

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
FLUMINENSE**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS APLICADOS À  
ENGENHARIA E GESTÃO**

**Lucas Bastos Lopes**

**PROTÓTIPO DE DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO DE GERAÇÃO E GESTÃO  
DE ENERGIA FOTOVOLTAICA APLICADO AO INSTITUTO FEDERAL  
FLUMINENSE**

Campos dos Goytacazes, RJ

2023

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
FLUMINENSE**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS APLICADOS À  
ENGENHARIA E GESTÃO**

LUCAS BASTOS LOPES

**PROTÓTIPO DE DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO DE GERAÇÃO E GESTÃO DE  
ENERGIA FOTOVOLTAICA APLICADO AO INSTITUTO FEDERAL  
FLUMINENSE**

**Prof. D.Sc. Luiz Gustavo Lourenço Moura**  
(Orientador)

**Prof. D.Sc. Rodrigo Martins Fernandes**  
(Coorientador)

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, no Curso de Mestrado Profissional em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão (MPSAEG), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão.

Campos dos Goytacazes, RJ

2023

Biblioteca  
CIP - Catalogação na Publicação

L864p      Lopes, Lucas Bastos  
              Protótipo de dispositivo de medição de geração e gestão de energia  
              fotovoltaica aplicado ao instituto federal fluminense / Lucas Bastos Lopes -  
              2023.  
              115 f.: il. color.

              Orientador: Luiz Gustavo Lourenço Moura  
              Coorientador: Rodrigo Martins Fernandes

              Dissertação (mestrado) -- Instituto Federal de Educação, Ciência e  
              Tecnologia Fluminense, Campus Campos Centro, Curso de Mestrado  
              Profissional em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão, Anton Dakitsch,  
              RJ, 2023.  
              Referências: f. 102 a 106.

              1. Gerenciamento de Energia. 2. Internet das Coisas. 3. Energia  
              Fotovoltaica. I. Moura, Luiz Gustavo Lourenço, orient. II. Fernandes,  
              Rodrigo Martins, coorient. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da Biblioteca do IFF  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
FLUMINENSE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS APLICADOS À  
ENGENHARIA E GESTÃO


LUCAS BASTOS LOPES

PROTÓTIPO DE DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO DE GERAÇÃO E GESTÃO DE ENERGIA  
FOTOVOLTAICA APLICADO AO INSTITUTO FEDERAL FLUMINENSE

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, no Curso de Mestrado Profissional em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão (MPSAEG), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão.


Aprovado em 01 de dezembro de 2023

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente  
 LUIZ GUSTAVO LOURENÇO MOURA  
Data: 06/12/2023 16:09:58-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. D.Sc. Luiz Gustavo Lourenço Moura  
Orientador  
Instituto Federal Fluminense - IFF

Documento assinado digitalmente  
 RODRIGO MARTINS FERNANDES  
Data: 06/12/2023 11:44:24-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


---

Prof. D.Sc. Rodrigo Martins Fernandes  
Coorientador  
Instituto Federal Fluminense - IFF

Documento assinado digitalmente  
 MILTON ERTHAL JÚNIOR  
Data: 05/12/2023 16:51:35-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. D.Sc. Milton Erthal Júnior  
Instituto Federal Fluminense - IFF

Documento assinado digitalmente  
 SUZANA DA HORA MACEDO  
Data: 05/12/2023 15:07:45-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. D.Sc. Suzana da Hora Macedo  
Instituto Federal Fluminense - IFF

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me dar forças, sabedoria e por me conduzir sempre, sendo sua misericórdia o motivo de conseguir ir sempre em frente.

Agradeço a minha família que sempre está ao meu lado em todas as conquistas. Em especial agradeço a minha esposa Monielle e nossa filha Cecilia, por todo apoio, carinho e compreensão, por entenderem e abdicarem de tempo comigo para que esta conquista fosse possível. Agradeço por acreditarem em mim e por estarem ao meu lado.

Agradeço aos meus pais Zilmeia e Walfredes por investirem em minha formação, mas principalmente por sempre me mostrarem que a educação é o único caminho. Agradeço por todas as renúncias que fizeram e por sempre estarem ao meu lado me impulsionando para alcançar novos horizontes e não me deixando desistir.

Agradeço a minha irmã Leylla, que acredita em mim mesmo em momentos que nem eu mesmo sou capaz de acreditar. Agradeço ao companheirismo e pelos bons conselhos.

Agradeço aos professores do SAEG por agregarem tanto a minha formação e por tornar este trabalho possível, em especial ao meu orientador D.Sc Luiz Gustavo Lourenço Moura e meu coorientador D.Sc Rodrigo Martins Fernandes pelos ensinamentos, confiança e direcionamento no processo de orientação.

Agradeço ao IFF e aos meus colegas professores, servidores e alunos, que de forma direta e indireta me ajudaram durante este processo.

*" Não fui Eu que lhe ordenei? Seja forte e corajoso! Não se apavore, nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar. "*

**Josué 1:9.**

## RESUMO

O aumento da demanda por energia elétrica no mundo e a preocupação em utilização de fontes de energia renováveis impulsionou o mercado de produção de energia fotovoltaica. A criação de legislação específica e o barateamento de tais sistemas possibilitou que consumidores de energia pudessem produzir energia para suprir suas demandas, e fornecer o excedente da produção ao sistema elétrico. Neste contexto, a gestão de usinas fotovoltaicas se tornou relevante, uma vez que o controle da produção possibilita o acompanhamento e controle, não só para fins de faturamento, mas para fins de segurança de todo sistema elétrico. Nesta linha, o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, também se tornou fornecedor de energia ao sistema. A gestão atual de tais sistemas na instituição é realizado de forma isolada, com cada sistema possuindo sua própria ferramenta de gestão. Este trabalho tem por objetivo criar um protótipo de gestão de geração de energia que pode ser aplicado a qualquer sistema de geração, que seja capaz de enviar os dados aquisitados para uma única plataforma de gestão através do conceito de internet das coisas (IoT). A metodologia de execução do projeto se baseou inicialmente num levantamento bibliométrico e de patentes e, após embasamento sobre o assunto, foi utilizado o modelo V de engenharia de sistemas para desenvolver o dispositivo. Assim foi possível realizar o levantamento de requisitos e elaboração de testes para validação de cada etapa levantada durante sua execução. Os dados obtidos através do dispositivo desenvolvido foram validados em testes comparativos com os atuais meios de gestão de produção e demonstraram resultados satisfatórios no acompanhamento destes parâmetros, portanto, ao final deste projeto, após validação em campo, o desenvolvimento do dispositivo foi considerado satisfatório, uma vez que o dispositivo desenvolvido nesta dissertação se mostrou eficaz na gestão da energia produzida em usinas fotovoltaicas.

**Palavras-chave:** Gerenciamento de Energia; Internet das Coisas; Energia Fotovoltaica.

## ABSTRACT

The increase in demand for electrical energy in the world and the concern about using renewable energy sources has boosted the photovoltaic energy production market. The creation of specific legislation and the lower cost of such systems made it possible for energy consumers to produce energy to meet their demands, and supply surplus production to the electrical system. In this context, the management of photovoltaic plants has become relevant, since production control enables monitoring and control, not only for billing purposes, but for safety purposes of the entire electrical system. Along these lines, the Federal Institute of Education, Science and Technology also became an energy supplier to the system. The current management of such systems in the institution is carried out in isolation, with each system having its own management tool. This work aims to create an energy generation management prototype that can be applied to any generation system, which is capable of sending the acquired data to a single management platform through the internet of things (IoT) concept. The project execution methodology was initially based on a bibliometric and patent survey and, after grounding the subject, the V model of systems engineering was used to develop the device. This made it possible to gather requirements and prepare tests to validate each step raised during its execution. The data obtained through the developed device were validated in comparative tests with current means of production management and demonstrated satisfactory results in monitoring these parameters, therefore, at the end of this project, after validation in the field, the development of the device was considered satisfactory, a since the device developed in this dissertation proved to be effective in managing the energy produced in photovoltaic plants.

**Keywords:** Energy Management; Internet of Things; Photovoltaics.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Potencial fotovoltaico no Brasil.....	22
Figura 2 - Modelo genérico de sistema fotovoltaico conectado à rede .....	23
Figura 3 - Topologias Off-Grid e On-Grid.....	26
Figura 4 - Solar Web da Fronius .....	28
Figura 5 - Aurora Vision da ABB .....	29
Figura 6 - Evolução da Internet das Coisas .....	30
Figura 7 - Topologias de distribuição de mensagem no protocolo MQTT .....	32
Figura 8 – Diagrama de Venn com os resultados da pesquisa .....	35
Figura 9 - Histórico de publicações.....	36
Figura 10 - Distribuição de trabalhos por países .....	36
Figura 11 - Estrutura do modelo V.....	45
Figura 12 - Topologia de gestão de energia existente no IFF .....	47
Figura 13 - Topologia de gerenciamento de energia com implementação do dispositivo .....	48
Figura 14 - Arquitetura de Alto Nível do Protótipo .....	53
Figura 15 – Esquemático eletrônico completo .....	54
Figura 16 - Sensor de corrente SCT-0013 .....	55
Figura 17 - Módulo A/D (ASD 1015) .....	56
Figura 18 - Circuito eletrônico do módulo medidor de corrente.....	57
Figura 19 - Diagrama de blocos ADS1015 .....	57
Figura 20 - Circuito do módulo de medição de tensão.....	59
Figura 21 - Microcontrolador ESP32 .....	59
Figura 22 - Fonte de alimentação HLK-PM01 .....	60
Figura 23 - Circuito eletrônico do módulo de alimentação.....	61
Figura 24 - Representação do PCB o dispositivo.....	64
Figura 25 - Modelo 3D do PCB .....	64
Figura 26 - LPKF ProtoMat S64 .....	65
Figura 27 - Processo de fabricação da PCB .....	65
Figura 28 - Destaque do processo de usinagem da PCB.....	66
Figura 29 - Placa de circuito impresso usinada .....	66
Figura 30 - Placa com componentes soldados.....	67
Figura 31 - Modelagem 3D do invólucro do dispositivo.....	68

Figura 32 - Impressora 3D GTMax Core H5 .....	68
Figura 33 - Invólucro do dispositivo finalizado .....	69
Figura 34 - Montagem da PCB no invólucro .....	69
Figura 35 - Código-fonte para medição de tensão.....	70
Figura 36 - Função senoidal gerada pelo sensor de tensão.....	72
Figura 37 - Código-fonte para medição de corrente.....	75
Figura 38 - Fluxograma de integração do Thingsboard .....	79
Figura 39 - Fonte de bancada De Lorenzo utilizada nos testes .....	80
Figura 40 - Cargas resistivas De Lorenzo utilizadas nos testes.....	80
Figura 41 - Multímetro / Alicata amperímetro DT-3353 .....	80
Figura 42 - Código-fonte para conexão Wifi .....	81
Figura 43 - Resposta à conexão Wifi.....	81
Figura 44 - Teste de alimentação do ESP32.....	82
Figura 45 - Conexão do ESP32 ao ADS1015 .....	82
Figura 46 - Montagem do módulo de medição de tensão na protoboard .....	85
Figura 47 - Leituras de tensão no monitor serial.....	86
Figura 48 - Montagem em protoboard para medição de corrente .....	88
Figura 49 - Integração dos subsistemas na protoboard.....	89
Figura 50 - Configuração inicial do MQTT Explorer .....	90
Figura 51 - Leitura de dados enviados no MQTT Explorer .....	91
Figura 52 - QDCA Polo de Inovação .....	91
Figura 53 - Inversores Fronius Polo de Inovação.....	92
Figura 54 - Montagem do dispositivo no sistema do inversor 1 .....	92
Figura 55 - Montagem do dispositivo no inversor 4 .....	93
Figura 56 - Transmissão de dados ao dashboard.....	93
Figura 57 - Dashboard do dispositivo 1 .....	94
Figura 58 - Dashboard do dispositivo 2 .....	95
Figura 59 - Seleção do período de consulta de dados.....	95
Figura 60 - Plataforma Solar.Web do Polo de Inovação .....	96

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Termos de busca .....	33
Quadro 2– Estratégia de busca .....	34
Quadro 3 - Descrição de etapas do Modelo V .....	45
Quadro 4 - Comparativo de topologia de comunicação .....	52
Quadro 5 - Levantamento de custos de produção do dispositivo .....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Calibração do ADS para medição de tensão .....	72
Tabela 2 - Calibração do ADS para medição de corrente .....	76
Tabela 3 - Teste de tensão no ADS .....	83
Tabela 4 - Teste do módulo de alimentação .....	84
Tabela 5 - Comparativo entre valores de tensão lidos no multímetro e no código .....	86
Tabela 6 - Leituras de corrente no multímetro x código .....	88
Tabela 7 - Comparação entre valores aquisitados .....	97

