora

(\*) **Tarifa Atual:** 01=Ponta, 02=Fora ponta, 03=Reservado/Intermediário, 04=Tarifa D;

(\*) **Alarmes:** Segue descrição das tabelas 2 e 3.

<b>Tabela 2</b>			
Medidor Com tensão nominal 120V (Aplicados em redes de 127V)		Medidor Com tensão nominal 240V (Aplicados em redes de 220V)	
Bit	1º Byte enviado	Bit	1º Byte enviado
8	Presença de medição na Fase A	8	Presença de medição na Fase A
7	Inversão de Corrente na fase A	7	Inversão de Corrente na fase A
6	Tensão Fase A inferior a 109 V	6	Tensão Fase A inferior a 189 V
5	Tensão Fase A inferior a 116 V	5	Tensão Fase A inferior a 201 V
4	Tensão Fase A superior a 132 V	4	Tensão Fase A superior a 231 V
3	Tensão Fase A superior a 140 V	3	Tensão nFase A superior a 233 V
2	Sem tensão na Fase A	2	Sem tensão na Fase A
1	Sem consumo na Fase A	1	Sem consumo na Fase A

Bit	2º Byte enviado	Bit	2º Byte enviado
8	Presença de medição na Fase B	8	Presença de medição na Fase B
7	Inversão de Corrente na Fase B	7	Inversão de Corrente na Fase B
6	Tensão Fase B inferior a 109 V	6	Tensão Fase B inferior a 189 V
5	Tensão Fase B inferior a 116 V	5	Tensão Fase B inferior a 201 V
4	Tensão Fase B superior a 132 V	4	Tensão Fase B superior a 231 V
3	Tensão Fase B superior a 140 V	3	Tensão Fase B superior a 233 V
2	Sem tensão na Fase B	2	Sem tensão na Fase B
1	Sem consumo na Fase B	1	Sem consumo na Fase B

Bit	3º Byte enviado	Bit	3º Byte enviado
8	Presença de medição na Fase C	8	Presença de medição na Fase C
7	Inversão de Corrente na Fase C	7	Inversão de Corrente na Fase C
6	Tensão Fase C inferior a 109 V	6	Tensão Fase C inferior a 189 V
5	Tensão Fase C inferior a 116 V	5	Tensão Fase C inferior a 201 V
4	Tensão Fase C superior a 132 V	4	Tensão Fase C superior a 231 V
3	Tensão Fase C superior a 140 V	3	Tensão Fase C superior a 233 V
2	Sem tensão na Fase C	2	Sem tensão na Fase C
1	Sem consumo na Fase C	1	Sem consumo na Fase C

**Observações:**

Cada bit corresponde a um flag. A indicação afirmativa dos itens listados é feita com bit "1" e a negativa com bit "0". Os bits mais significativos são enviados antes dos menos significativos.

Nas situações em que os limites extremos de tensão são ultrapassados, os limites intermediários devem também receber indicação. Nos medidores bifásicos ou monofásicos, as fases C e B não medidas devem conter todos os bits de flags "0".

O tempo mínimo para que o medidor detecte a alteração das condições geradoras de alarmes é de 5 segundos.

O 4º Byte do pacote de alarmes é reservado para uso futuro.

Os medidores monofásicos a três-fios devem considerar a Tabela 3.

<b>Tabela 3</b>	
Medidor Monofásico 3 fios 240 V (Aplicados em redes de 254 V)	
Bit	1º Byte enviado
8	Presença de medição na Fase A
7	Inversão de Corrente na fase A
6	Tensão Fase A inferior a 220 V
5	Tensão Fase A inferior a 232 V
4	Tensão Fase A superior a 264 V
3	Tensão Fase A superior a 269 V
2	Sem tensão na Fase A
1	Sem consumo na Fase A