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Evolução da potência instalada de geração fotovoltaica no Brasil .....	24
Gráfico 2 - Matriz energética brasileira.....	25
Gráfico 3 - Evolução de novas instalações de unidades de geração distribuída.....	27
Gráfico 4 - Definição do coef_VAC.....	74
Gráfico 5 - Definição do coef_A .....	78
Gráfico 6 - Dispersão entre valores medidos e lidos no ADS.....	83
Gráfico 7 - Comparativo entre valores de tensão lidos .....	87
Gráfico 8 - Comparativo entre valores de corrente lidos pelo código e pelo multímetro .....	89
Gráfico 9 - Comparativo entre valores de tensão aqisitados .....	97
Gráfico 10 - Comparativo entre valores de corrente aqisitados .....	98
Gráfico 11 - Comparativo entre valores de corrente aqisitados .....	98
Gráfico 12 - Comparativo de valores de geração .....	98

## LISTA DE ABREVIACOES

ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
AC	Corrente Alternada
ADC	<i>Analog-to-Digital Converter</i>
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CAN	<i>Controller Area Network</i>
CC	Corrente Contínua
FV	Fotovoltaico
GW	Gigawatt
IA	Inteligência Artificial
IFF	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense
IoT	<i>Internet of Things</i>
IRENA	<i>International Renewable Energy Agency</i>
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora
kWp	Quilowatt-pico
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
ONS	Operador Nacional do Sistema
PICG	Polo de Inovação Campos dos Goytacazes
RMS	<i>Root Mean Square</i>
SCD	Sistema de Coleta de Dados Operacionais
SIN	Sistema Interligado Nacional
TCP/IP	<i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i>

## SUMÁRIO

1. Introdução.....	17
1.1. Objetivos.....	18
1.1.1. Objetivo Geral.....	18
1.1.2. Objetivos específicos.....	19
1.2. Justificativa.....	19
1.3. Estrutura do trabalho.....	21
2. Referencial Teórico.....	22
2.1. Geração de Energia Solar Fotovoltaica.....	22
2.2. Geração Distribuída.....	25
2.3. Gerenciamento de usinas fotovoltaicas.....	28
2.4. Internet das Coisas (IoT).....	30
2.5. Protocolo MQTT.....	31
3. Estado da Arte.....	33
3.1. Estratégia de Busca.....	33
3.2. Histórico de publicações.....	35
3.3. Trabalhos relevantes.....	37
4. Estado da Técnica.....	39
4.1. Estratégia de Busca.....	39
4.2. Revisão de Patentes.....	39
4.2.1. Patente CN206977153U.....	40
4.2.2. Patente CN213659211U.....	40
4.2.3. Patente CN111127693A.....	40
4.2.4. Patente CN211499927U.....	40
4.2.5. Patente CN203406677U.....	41
4.2.6. Patente CN114500618A.....	41

4.2.7.	Patente CN112132538A.....	41
4.2.8.	Patente CN212231380U.....	42
4.2.9.	Patente CN206302155U.....	42
4.2.10.	Patente CN206547113U.....	42
5.	Metodologia.....	43
5.1.	Classificação da pesquisa.....	43
5.2.	Etapas da Pesquisa .....	43
5.3.	Modelo V .....	44
6.	Desenvolvimento e Resultados.....	47
6.1.	Conceitos e exigências funcionais .....	47
6.2.	Requisitos do Projeto .....	49
6.2.1.	Medição de Tensão.....	49
6.2.2.	Medição de Corrente Elétrica.....	50
6.2.3.	Fonte de Alimentação.....	50
6.2.4.	Controle.....	50
6.2.5.	Transmissão de Dados.....	51
6.2.6.	Protocolo de Comunicação entre Dispositivos.....	52
6.2.7.	Estrutura Física.....	52
6.3.	Projeto de Alto Nível .....	53
6.3.1.	Projeto Eletrônico.....	54
6.3.2.	Projeto do invólucro .....	55
6.4.	Detalhamento do Projeto .....	55
6.4.1.	Medição de Corrente .....	55
6.4.2.	Medição de Tensão.....	58
6.4.3.	Comunicação e Controle .....	59
6.4.4.	Alimentação .....	60
6.4.5.	Custo do Protótipo.....	61



6.5.	Desenvolvimento de Hardware e Software .....	63
6.5.1.	Elaboração da Placa de Circuito Impresso .....	63
6.5.2.	Desenvolvimento do invólucro .....	67
6.5.3.	Desenvolvimento do Software (Códigos) .....	69
6.5.3.1.	Medição de tensão .....	70
6.5.3.2.	Medição de Corrente .....	75
6.5.3.3.	Dashboard.....	78
6.6.	Testes Unitários .....	79
6.6.1.	Teste do módulo de Comunicação e Controle .....	81
6.6.2.	Teste do conversor A/D (ADS1015).....	82
6.6.3.	Teste da fonte de alimentação. ....	83
6.6.4.	Teste Medição de Tensão .....	85
6.6.5.	Teste Medição de Corrente .....	87
6.7.	Testes de Integração.....	89
6.8.	Testes de Sistema e de Aceitação .....	91
7.	Conclusões.....	100
	Referências Bibliográficas.....	102
	Apêndice 1 – Códigos de Programação.....	107

## 1. Introdução

O crescente aumento por demanda de energia no cenário mundial e a busca por meios de produção de energia mais limpa impulsionam o crescimento e desenvolvimento de tecnologias para produção de energia através de fontes renováveis.

Segundo dados da Agência Internacional de Energias Renováveis (Irena) (2023), somente em 2022 foram instalados 191,4 GW de capacidade de geração de energia solar fotovoltaica em todo o mundo, onde 45% desta capacidade instalada foi concentrada na China, seguido pelos Estados Unidos, Índia e Brasil. Em 2022 o Brasil assumiu a oitava posição no ranking mundial de países que mais produzem energia através de usinas fotovoltaicas.

A produção de energia fotovoltaica no Brasil se concentra em usinas de grande porte, instaladas em grandes áreas e também em pequenas ou micro centrais geradoras, geralmente associadas a instalações realizadas diretamente nos consumidores que desejam suprir sua própria demanda de energia e acabam fornecendo parte da energia gerada para a rede. Esta modalidade é denominada de geração distribuída (Nunes, 2019).

Neste cenário, o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFF), em 2016, através de uma parceria com a Enel Brasil, inaugura em seu campus Cabo Frio, o chamado módulo de avaliação solar, composto por módulos fotovoltaicos de sete tipos de tecnologias, com o objetivo de identificar, em condições normais de operação, qual tecnologia é mais eficiente na produção de energia. Nesta planta instalada, dados de geração, bem como dados referentes a chuvas, velocidade do vento e temperatura também são adquiridos de modo a propiciar a análise do perfil de comportamento dos módulos em diversas condições climáticas.

Ainda em 2016, o IFF foi aprovado em uma chamada pública da Enel, onde recebeu um aporte de R\$ 862.958,59 para instalação de módulos fotovoltaicos em seu Campus situado em Campos dos Goytacazes. Através desta chamada pública foram instalados um total de 248 painéis tendo uma potência de geração de 84,34KWp. O sistema entrou em plena operação em 2019. (IFF, 2019)

No ano de 2020 o IFF investiu R\$ 3.212.555,29 para aquisição de sistemas de energia solar fotovoltaicos a serem instalados em todos os Campi e na Reitoria. No total foram adquiridos 1852 módulos solares com capacidade para fornecer 2,5MW. A proposta de investimento partiu do Núcleo de Sustentabilidade do IFF, estabelecido pela portaria N.º 931,

em 14 de junho de 2019, criado em função da Instrução Normativa nº10 de 12 de novembro de 2012 que estabelece regras para elaboração do Plano de Gestão e Logística Sustentável. - PLS de que trata o art.16, do Decreto nº 7.746, de 5 de junho de 2012. Foi estimado uma economia de R\$ 700.000,00 por ano no IFF com a instalação de todos os sistemas. (IFF, 2020)

Atualmente existem projetos na instituição que visam disponibilizar para a comunidade os dados de geração das usinas, como forma de incentivo à ampla utilização da tecnologia e também como ferramenta para desenvolvimento de projetos de pesquisa e conhecimento aos alunos. Porém não há um acesso facilitado ou centralizado a estas informações, uma vez que os sistemas muitas das vezes não possuem os mesmos equipamentos, dos mesmos fabricantes.

Através da Resolução Normativa 494/2012 a ANEEL estabeleceu procedimentos para processamento e gerenciamento das Usinas Fotovoltaicas. Ficou estabelecido que SCD's (Sistema de Coleta de Dados Operacionais) seria o conjunto de equipamentos responsáveis pela medição, armazenamento e disponibilização dos dados de geração, entre eles os níveis de tensão, corrente e potência elétrica gerados pelo sistema solar fotovoltaico. (Tavares Pinho e Antônio Galdino, 2014)

O acesso aos dados de geração, de modo geral são um problema conhecido nos sistemas de geração fotovoltaica. Atualmente existem sistemas supervisórios onde é possível acessar e gerenciar os dados de geração das usinas, porém a utilização de fabricantes distintos ou tecnologias distintas nos sistemas de geração impossibilita a comunicação entre dispositivos.

Neste contexto, o presente projeto tem como objetivo criar um dispositivo universal que possa ser instalado de forma simples e não invasiva nos sistemas fotovoltaicos instalados no IFF, possibilitando a integração dos dados de geração, independentemente do tipo de equipamento utilizado na usina. Com isto, os dados adquiridos poderão ser centralizados e acessados remotamente e em tempo real, com o intuito de fornecer uma ferramenta eficaz no controle e gestão da produção de energia, sendo acessível a toda comunidade.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo Geral**

O presente trabalho tem por objetivo desenvolver um protótipo de dispositivo capaz de medir e gerenciar a produção de energia através de células fotovoltaicas instaladas no Instituto

Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFF). Com tal dispositivo será possível monitorar, em tempo real, a geração de vários locais distintos, além de possibilitar o acompanhamento diário, mensal e total dos sistemas, através de uma interface gráfica.

Com a implementação do sistema, o gerenciamento da energia elétrica produzida será centralizado e realizado diretamente nos pontos de entrega de energia. Desta forma, a aquisição dos dados ocorrerá de forma a não depender dos sistemas de comunicação e armazenamento presentes nos mais diversos modelos e fabricantes de inversores de energia.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

1. Integrar e centralizar dados referentes à geração de energia;
2. Proporcionar um acompanhamento em tempo real e histórico de produção de energia
3. Criar um dispositivo de baixo custo e de código aberto, tornando sua utilização possível tanto para fins de controle quanto para fins acadêmicos
4. Criar um sistema amigável e responsivo, com dados e gráficos de acompanhamento e gerenciamento da produção de energia nos diversos Campi que possuam geração de energia fotovoltaica;
5. Comprovar eficácia do dispositivo.

## **1.2. Justificativa**

A queda dos preços dos equipamentos que fazem parte dos sistemas de geração de energia fotovoltaica e os incentivos para implementação de tecnologias de geração mais limpas fomentou significativamente a procura por estes sistemas (Pereira *et al.*, 2012).

Segundo o Operador Nacional do Sistema (2023), atualmente a geração de energia fotovoltaica representa 5% de toda matriz de energia elétrica do país, conectado ao Sistema Interligado Nacional, o que representa uma geração na ordem de 10,6 GW. A expectativa é que este percentual aumente para 8% em 2027, representando um total de 18,7 GW.

Com base nas novas regulamentações da Agência Nacional de Energia Elétrica (2022), além das grandes usinas fotovoltaicas, o mercado de geração distribuída, através de micro ou mini centrais geradoras, instaladas em residências, comércios ou indústrias também sofreu um forte aumento.

Associado a este crescimento, surgiu também a necessidade de se controlar e gerenciar a energia produzida por estas centrais, uma vez que a energia produzida é utilizada em parte para alimentar circuitos internos das casas e estabelecimentos onde as centrais são instaladas e, outra parte, denominada de excedente, é injetada na rede elétrica, tornando-se parte do Sistema Interligado Nacional (SIN).

Atualmente as micro e mini centrais geradoras possuem, através de seus inversores, algumas formas de controle e monitoramento da energia produzida por eles, porém a vasta gama de modelos e fabricantes deste equipamento, torna a centralização das informações sobre a geração uma tarefa bastante complexa, principalmente quando se deseja monitorar a geração de locais distintos, com equipamentos de fabricantes distintos.