Bit	2º Byte enviado
8	Presença de medição na Fase B (*)
7	Inversão de Corrente na Fase B (*)
6	Tensão Fase B inferior a 220 V (*)
5	Tensão Fase B inferior a 232 V (*)
4	Tensão Fase B superior a 264 V (*)
3	Tensão Fase B superior a 269 V (*)
2	Sem tensão na Fase B (*)
1	Sem consumo na Fase B (*)

Bit	3º Byte enviado
8	Presença de medição na Fase C (*)
7	Inversão de Corrente na Fase C (*)
6	Tensão Fase C inferior a 220 V (*)
5	Tensão Fase C inferior a 232 V (*)
4	Tensão Fase C superior a 264 V (*)
3	Tensão Fase C superior a 269 V (*)
2	Sem tensão na Fase C (*)
1	Sem consumo na Fase C (*)
(*) Dados relativos as Fases B e C devem ser marcados com bits 0.	

## APÊNDICE 1 - CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO

```
#include <WiFi.h>
const char *ssid = "CLARO_2G982C7C";
const char*password = "*****";
WiFiServer server(80);
void relay_wifi();
void setup()
{
    Serial.begin(2400);
    Serial2.begin(2400);
    Serial.println();
    Serial.print("conectando-se a");
    Serial.println(ssid);
    WiFi.begin(ssid, password);
    while(WiFi.status() !=WL_CONNECTED)
    {
        delay(741);
        Serial.print(".");
    }
    Serial.println("");
    Serial.println("WiFi Conectado");
    Serial.println("Endereço IP:");
    Serial.println(WiFi.localIP());
    server.begin();
}
int M,tamanho, escopo, indice;
int n=0;
byte D1, D2, D3, D4, D5,und, dez,atv1, atv2, atv3,rev1, rev2,
rev3,reati1, reati2, reati3,reatc1, reatc2, reatc3;
unsigned long identidade,atv, rev, reati, reatc;
void loop()
{
```

```

while(WiFi.status() !=WL_CONNECTED)
{
  WiFi.begin(ssid, password);
  Serial.print(".");
  delay(741);
}
relay_wifi();
if(Serial2.available()){
  M = Serial2.read();
  if( M == 170){
    if(Serial2.available()){
      M = Serial2.read();
      if(M==85){
        Serial.println("_____");
        if(Serial2.available()){
          D1 = Serial2.read();
          dez=D1>>4;
          und=D1<<4;
          und=und>>4;
          D1=(dez*10)+(und);
          if(Serial2.available()){
            D2 = Serial2.read();
            dez=D2>>4;
            und=D2<<4;
            und=und>>4;
            D2=(dez*10)+(und);
            if(Serial2.available()){
              D3 = Serial2.read();
              dez=D3>>4;
              und=D3<<4;
              und=und>>4;
              D3=(dez*10)+(und);
              if(Serial2.available()){

```

```

D4 = Serial2.read();
    dez=D4>>4;
    und=D4<<4;
    und=und>>4;
    D4=(dez*10)+(und);
if(Serial2.available()){
    D5 = Serial2.read();
    dez=D5>>4;
    und=D5<<4;
    und=und>>4;
    D5=(dez*10)+(und);
identidade = (D5)+(D4*100)+(D3*10000)+(D2*1000000)+(D1*100000000);
Serial.println(identidade);
    if(Serial2.available()){
        tamanho = (Serial2.read()- 2);
        if(Serial2.available()){
            escopo = Serial2.read();
            if(Serial2.available()){
                indice = Serial2.read();
                if(indice == 2){
                    Serial.println("ENERGIA ATIVA CONSUMIDA ");
                    if(Serial2.available()){
                        atv1 = Serial2.read();
                        dez=atv1>>4;
                        und=atv1<<4;
                        und=und>>4;
                        atv1=(dez*10)+(und);
                    if(Serial2.available()){
                        atv2 = Serial2.read();
                        dez=atv2>>4;
                        und=atv2<<4;
                        und=und>>4;
                        atv2=(dez*10)+(und);