Essa problemática atinge inclusive o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. O instituto possui sistemas de geração distribuída instalados em vários Campi. Estes sistemas não possuem uma padronização de potência gerada, nem de fabricantes dos módulos ou dos inversores. Deste modo, através dos sistemas fornecidos pelos fabricantes, é possível apenas monitorar a geração efetiva dos módulos de forma individualizada, não havendo uma centralização das informações ou comunicação entre os sistemas para que o gerenciamento da energia produzida seja possível.

Neste contexto, o presente trabalho justifica-se com a proposta de criação de um dispositivo não invasivo, para instalação em cada conjunto de geração presente nos diversos campi do IFF e, através da coleta direta dos dados de geração, centralizar toda a informação em um sistema de gerenciamento de energia, tornando possível, portanto, o acesso às informações de todos os sistemas de geração presentes no Instituto numa única interface.

Além disso, o dispositivo tem a premissa de ter um baixo custo de produção e manutenção, além de possuir código aberto para implementação de atualizações e aperfeiçoamento.

### 1.3. Estrutura do trabalho

O presente trabalho possui sua estrutura subdividida em capítulos, conforme listados e descritos a seguir:

**Capítulo 1** – Apresentação da contextualização e introdução ao tema proposto no trabalho, bem como seus objetivos e justificativa;

**Capítulo 2** – Apresenta o referencial teórico, a fim de contextualizar e aprimorar o entendimento sobre o assunto proposto no trabalho;

**Capítulo 3** – Apresenta uma bibliometria relacionada ao tema proposto, destacando os métodos de busca, bem como a seleção e apresentação dos trabalhos mais relevantes na área;

**Capítulo 4** – Compreende a apresentação do nível de maturidade da tecnologia aplicada à indústria, através de uma prospecção tecnológica sobre o assunto;

**Capítulo 5** – Descreve a metodologia seguida no processo de criação do protótipo especificado neste projeto;

**Capítulo 6** – Apresenta as etapas de desenvolvimento, testes e validação do protótipo desenvolvido, bem como os resultados alcançados na integração dos sistemas e aplicação em ambiente relevante;

**Capítulo 7** - Apresenta a conclusão do trabalho, explicitando os objetivos alcançados, bem como a visualização de trabalhos futuros e melhorias.

## 2. Referencial Teórico

### 2.1. Geração de Energia Solar Fotovoltaica

Dentre as formas de produção de energia através de matrizes renováveis, a energia solar, denominada fotovoltaica, vem se destacando como uma fonte crucial para a diversificação da matriz energética. O aumento da participação desta fonte de energia na matriz energética mundial promove a sustentabilidade e a redução da dependência das fontes de energia tradicionais e não renováveis.

De acordo com Pereira *et al.* (2012) o Brasil possui um imenso potencial solar, devido ao seu posicionamento geográfico. O país possui elevado índice de potencial fotovoltaico, em especial as regiões Nordeste e Centro oeste (Figura 1), o que contribui para a expansão desta fonte de energia na matriz energética brasileira.

Figura 1 - Potencial fotovoltaico no Brasil



Fonte: GLOBAL SOLAR ATLAS (2023)

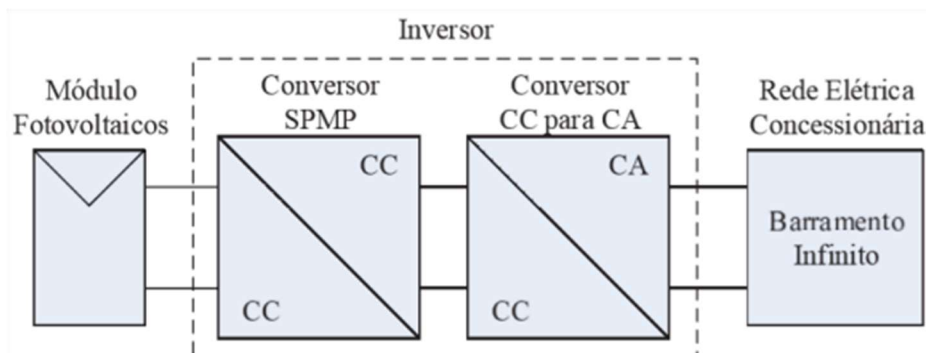
A produção de energia fotovoltaica se dá através de painéis fotovoltaicos, que são uma associação de pequenos módulos de efeito fotovoltaico. Cada módulo é produzido a partir de semicondutores que, quando são submetidos a radiação solar, produzem uma corrente elétrica. Este efeito é conhecido como efeito fotovoltaico.

Os módulos fotovoltaicos possuem duas camadas de semicondutores, a primeira denominada camada com dopante P e a segunda denominada de camada com dopante N. O semicondutor da camada P possui um déficit de elétrons e a camada N possui elétrons em abundância. Na construção do módulo fotovoltaico, a conexão destas duas camadas recebe o nome de junção P-N.

De acordo com Borges (2013), quando esta junção é exposta a radiação solar, ocorre a migração de elétrons da camada N para a camada P. Este deslocamento de cargas dá origem a uma diferença de potencial, conhecido como efeito fotovoltaico.

Em uma topologia padrão de conexão, os painéis solares são conectados em grupos serie-paralelo e o potencial elétrico produzidos por eles é somado. Após a conexão, a energia produzida por eles, em corrente contínua é conectado ao equipamento denominado inversor, que tem a função de transformar a energia gerada em corrente contínua em corrente alternada, para que posteriormente seja conectada à rede elétrica. Nesta topologia estão previstas proteções tanto no lado CC quanto no lado CA e pode ser observada de forma resumida na figura 2.

Figura 2 - Modelo genérico de sistema fotovoltaico conectado à rede



Fonte: Tiggemann (2015)

A implantação de usinas de pequeno, médio e grande porte de produção de energia fotovoltaica no Brasil teve um aumento considerável a partir dos incentivos governamentais associados a esta tecnologia. Faria Junior *et al.* (2016) destaca que a partir das mudanças em



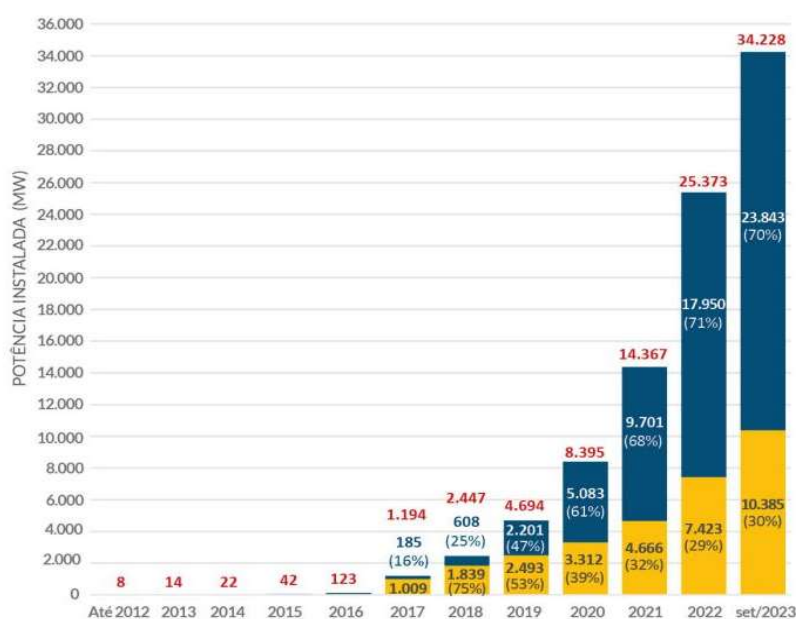
políticas regulatórias e de incentivos governamentais, como implementação de leilões de energia solar e financiamentos com linhas de crédito exclusivos para esta modalidade, impulsionaram significativamente o aumento da capacidade de produção implantada no Brasil.

De acordo com dados fornecidos pelo Ministério de Minas e Energia (2023), o Brasil bateu recorde de expansão da energia solar em 2023. Somente entre janeiro e agosto de 2023 foram adicionados 3GW de energia proveniente de usinas solares ao Sistema Interligado Nacional, superando a marca anterior, em 2022, de 2,5GW instalados naquele ano.

O aumento cada vez mais acelerado da participação desta fonte de energia no Brasil, coloca o país em posição de destaque no cenário internacional, na linha de frente para a mudança de matriz energética mundial.

Atualmente o Brasil possui 34.228 GW de potência instalada para produção de energia solar fotovoltaica, de acordo com dados da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (2023). A evolução destas instalações pode ser observada no Gráfico 1. Os dados em amarelo no gráfico representam o número de instalações em geração centralizada ou grandes usinas geradoras e em azul, pode ser observado o numero de instalações de sistemas em geração distribuída.

Gráfico 1 - Evolução da potência instalada de geração fotovoltaica no Brasil



Fonte: (ABSOLAR, 2023)

O Gráfico 2 apresenta a distribuição da matriz energética brasileira e a representatividade da geração solar fotovoltaica no país, representando 15,6% da matriz energética atual do Brasil.

Gráfico 2 - Matriz energética brasileira



Fonte: (ABSOLAR, 2023)

## 2.2. Geração Distribuída

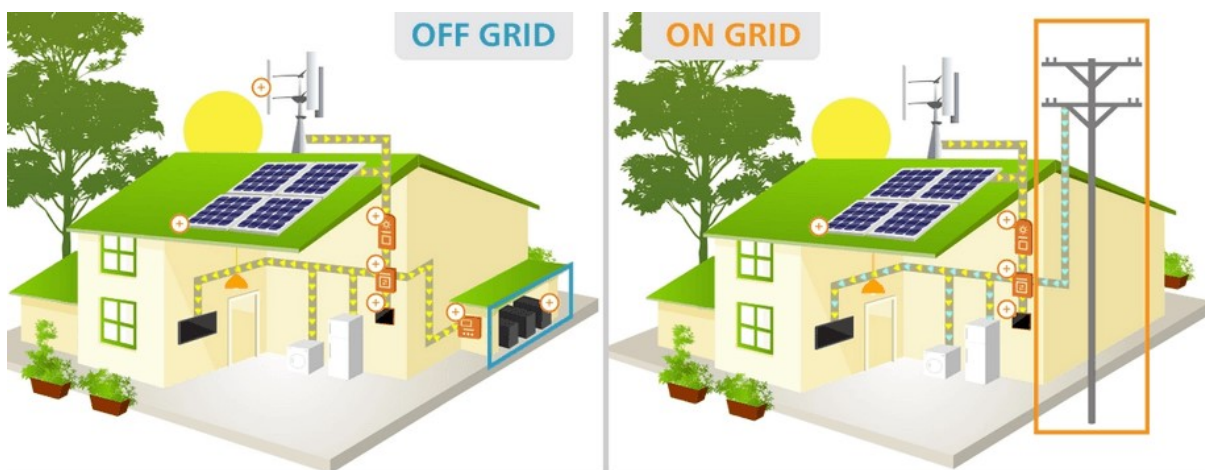
A Geração Distribuída (GD) pode ser expressa como a geração de energia elétrica que ocorre junto ou próximo aos consumidores, independente da natureza destas fontes de geração. O termo se popularizou no Brasil com o aumento de novas ligações de unidade geradoras de energia fotovoltaica.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (2021), a geração distribuída é caracterizada pela geração de qualquer potência, em que as instalações são conectadas diretamente no sistema elétrico de distribuição, sendo estas conexões operando em paralelo ou de forma isolada.

Os sistemas operando em paralelo, também chamados de sistemas *On Grid*, geram a energia através dos módulos fotovoltaicos e esta energia, após passar pelo inversor, é conectada à rede elétrica e injetada no Sistema Interligado Nacional através de medidores de consumo bidirecionais, que permitem o fluxo de potência em ambos os sentidos, vindo da rede de distribuição ou da unidade de geração distribuída. Já a topologia isolada, também chamada de *Off Grid*, é caracterizada pela produção de energia fotovoltaica e armazenamento da produção

em bancos de baterias para ser utilizada posteriormente para alimentar as cargas do consumidor. Nesta topologia não há nenhuma conexão da energia gerada com o Sistema Interligado Nacional. As principais diferenças entre as duas topologias apresentadas podem ser observadas na figura 3.

Figura 3 - Topologias Off-Grid e On-Grid



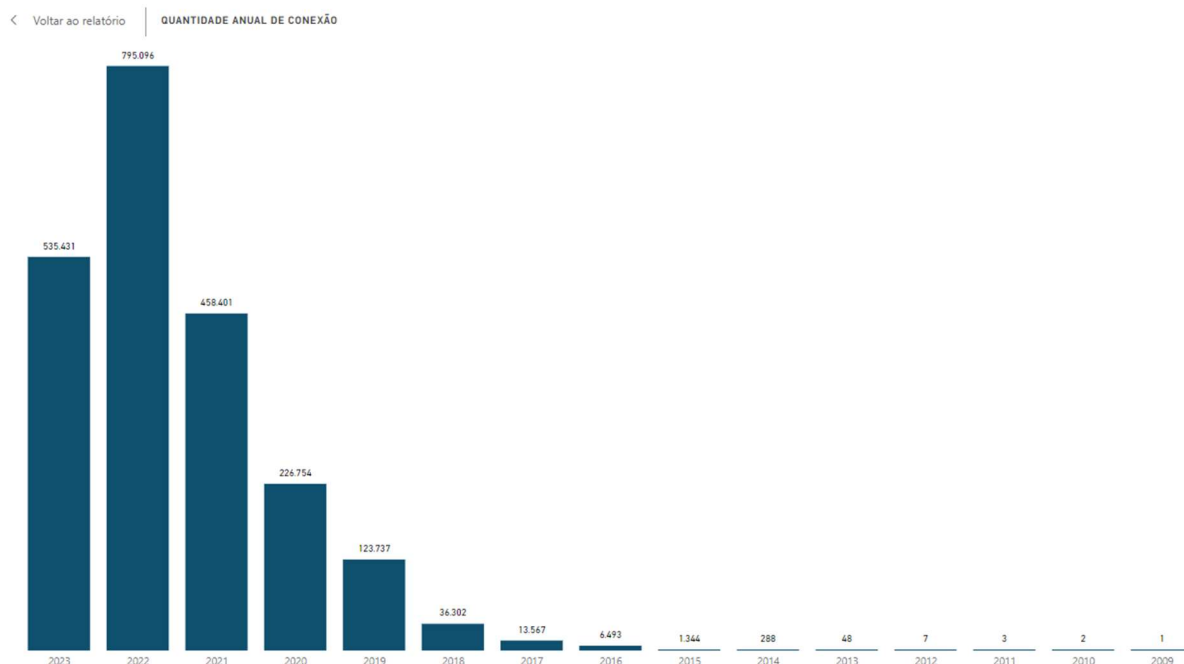
Fonte: (Silvério, 2021)

No Brasil, a geração distribuída foi impulsionada a partir de 17 de abril de 2012, quando a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 entrou em vigor. Esta resolução estabeleceu critérios para que consumidores pudessem gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis e conectar esta energia ao Sistema Interligado Nacional. Esta resolução foi recentemente substituída pela Resolução Normativa ANEEL nº 1000/2021 que estabeleceu novos critérios quanto a geração e comercialização da energia gerada em GD.

Ainda segundo a Resolução Normativa nº 1000/2021, os consumidores que optarem pelo modelo de geração distribuída, podem ser enquadrados em duas classificações: Microgeração distribuída e Minigeração distribuída. Na Microgeração, são consideradas centrais geradoras que utilizem fontes de energia renováveis em que a potência total instalada não ultrapasse 75 kW. Para unidades de Minigeração são consideradas as centrais geradoras em que a potência instalada seja maior que 75 kW e menor que 5 MW.

De acordo com dados da ANEEL, em 2023 até o mês de outubro, foram conectadas 534.431 novas unidades geradoras ao Sistema Interligado Nacional, como demonstrado no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Evolução de novas instalações de unidades de geração distribuída



Fonte: ANEEL (2023)

A geração distribuída, além de trazer benefícios ao consumidor com uma redução de custos associados a utilização de energia elétrica, traz também benefícios ao próprio sistema elétrica ao meio ambiente com o estímulo ao consumo consciente e produção mais limpa. De acordo com Cunha (2011), é possível destacar alguns benefícios associados a geração distribuída, entre eles:

- Regulação de tensão da rede elétrica;
- Redução das perdas associadas a transmissão de energia;
- Liberação de capacidade de infraestrutura de transmissão e distribuição;
- Aumento da confiabilidade e qualidade do fornecimento de energia;
- Redução das emissões de gases de efeito estufa.

No contexto brasileiro, as principais fontes de geração distribuída são a solar fotovoltaica, eólica, biomassa e as pequenas centrais hidrelétricas. Dantas e Pompermayer (2018), destacam que a predominância da geração de energia solar fotovoltaica no cenário da geração distribuída está relacionada ao fato da abundância de recursos solares no país e a implementação de políticas de incentivo para instalação desta tecnologia.

### 2.3. Gerenciamento de usinas fotovoltaicas

O gerenciamento eficiente da energia produzida em usinas fotovoltaicas é um dos principais desafios, em especial para clientes que possuem micro e mini geração. A implementação deste controle vai de encontro a otimização da produção que por sua vez contribui para transição da matriz energética para fontes de energia limpa.

O gerenciamento destas usinas envolve diversas atividades, desde o planejamento da instalação até a operação e manutenção. De acordo com Neto (2022), o gerenciamento eficiente incluem a otimização do posicionamento dos painéis fotovoltaicos, o monitoramento em tempo real dos dados de produção, os métodos de prevenção a falhas e a implementação de estratégias de manutenção preditivas.

O principal desafio encontrado, principalmente em pequenas e médias centrais geradoras, é o controle eficiente da energia produzida pelas centrais que estão conectadas à rede. Pereira *et al.* (2012) destaca que a integração de sistemas de monitoramento avançados é crucial para maximizar o rendimento energético destas unidades.

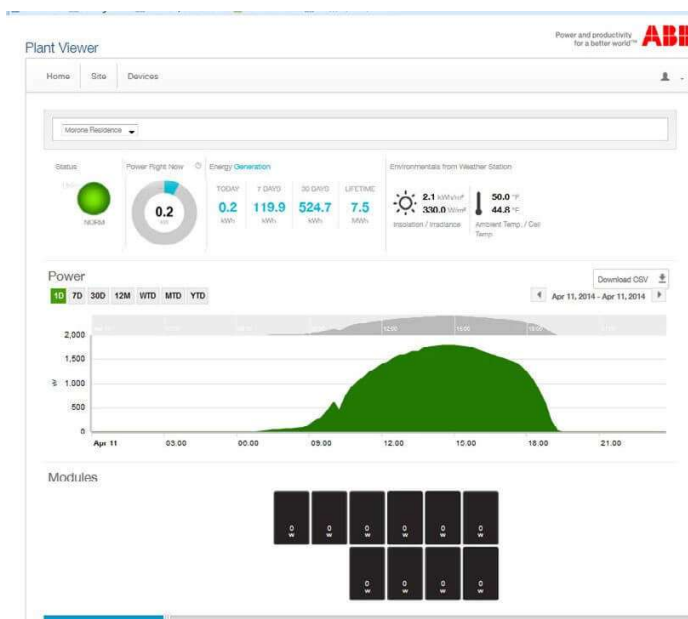
Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), atualmente existem diversos fabricantes de inversores no mercado. Cada inversor possui uma plataforma de gerenciamento, além de se comunicarem por protocolos de comunicação distintos, entre eles o padrão CAN, MQTT, TCP/IP (Queiroz, 2019). Deste modo, quando as centrais geradoras possuem a padronização e adoção dos mesmos modelos ou fabricantes, é possível realizar o gerenciamento de produção através de plataformas proprietárias, como por exemplo o “Solar Web” (Figura 4) do fabricante Fronius e o “Aurora Vision” (Figura 5) do fabricante ABB.

Figura 4 - Solar Web da Fronius



Fonte: (Queiroz, 2019)

Figura 5 - Aurora Vision da ABB



Fonte: (Queiroz, 2019)

Quando porém, em uma mesma instalação, existem inversores de fabricantes distintos, o gerenciamento da energia produzida se torna um grande desafio, uma vez que as plataformas de cada fabricante não se comunicam entre si. No mercado existem algumas soluções como a plataforma “*SolarView*” e “*WallPanel*” que proporcionam uma certa integração entre sistemas, porém sendo necessário a instalação de dispositivos específico de cada plataforma, com alto custo associado.

O aumento da eficiência no controle da geração fotovoltaica está correlacionado com o avanço tecnológico na área. Vieira (2021) destaca que cada vez mais, sistemas baseados em inteligência artificial e aprendizado de máquina estão sendo explorados para prever falhas, otimizar e gerenciar a produção e facilitar a manutenção nestas usinas. Além disto, segundo Tofoli (2018), a gestão eficiente da produção de energia solar está intrinsecamente ligada a aspectos econômicos, garantindo a viabilidade econômica de implantação e manutenção destas unidades, considerando custos operacionais e retorno sobre investimento.

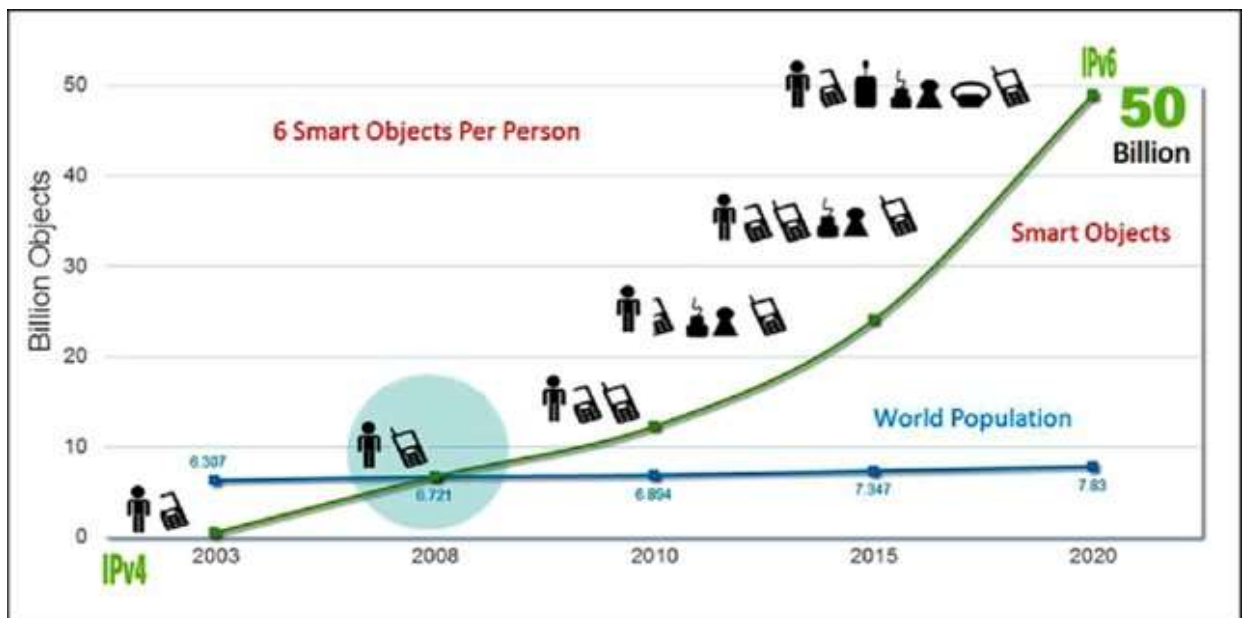
## 2.4. Internet das Coisas (IoT)

O conceito de Internet das Coisas tem transformado de forma significativa a forma de interação com o mundo, conectando dispositivos e sistemas com o objetivo de coletar, analisar e compartilhar dados em tempo real. Para Atzori *et al.* (2010) a Internet das Coisas é definido como sendo a interconexão de dispositivos físicos por meio da internet, possibilitando a aquisição e troca de dados para aprimorar processos de automação, aumentando sua eficiência e auxiliando na tomada de decisões.

A arquitetura da IoT envolve dispositivos sensoriais, redes de comunicação e plataformas de processamento de dados. Cousin (2013), discute a necessidade de padrões abertos para interoperabilidade e integração eficiente dos dispositivos na IoT.

De acordo com Evans (2011), o conceito relacionado à Internet das Coisas surgiu entre os anos de 2008 e 2009, quando a quantidade de dispositivos conectados à internet superou a quantidade de pessoas conectadas à rede. A Figura 6 demonstra a evolução de dispositivos conectados e destaca o ponto de surgimento do conceito de Internet das Coisas.

Figura 6 - Evolução da Internet das Coisas



Fonte: Adaptado de (Aydos, Vural e Tekerek, 2019)

A IoT tem aplicações diversas em setores como saúde, agricultura, indústria e cidades inteligentes. Autores como Zanella *et al.* (2014) exploram os benefícios da IoT na saúde,

destacando dispositivos médicos conectados para monitoramento remoto. Na agricultura, a IoT é utilizada para otimizar o uso de recursos (Viola e Mendes, 2022), enquanto em cidades inteligentes, a IoT contribui para a gestão eficiente de serviços urbanos (Al-Fuqaha *et al.*, 2015)

A segurança é uma preocupação crítica na IoT. Autores como Roman *et al.* (2013) abordam os desafios de segurança, como a proteção de dados sensíveis e a prevenção contra ataques cibernéticos. Questões de privacidade e confiabilidade também são discutidas por Sicari *et al.* (2015), destacando a importância de abordagens robustas de segurança e políticas de privacidade.