```

```

        if(Serial2.available()){
            atv3 = Serial2.read();
            dez=atv3>>4;
            und=atv3<<4;
            und=und>>4;
            atv3=(dez*10)+(und);
atv=(atv3)+(atv2*100)+(atv1*10000);
Serial.println(atv);
    }}}} if(indice == 81){
        Serial.println("ENERGIA ATIVA REVERSA");
        if(Serial2.available()){
            rev1 = Serial2.read();
            dez=rev1>>4;
            und=rev1<<4;
            und=und>>4;
            rev1=(dez*10)+(und);
        if(Serial2.available()){
            rev2 = Serial2.read();
            dez=rev2>>4;
            und=rev2<<4;
            und=und>>4;
            rev2=(dez*10)+(und);
        if(Serial2.available()){
            rev3 = Serial2.read();
            dez=rev3>>4;
            und=rev3<<4;
            und=und>>4;
            rev3=(dez*10)+(und);
rev = (rev3)+(rev2*100)+(rev1*10000);
Serial.println(rev);
    }}}} if(indice == 7){
        Serial.println("ENERGIA REATIVA INDUTIVA");
        if(Serial2.available()){

```

```

    reati1 = Serial2.read();
        dez=reati1>>4;
        und=reati1<<4;
        und=und>>4;
        reati1=(dez*10)+(und);
if(Serial2.available()){
    reati2 = Serial2.read();
        dez=reati2>>4;
        und=reati2<<4;
        und=und>>4;
        reati2=(dez*10)+(und);
if(Serial2.available()){
    reati3 = Serial2.read();
        dez=reati3>>4;
        und=reati3<<4;
        und=und>>4;
        reati3=(dez*10)+(und);
reati = (reati3) + (reati2*100) + (reati1*10000);
Serial.println(reati);
}}}} if(indice == 12){
    Serial.println("ENERGIA REATIVA CAPACITIVA");
if(Serial2.available()){
    reatc1 = Serial2.read();
        dez=reatc1>>4;
        und=reatc1<<4;
        und=und>>4;
        reatc1=(dez*10)+(und);
if(Serial2.available()){
    reatc2 = Serial2.read();
        dez=reatc2>>4;
        und=reatc2<<4;
        und=und>>4;
        reatc2=(dez*10)+(und);

```

```

        if(Serial2.available()){
            reatc3 = Serial2.read();
                dez=reatc3>>4;
                und=reatc3<<4;
                und=und>>4;
                reatc3=(dez*10)+(und);
    reatc = (reatc3) + (reatc2*100) + (reatc1*10000);
    Serial.println(reatc);
    }}}}]]]]}
    }}}}]]]]}
    void relay_wifi()
    {
        WiFiClient client = server.available();
        if(client)
        {
            Serial.println("Novo cliente definido");
            String currentLine = "";
            while(client.connected())
            {
                if(client.available())
                {
                    char c=client.read();
                    Serial.write(c);

                    if(c=='\n')
                    {
                        if(currentLine.length()==0)
                        {
                            client.println("HTTP/1.1 200 OK");
                            client.println("content-type:text/html");
                            client.println();
                            client.println();
                            client.print("<h2>Medidor<h2>");

```

```
        client.print(identidade);
        client.print("<h2>ENERGIA ATIVA CONSUMIDA<h2>");
        client.print(atv);
        client.print("<h2>ENERGIA ATIVA REVERSA<h2>");
        client.print(rev);
        client.print("<h2>ENERGIA REATIVA INDUTIVA<h2>");
        client.print(reati);
        client.print("<h2>ENERGIA REATIVA CAPACITIVA<h2>");
        client.print(reatc);
        break;
    }
    else currentLine="";
    }
    else if (c != '\r') currentLine += c;
    }}
client.stop();
Serial.println("cliente desconect");
}}
```