A integração de tecnologias emergentes, como inteligência artificial (IA) e *blockchain*, com a IoT tem implicações significativas. Autores como Borgia (2014), exploram como a IA pode aprimorar a capacidade de análise de dados da IoT, enquanto Swan (2015) discute o papel do *blockchain* na garantia de segurança e confiança nas transações e trocas de dados.

O futuro da IoT envolve avanços em áreas como redes 5G e computação quântica. Autores como Li *et al.* (2018) destacam como a infraestrutura 5G melhorará a conectividade e a velocidade na IoT, enquanto Atzori *et al.* (2016) discutem o papel da computação quântica na manipulação de grandes volumes de dados gerados pela IoT.

## 2.5. Protocolo MQTT

O protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) é um protocolo leve e eficiente projetado para facilitar a comunicação entre dispositivos em redes de Internet das Coisas (IoT). Segundo Bahashwan e Manickam (2019), o MQTT foi desenvolvido pelo Dr. Andy Stanford-Clark, da IBM, e Arlen Nipper, da Eurotech, em 1999, com o objetivo de criar um protocolo de mensagens eficiente para comunicação entre sensores e atuadores em redes de sensores, sendo projetado para ser leve, simples e eficaz em termos de largura de banda.

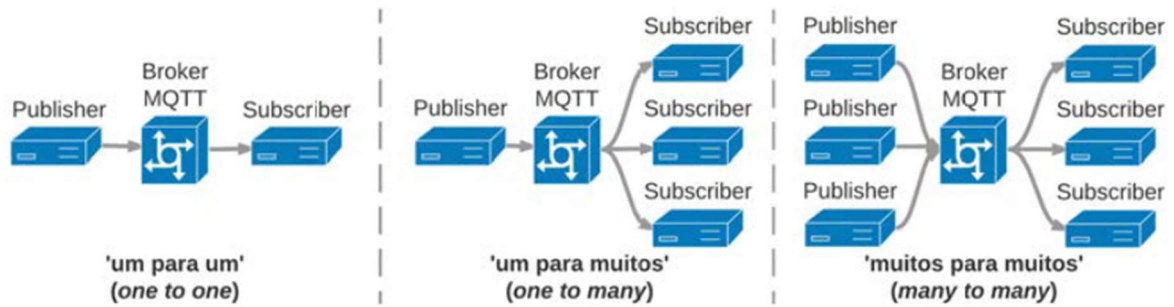
O MQTT opera sobre o modelo de *publisher/subscribe* (publicação/assinatura), onde os dispositivos clientes podem publicar mensagens em tópicos ou se inscrever para receber mensagens de tópicos específicos. O protocolo utiliza um servidor central que possibilita a troca de informações denominado “*Broker*” (Hunkeler, Truong e Stanford-Clark, 2008)

Segundo Torres *et al.* (2016), nesta estrutura de comunicação, apenas o endereço do Broker precisa ser conhecido para que haja a troca de mensagens entre cliente e produtor.



Possibilitando a comunicação entre dispositivos na topologia “um pra um”, “um para muitos” ou “muitos para muitos”, conforme descrito na Figura 7.

Figura 7 - Topologias de distribuição de mensagem no protocolo MQTT



Fonte: (Torres *et al.* 2016)

De acordo com Yaqoob *et al.* (2017), a adoção do protocolo MQTT em aplicações de IoT é explicada por sua simplicidade, baixo consumo de largura de banda e suporte a mensagens assíncronas. Deste modo o MQTT é amplamente utilizado em diversas aplicações IoT, como monitoramento de sensores, automação residencial, rastreamento de ativos e cidades inteligentes.

### 3. Estado da Arte

Neste capítulo será apresentada uma análise bibliométrica, apresentando as estratégias de busca e resultados obtidos quanto a produção científica existente no mesmo tema apresentado neste trabalho. Esta busca auxiliou não só no levantamento e aprofundamento no tema proposto, bem como para embasar onde estão alocados os esforços científicos para o desenvolvimento do mesmo.

#### 3.1. Estratégia de Busca

A pesquisa por trabalhos relevantes no assunto foi concentrada em duas grandes bases de dados de conhecimento científico: a base Scopus e a base Web of Science. Como os resultados obtidos foram muito semelhantes em ambas as bases, este trabalho concentrou os resultados obtidos através da base Scopus.

Os termos de busca definidos para a pesquisa foram obtidos a partir do levantamento de palavras-chave relacionadas ao assunto e combinadas de diversas maneiras até que se chegasse a um resultado relevante para a pesquisa. A partir das palavras-chave selecionadas, seus Thesaurus foram elencados, com o intuito de enriquecer e tornar a pesquisa mais abrangente.

Para alcançar uma análise satisfatória dos dados obtidos, foi utilizada a ferramenta de análises disponível no Scopus, bem como a plataforma Rstudio que, através de dados importados do Scopus, gera análises complementares, através da biblioteca “bibliometrix”. Tal biblioteca é conceituada por Aria e Cuccurulo (2017), como um conjunto de ferramentas para pesquisa quantitativa aplicadas a bibliometria e cientometria.

Os termos definidos, bem como a estratégia de busca selecionada estão descritos no Quadro 1 e no Quadro 2.

Quadro 1 – Termos de busca

Palavras chave	Energia Fotovoltaica	Monitoramento / Controle	Internet das coisas	Painel
Inglês	Photovoltaics	monitoring	Internet Of Things	dashboard
Tesauros	solar panel	Control	arduino	control panel

	solar collector	sensor*	esp	
	solar cell	voltage	microcontroller	
	photovoltaic*	tension	iot	frontend
	photo-voltaic*	supervis*	Cloud Computing	
	solar power	detect*		
		measure*		

Fonte – Autor (2023)

Quadro 2– Estratégia de busca

Descrição	Sentença Scopus
Termo A	TITLE-ABS-KEY ( "solar panel" OR "solar collector" OR "solar cell" OR photovoltaic* OR photo-voltaic* OR "solar power" )
Termo B	TITLE-ABS-KEY ( monitoring OR control OR sensor* OR voltage OR tension OR supervis* OR detect* OR measure* )
Termo C	TITLE-ABS-KEY ( "Internet Of Things" OR arduino OR esp OR microcontroller OR iot OR "Cloud Computing" )
Termo D	TITLE-ABS-KEY ( dashboard OR "control panel" OR frontend )

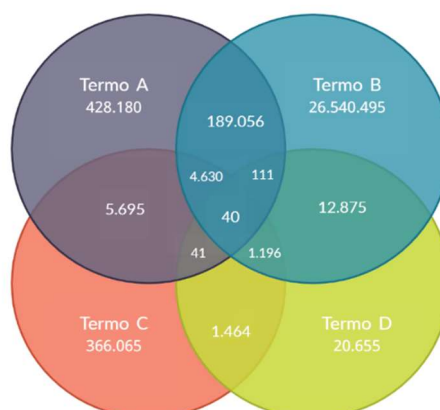
Fonte – Autor (2023)

Os termos destacados na sentença de busca foram pesquisados individualmente para se levantar a quantidade de trabalhos por assunto e ao fim os termos foram combinados, de modo que a intersecção entre eles representa os trabalhos relevantes no contexto desta pesquisa.

Para que os trabalhos encontrados em cada tema refletissem de forma satisfatória ao que se buscou, foi adotado como parâmetro para a pesquisa a tríade da indexação: título, resumo e palavras-chave.

Os resultados obtidos individualmente, bem como a combinação entre eles são representados na Figura 8 através do diagrama de Venn. Na figura é possível observar que, individualmente, os quatro termos levantados possuem uma vasta gama de trabalhos associados. Porém, quando os termos são combinados, apenas 40 trabalhos relevantes são elencados. Toda análise envolvida nesta etapa do trabalho serão feitas a partir destes 40 trabalhos.

Figura 8 – Diagrama de Venn com os resultados da pesquisa



Fonte – Autor (2023)

### 3.2. Histórico de publicações

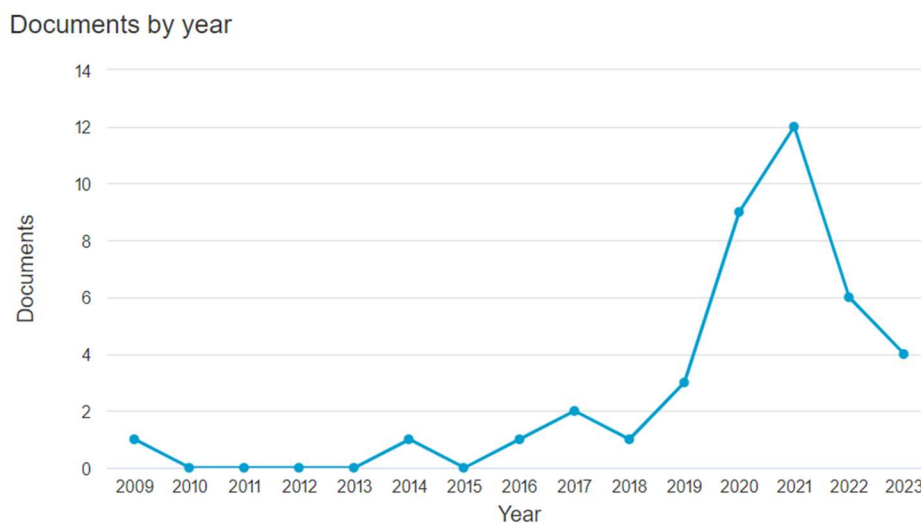
A partir dos dados obtidos, foi possível realizar o levantamento da linha temporal dos trabalhos publicados neste tema. Segundo Netto *et al.* (2022), apesar do efeito fotovoltaico ter sido descoberto em 1839, pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel, somente no ano 2000, o primeiro sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica entrou em operação.

Com a conexão desses sistemas à rede elétrica, a tecnologia de painéis, inversores e o controle da geração tem ganhado destaque, visando o aumento de eficiência e produção de energia cada vez mais limpa. O controle da geração se faz necessário, uma vez que o fluxo de energia gerada, em especial em sistemas autônomos de geração, ou seja, sistemas de micro e pequeno porte, para que a energia gerada por estes sistemas seja computada como crédito ao produtor.

O avanço da tecnologia em sensores e, principalmente a maior velocidade de comunicação de dados via internet, fez surgir o conceito de Internet das Coisas que, segundo Evans (2011), surgiu entre os anos de 2008 e 2009, quando o número de objetos conectados à internet ultrapassou o número de pessoas,

Neste sentido, é possível notar que a primeira publicação relacionada ao tema deste projeto aconteceu em 2009. Nos anos seguintes não ocorreram publicações significativas e, a partir de 2018 ocorreu uma tendência de aumento nas publicações, atingindo seu pico em 2021, conforme ilustrado na figura 9.

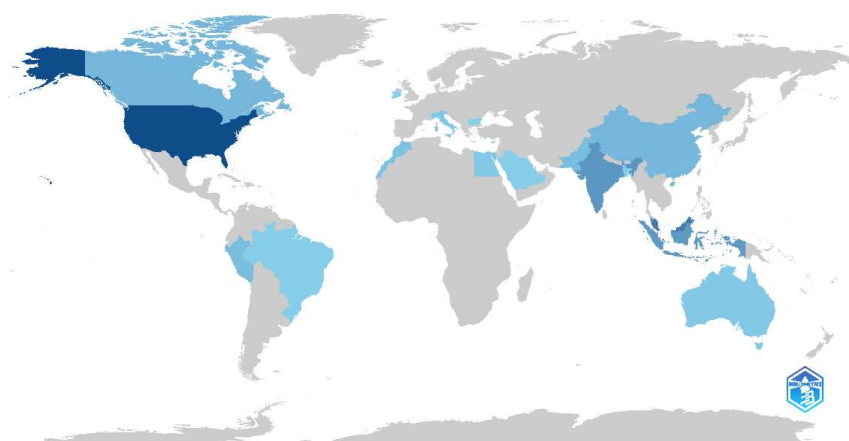
Figura 9 - Histórico de publicações



Fonte – Adaptado de Scopus (2023)

Segundo Machado e Miranda (2015), no cenário mundial, se destacam na produção de energia fotovoltaica os Estados Unidos, Itália e China. Esta tendência também é refletida nos países onde as produções científicas se concentram, como pode ser observado na figura 10, que demonstra os países com mais produções, a partir de uma escala de cores, quanto mais escura, maior a concentração de produções no país.

Figura 10 - Distribuição de trabalhos por países



Fonte – Adaptado de Bibliometrix (2023)

### 3.3. Trabalhos relevantes

A busca e definição dos trabalhos mais relevantes no tema, foi de extrema importância no desenvolvimento deste trabalho. A partir da leitura inicial dos resumos dos trabalhos, foi possível identificar os que possuem maior afinidade com o tema proposto e a partir deles, foi possível visualizar o nível de maturidade acadêmica, bem como o aprofundamento tecnológico do tema e os possíveis gaps de pesquisa existentes.

Negreiros *et al.* (2020) apresenta em seu trabalho, o controle e monitoramento de um Campus de universidade, não só em termos de gerenciamento de energia fotovoltaica, mas aplicando o conceito de *Smart Campus*, onde todos os recursos presentes na estrutura são monitorados e controlados, a fim de garantir uma maior eficiência do uso dos recursos. Tal controle e gerenciamento proposto em um *Campus* de universidade pode ser replicado, em maior escala, em comunidades ou cidades inteiras, integrando o gerenciamento de recursos em uma única plataforma centralizada.

O trabalho de Le et al (2016) foca no gerenciamento de células fotovoltaicas, visando a identificação de falhas nos módulos. Para este controle e gerenciamento, é proposto um sistema sem fio, baseado no microcontrolador SMT32F4, que recebe dados de sensores acoplados aos módulos e envia as informações via Bluetooth para a plataforma MATLAB/Simulink. Neste trabalho, dados como irradiância, temperatura da célula, tensão e correntes geradas em corrente contínua são monitorados e a partir deles são criados modelos para detecção de falhas na célula.

Prasetyo e Nugroho (2020) desenvolveram um dispositivo de gerenciamento de energia produzida, baseado no microcontrolador ESP32. O sistema é composto apenas por um transformador de corrente, que monitora a corrente no lado AC. O sistema considera a tensão de geração constante e toda a informação processada pelo microcontrolador é enviada via protocolo MQTT para um Raspberry Pi, que é utilizado como servidor neste dispositivo. Os dados referentes à geração podem ser acessados de forma remota, via internet.

Aghenta *et al.* (2020) e Hakam *et al.* (2023) desenvolveram sistemas de monitoramento de geração fotovoltaica, onde parâmetros de corrente e tensão são medidos diretamente nos módulos solares na saída em corrente contínua. Os sensores de tensão utilizados são baseados em divisores resistivos e os sensores de corrente invasivos, de efeito Hall. Os dados em ambos os trabalhos são processados no microcontrolador ESP32 e utilizam plataformas IoT de código aberto para apresentar seus *dashboards*.

Murshiduzzaman *et al.* (2021) propõe em seu trabalho o monitoramento de células fotovoltaicas, com foco no controle de sua eficiência através do monitoramento de acúmulo de poeira nas placas. Para isto, foi proposto a utilização de um sensor de poeira, que envia dados para um microcontrolador ESP8266. Os autores propuseram a utilização da plataforma de IoT “*My Devices Cayene*” que recebe os dados enviados via wifi pelo microcontrolador e os apresenta de forma intuitiva. A curva de queda de eficiência foi elaborada a partir do datasheet do fabricante dos módulos, correlacionando sua produção com o nível de opacidade das placas.

Anang Othman *et al.* (2021) desenvolveram um sistema de monitoramento de geração e controle de carga de bateria em sistemas fotovoltaicos desconectados da rede (*Off Grid*). O sistema proposto é composto por sensores de tensão e corrente contínua, além de um sensor de temperatura conectado ao banco de baterias. O monitoramento de tensão e corrente ocorre tanto na saída do módulo fotovoltaico, quanto na saída do controlador de carga, que envia energia para as baterias. Todas as informações dos sensores são recebidas num ESP8266, que por sua vez envia as informações para um segundo microcontrolador, o Arduino UNO, e então são enviados via wi-fi a um servidor e então são apresentados em um dashboard.

Karbhari e Nema (2019) propuseram um sistema de gerenciamento de energia em uma usina fotovoltaica com capacidade de produção de 1MW. A usina em questão já possuía um gerenciamento embarcado, através de PLC's, mas, segundo os autores, o acesso às informações não era simples. No desenvolvimento do projeto, foram utilizados sensores de tensão e corrente no lado AC. Os sensores propostos nos trabalhos são do tipo invasivo, o que dificulta sua implementação em larga escala. Além disto, foi proposto a nível de protótipo o controle de posicionamento dos módulos fotovoltaicos através de sensores de radiação, a fim de se conseguir extrair o máximo de eficiência das placas. No processamento dos sinais foi utilizado um ESP8266 que recebe os sinais dos sensores e os envia para um servidor, de onde podem ser acessados remotamente.

## 4. Estado da Técnica

O objetivo deste capítulo é traçar o nível de maturidade tecnológica que o tema deste trabalho possui. Para tanto foi realizada uma busca por patentes, que representam a efetiva utilização da tecnologia na indústria, sendo apresentados um breve resumo das patentes mais relevantes encontradas.

### 4.1. Estratégia de Busca

A busca por patentes foi concentrada na ferramenta Spacenet. Para alcançar o máximo de patentes relacionadas ao tema do trabalho, a *string* de busca foi montada a partir da estratégia utilizada no processo de busca por trabalhos acadêmicos. Deste modo, a String de busca por patentes foi montada da seguinte forma: (ctxt = "solar panel" OR ctxt = "solar collector" OR ctxt = "solar cell" OR ctxt = "photovoltaic\*" OR ctxt = "photo-voltaic\*" OR ctxt = "solar power") AND (ctxt = "monitoring" OR ctxt = "control" OR ctxt = "sensor\*" OR ctxt = "voltage" OR ctxt = "tension" OR ctxt = "supervis\*" OR ctxt = "detect\*" OR ctxt = "measure\*") AND (ctxt = "Internet Of Things" OR ctxt = "arduino" OR ctxt = "esp" OR ctxt = "microcontroller" OR ctxt = "iot" OR ctxt = "Cloud Computing") AND (ctxt = "dashboard" OR ctxt = "control panel" OR ctxt = "frontend"). A pesquisa retornou um total de 432 patentes relacionadas ao tema proposto neste trabalho.

### 4.2. Revisão de Patentes

A revisão das patentes foi realizada a partir da leitura dos resumos de todas as patentes encontradas durante a busca. Nesta leitura, foram identificadas as dez patentes que mais tem afinidade com o tema proposto neste trabalho, estas patentes selecionadas terão seus resumos apresentados.



#### **4.2.1. Patente CN206977153U**

O dispositivo protegido por esta patente consiste num dispositivo de monitoramento, baseado no microcontrolador TMS320F2802, que adquire sinais de tensão e corrente de usinas fotovoltaicas e se comunica através de Bluetooth 4.0 e RS485. O módulo possui bateria para alimentação de emergência. Os dados referentes a geração de energia não são transmitidos a nenhum servidor. O controle e monitoramento neste dispositivo é feito *in loco*, através de monitores ou *backup* das informações em um computador local.

#### **4.2.2. Patente CN213659211U**

Nesta patente, foi registrado um dispositivo capaz de monitorar a geração fotovoltaica aplicada a sistemas *Off-Grid*, ou seja, sistemas desconectados da rede elétrica e que a energia gerada é armazenada em baterias para posterior utilização. Este sistema possui sensores de corrente e tensão, monitorando tanto o sistema de geração, quanto o sistema de carga de baterias. Além disso, possui dispositivo de localização por GPS e câmeras associadas, que ficam nas salas de baterias e na sala de controle de geração. O sistema possui alarme para falha na geração e os dados são enviados a um servidor, onde podem ser acessados remotamente.

#### **4.2.3. Patente CN111127693A**

O dispositivo registrado nesta patente possui sensores de corrente e tensão, que monitoram a energia gerada em usinas fotovoltaicas. Além destes sensores, possui também posicionamento via GPS e controle de posicionamento dos módulos fotovoltaicos. Os sinais adquiridos nos sensores são tratados numa placa de processamento baseado no microcontrolador STM32L e a transferência de dados para o servidor é realizada através de um módulo de comunicação BC20. Os dados são enviados ao servidor e podem ser acessados remotamente ou de forma local, através de um monitor acoplado ao dispositivo.

#### **4.2.4. Patente CN211499927U**

Nesta patente, foi produzido um dispositivo de controle de geração de energia, aplicado a um quiosque inteligente. Além do controle clássico de geração de energia fotovoltaica, através do monitoramento de tensão e corrente no barramento, este dispositivo monitora também a

utilização desta energia, bem como controla a climatização e sonorização do ambiente. O microcontrolador utilizado para processar todas estas informações é o Arduino Uno.

#### **4.2.5. Patente CN203406677U**

O dispositivo desenvolvido e registrado nesta patente trata-se de um sistema de gerenciamento de vários dispositivos conectados a uma rede. O diferencial neste caso está na interconexão de diferentes plataformas de microcontroladores e dispositivos à mesma central, através de uma rede GPRS. Este dispositivo é aplicado ao gerenciamento de energia em geração distribuída, onde vários pequenos centros de geração são interligados ao sistema elétrico, fornecendo energia à rede.

#### **4.2.6. Patente CN114500618A**

Nesta patente, há uma aplicação no controle de energia gerada diretamente em cada módulo de energia fotovoltaica, de forma individualizada. Comumente estes módulos são conectados em grupos em série e o monitoramento é realizado no conjunto inteiro. Neste dispositivo criado, buscou-se o monitoramento individual de cada módulo a fim de se identificar falhas ou problemas de forma mais eficiente e individualizada. Os sensores utilizados são baseados no controle de tensão e corrente, porém nos níveis dessas grandezas proporcionadas por cada módulo individualmente. Os dados são enviados para um servidor e podem ser acessados e monitorados remotamente.

#### **4.2.7. Patente CN112132538A**

Esta invenção aplica o gerenciamento de produção de energia através de uma plataforma de gerenciamento de dispositivos, baseado no conceito NB-*IoT* (*Narrow Band Internet of Things*), onde os módulos terminais, instalados em cada usina fotovoltaica, são conectados através de um módulo de *gateway* de acesso. Os dados adquiridos nos módulos terminais são enviados pelo módulo de *gateway* para uma rede privada, onde podem ser acessados remotamente, desde que seja autorizado o acesso aos mesmos.

#### **4.2.8. Patente CN212231380U**

Nesta patente, o controle de geração de energia é uma funcionalidade secundária. A invenção trata de um equipamento móvel de acesso à facilidades, como controle de temperatura e umidade ambientes. Este dispositivo possui motores para garantir sua mobilidade e toda a parte elétrica é suprida por um módulo fotovoltaico em sua parte superior. A energia produzida por este módulo é controlada por sensores, que monitoram sua geração e a utilização da mesma no equipamento, o que garante uma maior eficiência energética para o dispositivo. Apesar de não ser um controle diretamente ligado à geração de altos níveis de energia, a aquisição de dados e a transmissão e acesso dos mesmos de forma remota, torna esta invenção relevante no contexto deste trabalho.

#### **4.2.9. Patente CN206302155U**

Nesta patente foi registrado um dispositivo capaz de monitorar a geração de energia fotovoltaica de forma clássica, monitorando tensão e correntes geradas no lado AC. O diferencial desta tecnologia está no protocolo de comunicação utilizado. Nesta patente, o dispositivo de comunica com a central de gerenciamento através do protocolo ZigBee, que o torna autônomo e independente de uma rede wi-fi, por exemplo. Desta forma a comunicação entre dispositivos se torna mais eficiente e o consumo de energia do dispositivo é otimizado.

#### **4.2.10. Patente CN206547113U**

Nesta patente, foi registrado um sistema completo de automatização de uma estufa para produção de plantas. Apesar de não ser um dispositivo de controle unicamente da geração de energia fotovoltaica, este controle é feito para garantir a operação de todos os componentes da estufa. Além de sensores de tensão e corrente, são empregados diversos sensores, como umidade de solo, temperatura, câmeras e umidade do ar. O sistema gerencia todas essas informações em conjunto e envia a um servidor para acesso remoto e para acionamento de dispositivos de irrigação no local. A energia gerada é monitorada e sua utilização por todo sistema também, emitindo alertas em caso de desconexão ou falha na geração.

## **5. Metodologia**

Este capítulo tem por objetivo descrever os materiais e métodos adotados na construção deste trabalho, bem como descrever o tipo de pesquisa empregado para alcançar os objetivos propostos.

### **5.1. Classificação da pesquisa**

Segundo a classificação proposta por Silva e Menezes (2005), do ponto de vista de sua natureza, este trabalho é classificado como uma pesquisa aplicada, uma vez que busca gerar conhecimentos de cunho de aplicação prática.

Considerando o ponto de vista relacionado aos objetivos, a presente pesquisa é classificada como exploratória uma vez que, segundo Gil (2008) uma pesquisa pode ser classificada como exploratória quando necessidades específicas de um determinado problema são estudadas e há uma busca pela compreensão dos mesmos.

### **5.2. Etapas da Pesquisa**

A construção da presente pesquisa está baseada na elaboração de um protótipo funcional de um dispositivo destinado a resolver o problema inicial apresentado que é a falta de padronização na gestão e controle de geração de energia fotovoltaica no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense.

Para alcançar os objetivos apresentados neste trabalho, inicialmente foi realizada uma pesquisa para elencar o referencial teórico, que foi construído com o objetivo de trazer a luz os principais temas abordados na construção deste trabalho. Conceitos importantes e definições de tecnologias e aplicações dos recursos deste trabalho foram levantados nesta etapa.

No segundo momento foi realizada uma prospecção acadêmica, com busca em reconhecidas bases de conhecimento científico como O portal Scopus e o Web of Science, visando compreender um pouco melhor o nível de maturidade acadêmica do tema relacionado ao trabalho. Nesta etapa foram levantados os principais trabalhos produzidos mundialmente que serviram como base na construção deste projeto.

Na sequência, foi realizada uma prospecção tecnológica, a fim de determinar o estado da técnica associado ao tema deste trabalho. O resultado alcançado nesta etapa possibilitou conhecer as principais e mais relevantes tecnologias patenteadas relacionadas ao controle e gestão de energia fotovoltaica. A partir do estado de tais patentes, o presente projeto foi aperfeiçoado para melhor adequação às necessidades levantadas sobre o problema.

Finalmente, após toda construção e embasamento teórico, foi desenvolvido um protótipo de dispositivo de medição e gerencialmente de energia fotovoltaico universal, que pode ser instalado em qualquer quadro de cargas e que é capaz de ler e registrar dados referentes a geração de energia, bem como apresentar dados históricos e proporcionar o gerenciamento de usinas fotovoltaicas dos mais diversos fabricantes, com dados centralizados em uma única plataforma. O desenvolvimento deste protótipo foi baseado no modelo de engenharia de sistemas complexos denominado Modelo V.

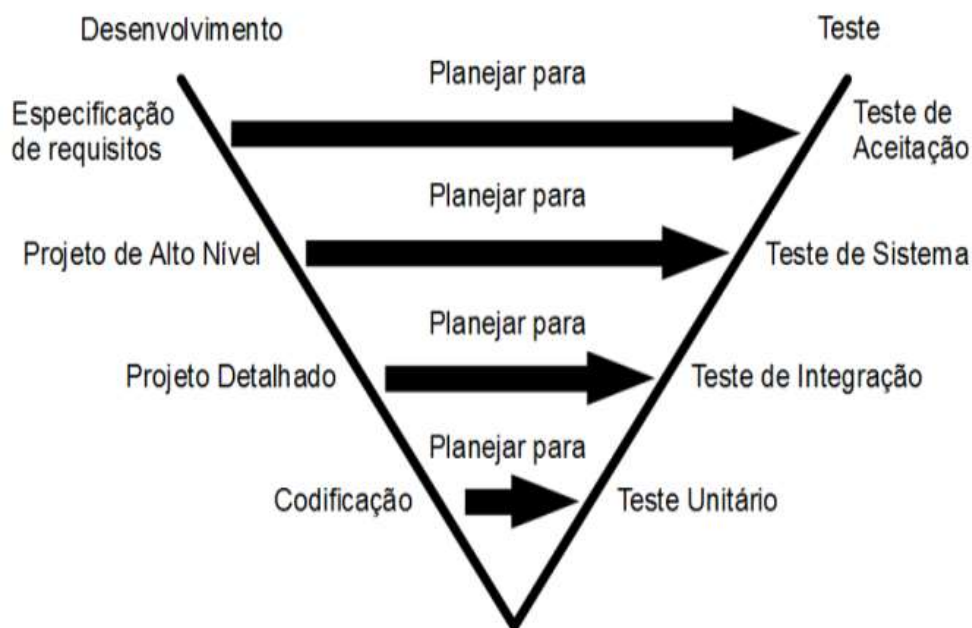
### **5.3. Modelo V**

O surgimento de sistemas de engenharia cada vez mais complexos, trouxe à tona a necessidade de aprimoramento dos processos de desenvolvimento dos mesmos. De acordo com Shamieh (2012), a partir da década de 90, especialistas em sistemas complexos desenvolveram e refinaram o que ficou conhecido como “Modelo V” em engenharia de sistemas.

Diferentemente do modelo tradicional, onde o desenvolvimento de um sistema está baseado numa sequência linear de acontecimentos, onde cada etapa pode conter seus próprios requisitos e as áreas de desenvolvimento não costumam ter interface entre elas, o Modelo V relaciona cada fase de desenvolvimento com os requisitos do projeto e cada etapa de desenvolvimento resulta numa etapa de teste específico que pode resultar no prosseguimento do desenvolvimento ou na readequação do projeto para uma nova abordagem (Craig e Jaskiel, 2002).

A representação das etapas contidas no Modelo V, bem como suas respectivas etapas de testes pode ser verificada através da Figura 11.

Figura 11 - Estrutura do modelo V



Fonte: Craig e Jaskiel (2002)

Segundo Shamieh (2012), cada etapa situada na fase de definição, produz os requisitos necessários para a etapa seguinte. A definição dos planos de teste e verificações da implementação, possibilita um melhor entendimento sobre as especificações apresentadas pelo usuário. O quadro 3 apresenta de forma resumida a descrição de cada etapa do Modelo V.

Quadro 3 - Descrição de etapas do Modelo V

Etapa	Descrição
Conceitos e Exigências Funcionais	Elenca as necessidades do usuário, analisando a viabilidade do sistema, especificando suas funções.
Requisitos do Projeto	Detalha os requisitos levantados na etapa anterior para atender às necessidades do usuário.
Projeto de Alto Nível	Criação de modelo de arquitetura de alto nível, onde os requisitos são expandidos, prevendo a manutenção, atualizações e integração com outros sistemas.

Detalhamento dos Projeto	Realiza a especificação dos componentes que serão utilizados no desenvolvimento do projeto.
Desenvolvimento de Hardware e Software	Especifica a tecnologia adotada no desenvolvimento de hardware e software, buscando cumprir as exigências do projeto.
Testes Unitários	Realização de testes em cada componente especificado no projeto, de forma individualizada.
Teste de Integração	Realização de testes integrando os componentes em subsistemas e verificando sua funcionalidade e se estão atendendo aos requisitos.
Teste de Sistema	Realização de testes que integram todos os sistemas presentes no projeto. Nesta etapa espera-se a confirmação de que todas as interfaces estão funcionando adequadamente.
Teste de Aceitação	Verifica se todos os requisitos do projeto foram cumpridos com a implementação do sistema.

Fonte: Autor – Adaptado de (Shamieh, 2012)

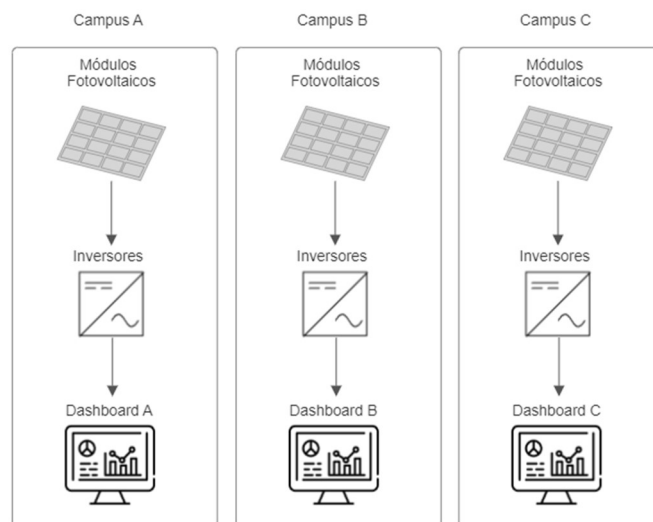
## 6. Desenvolvimento e Resultados

As premissas de desenvolvimento do presente projeto encontram-se fundamentadas no conceito do modelo em "V", conforme mencionado no capítulo dedicado à metodologia. Portanto, este capítulo, dedica-se à exposição pormenorizada do processo de desenvolvimento do dispositivo, aderindo estritamente a essa metodologia, e, adicionalmente, serão apresentados os resultados alcançados em cada etapa implementada.

### 6.1. Conceitos e exigências funcionais

O desenvolvimento deste projeto teve como base a necessidade levantada de um melhor gerenciamento e centralização de informações quanto a geração de energia fotovoltaica nas unidades do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense. A instituição possui sistemas de geração fotovoltaica em vários *Campi*. Porém o gerenciamento, controle e acompanhamento de dados de geração e dados históricos é feito de forma individualizada, ficando a cargo de sistemas autônomos e individuais de cada inversor utilizado em cada instalação. Os dados referentes a esta geração, portanto, ficam em bases de dados distintas e que não possuem comunicação entre si, o que inviabiliza a gestão de todos os sistemas numa única interface. A topologia existente é demonstrada na Figura 12.

Figura 12 - Topologia de gestão de energia existente no IFF

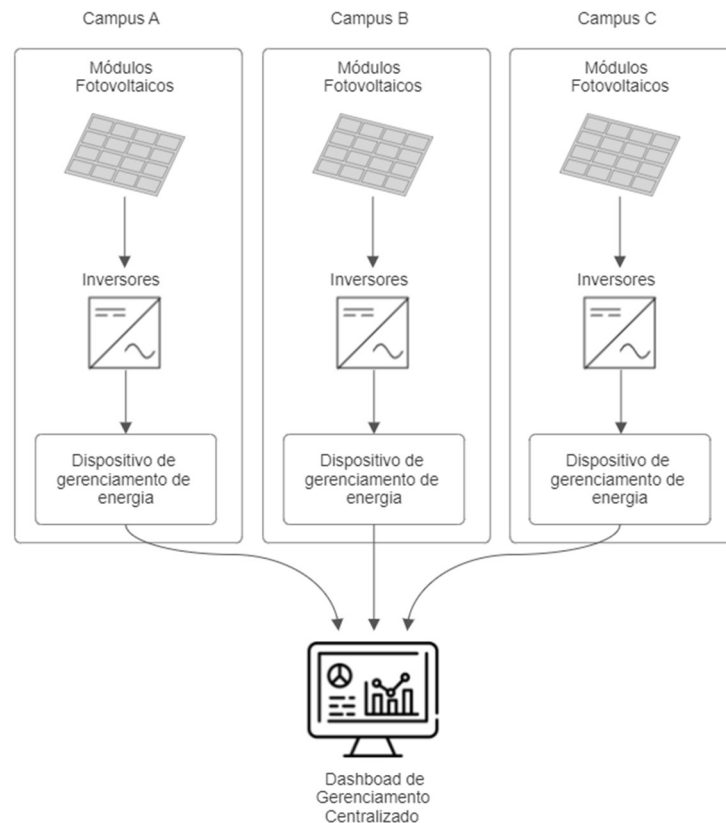


Fonte: Autor (2023)



Para sanar este problema, a solução proposta é a coleta dos dados de geração diretamente nos quadros de carga, onde os sistemas fotovoltaicos são conectados à rede de energia. Após esta coleta, os dados serão enviados a um servidor, onde alimentarão um *dashboard* que demonstrará os dados de geração em tempo real, bem como o histórico destes dados. A partir desta plataforma, diversos dispositivos poderão ser conectados, possibilitando a gestão de todas as instalações existentes nas dependências do IFF, conforme Figura 13. Além disso, para viabilizar a implantação do sistema faz-se necessário que seja criado um dispositivo de baixo custo, que utilize as redes de comunicação/conexão já disponíveis no IFF e que tenha manutenção simplificada.

Figura 13 - Topologia de gerenciamento de energia com implementação do dispositivo



Fonte: Autor (2023)

## 6.2. Requisitos do Projeto

Nesta seção serão apresentados os requisitos do dispositivo desenvolvido, com base em suas funcionalidades e aplicações descritas na etapa de exigências funcionais.

A premissa de desenvolvimento deste projeto se baseia em desenvolver um dispositivo que seja conectado diretamente nos quadros de carga do IFF e que as tomadas dos parâmetros elétricos sejam os mais precisos possíveis e ao longo de todo o dia, para que seja possível traçar o perfil de geração, bem como armazenar os dados históricos referentes à tensão e corrente elétrica fornecidas pelo sistema, além da potência total gerada.

### 6.2.1. Medição de Tensão

A medição de tensão deverá ser realizada diretamente nos quadros de carga, portanto estará conectada ao lado de corrente alternada do inversor. Para medir corretamente essa grandeza, faz-se necessário realizar uma medição de alta amostragem para traçar vários pontos ao longo do tempo, para determinar o perfil da senoide medida e assim conseguir determinar não só o valor médio estipulado da tensão, mas sim seu valor eficaz ou RMS (*Root Mean Square*). O valor eficaz de tensão é obtido através da equação 1.

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N V_i^2}$$

Onde:

$V_i$  representa cada medida obtida na leitura

$N$  representa a quantidade de medidas realizadas

O circuito de medição de tensão projetado deverá também ser capaz de suportar tensões de entrada na faixa entre 0 a 240 Vca, atendendo com segurança a tensão de operação dos inversores disponíveis no IFF, que possuem tensão nominal de 220 Vca.

O sinal resultante deste circuito será enviado ao microcontrolador através de um conversor A/D de 12 bits, através de comunicação I2C, para tanto, o sinal de saída deverá passar por um divisor resistivo que condicionará o sinal para níveis aceitáveis para o conversor A/D.

### **6.2.2. Medição de Corrente Elétrica**

Para medição de corrente elétrica será necessário realizar tomadas de medição diretamente dos condutores carregados dos quadros elétricos. Para uma medição segura e não invasiva, optou-se pela utilização do sensor de corrente do tipo transformador de núcleo dividido, que transforma os níveis de corrente CA em sinais de tensão, também em corrente alternada. Para se enviar este sinal ao microcontrolador, através do conversor A/D, faz-se necessário uma etapa anterior de amplificação e condicionamento deste sinal, através de um circuito baseado no LM358.

Além disto o dispositivo poderá ser conectado a um ou mais inversores, o que resultará na soma das correntes de cada inversor do conjunto. Para garantir uma ampla faixa de medição e versatilidade na instalação, optou-se por especificar o sensor de corrente para uma corrente máxima de 100A, com sinal de saída proporcional, de 1V.

### **6.2.3. Fonte de Alimentação**

Devido à restrição de espaço nos quadros de energia, a alimentação do circuito será realizada pela própria rede de energia em corrente alternada, no mesmo ponto de medição de tal grandeza. Para tanto, deverá ser adotada uma fonte de tensão com entrada de 100 a 240 Vca, com saída de 5 Vcc, tensão necessária para alimentar todo o circuito do dispositivo. Nesta configuração, a instalação do dispositivo no local causará o menor impacto possível à estrutura elétrica existente.

### **6.2.4. Controle**

Os sinais de tensão e corrente, adquiridos na etapa de sensoriamento, devem ser processados, de modo que seus valores sejam discretizados e possam ser exibidos em tempo real no *dashboard*. Para tanto, além da etapa de amplificação do sinal e tratamento no conversor A/D, se faz necessário o uso de um microcontrolador para que tais dados possam ser

efetivamente tratados. Para que os requisitos de processamento e transmissão de dados, fossem alcançados, com o menor custo agregado, foi especificado a utilização do ESP-32, um microcontrolador de baixo custo e baixo consumo de energia, com dois núcleos de processamento, além de possuir conexões Bluetooth e Wi-Fi integradas. Tais características tornam esse chip muito competitivo e bastante utilizado em aplicações IoT domésticas e industriais.

### **6.2.5. Transmissão de Dados**

Os dados relacionados à geração de energia fotovoltaica serão adquiridos através de vários dispositivos instalados em vários *Campi* do IFF. Uma vez configurados, as informações coletadas pelos equipamentos deverão ser analisadas e enviadas ao servidor para arquivamento e gestão, sem a necessidade de intervenção humana, através da internet, premissa básica do conceito de Internet das Coisas.

Para a transmissão destes dados, existem duas possibilidades levantadas para a utilização com o microcontrolador ESP-32, a primeira seria a instalação de uma comunicação baseada em um módulo GSM, que possibilitaria a comunicação sem fios e independente estrutura de internet do local, através de pacotes de dados M2M presentes em um chip dedicado a isto. A segunda possibilidade é a utilização de comunicação via Wi-fi já embarcada no microcontrolador. Neste caso, a comunicação sem fios seria realizada utilizando a estrutura de internet presente no local da instalação.

Uma análise de viabilidade foi realizada, levando em consideração os custos associados para instalação e manutenção dos dispositivos nos dois métodos de comunicação, considerando como referência o período de um ano em operação, conforme descrito no quadro 4. Ao final optou-se pela utilização de comunicação via Wi-fi, que proporciona uma maior economia global do projeto e também considerando que os locais de instalação dos dispositivos têm fácil acesso a infraestrutura de conexão através de tal tecnologia.

Quadro 4 - Comparativo de topologia de comunicação

Meio de transmissão de Dados	Custo de aquisição ESP-32	Custo de aquisição Módulo GSM	Custo mensal de franquia M2M	Custo total (12 meses)
Módulo de comunicação GSM	R\$ 32,50	R\$ 52,50	R\$ 8,00	R\$ 181,00
Wi-Fi embarcado no ESP-32	R\$ 32,50	-	-	R\$ 32,50

Fonte: Autor (2023)

### 6.2.6. Protocolo de Comunicação entre Dispositivos

No projeto, cada dispositivo publicará uma sequência de informações, contendo os parâmetros medidos. Os dados publicados deverão ser armazenados em um banco de dados denominado *broker* (Servidor responsável por gerenciar o processo de transferência de dados) e, posteriormente serão armazenados em um servidor e poderão ser visualizados através de uma interface web.

Para viabilizar tal processo, foi especificado a utilização do protocolo MQTT (*Message Queing Telemetry Transport*), onde é utilizada uma estrutura de *publish-subscribe* (publicador-assinante) para troca de informações.

### 6.2.7. Estrutura Física

Conforme especificado, o dispositivo será instalado em quadros de distribuição de energia, onde geralmente o espaço físico é bastante reduzido. Além disto, qualquer corpo estranho a instalação elétrica pode trazer um potencial risco à segurança e continuidade operacional da instalação.

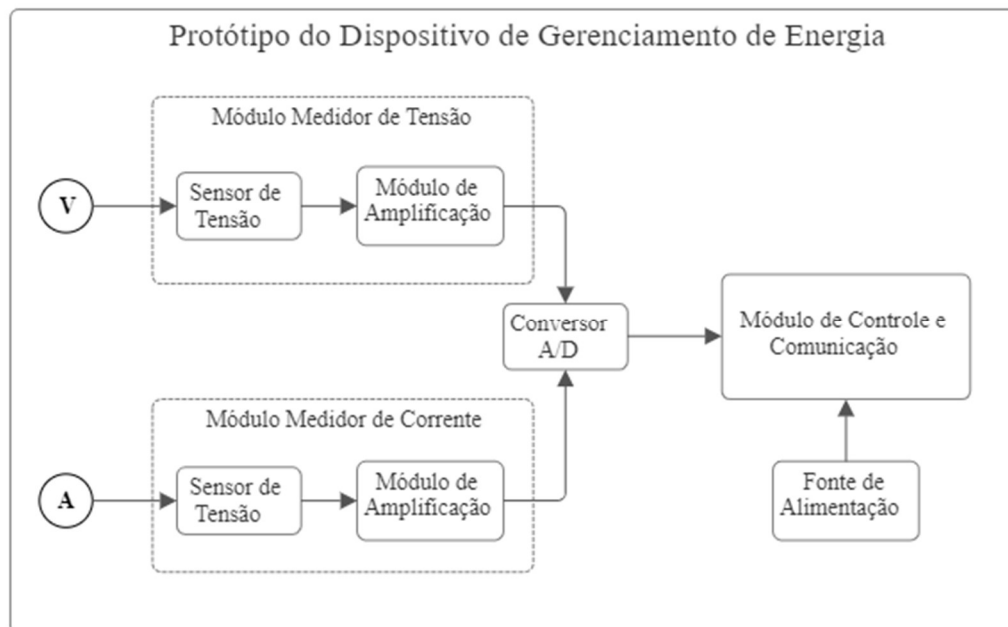
Para minimizar os impactos relacionados à instalação do dispositivo, optou-se pela construção de um invólucro que deve ser isolante, compacto e que deve possuir em sua parte externa apenas as conexões de tomada de tensão, corrente e alimentação. O invólucro deverá ser lacrado para que partes energizadas do circuito eletrônico não entrem em contato com os barramentos energizados e, além disto, deve-se especificar uma blindagem eletromagnética no invólucro para proteger o circuito eletrônico de interferências ocasionadas pela própria rede elétrica do local.

### 6.3. Projeto de Alto Nível

De acordo com Shamieh (2012), nesta etapa é demonstrada a arquitetura do sistema, para que o mesmo atenda todos os requisitos, além de demonstrar a integração entre sistemas, prevendo também manutenção e atualizações.

A arquitetura utilizada é demonstrada na Figura 14, onde é possível observar todos os sistemas envolvidos, bem como ocorre a interligação e integração dos mesmos. A arquitetura foi segmentada em quatro módulos, a saber: módulos de medição, módulo de adequação e amplificação de sinais, módulo de controle e comunicação e módulo de alimentação

Figura 14 - Arquitetura de Alto Nível do Protótipo



Fonte: Autor (2023)

- **Módulos de Medição:** Os módulos responsáveis pela aquisição de dados referentes à geração de energia são compostos por um sensor de corrente não invasivo e por um circuito de medição de tensão alternada, baseado no circuito integrado LM358. Os sinais obtidos pelos dois sensores serão enviados ao microcontrolador, passando antes pelo conversor A/D.
- **Módulo de adequação e amplificação de sinais:** Composto por amplificadores operacionais, que tem a função de elevar o sinal recebido pelos sensores, bem como de promover uma isolamento entre o circuito de aquisição e o conversor A/D, através de sua alta impedância de entrada.

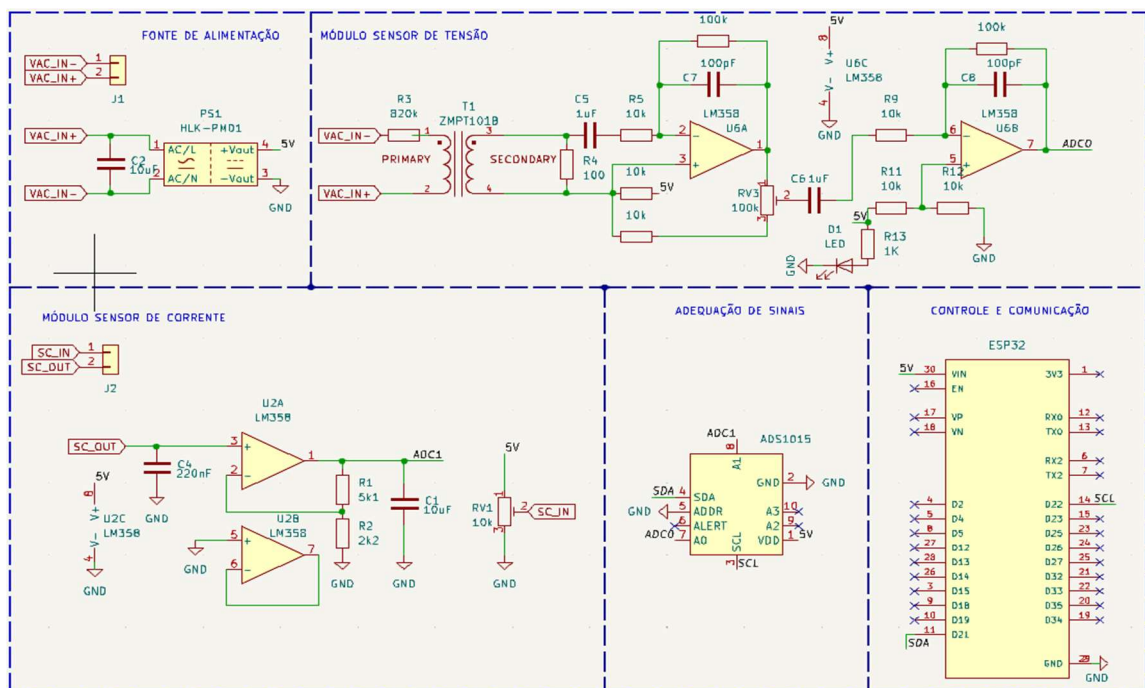
- Módulo de controle e comunicação: Responsável por receber os dados já condicionados e advindos do conversor A/D e promover o envio dos mesmos ao servidor, via WiFi. Tal envio e processamento serão possíveis através dos códigos de programação inseridos neste dispositivo.
- Fonte de alimentação: Tem a função de promover a alimentação a todo o circuito de aquisição, processamento e comunicação. Tal alimentação virá diretamente da rede de corrente alternada e será convertida em corrente contínua para alimentar o circuito.

### 6.3.1. Projeto Eletrônico

A confecção do projeto do circuito eletrônico e da placa de circuito impresso foi realizada no *software* de código aberto Kicad. Este software é amplamente utilizado em atividades de criação de dispositivos eletrônicos, desde sua concepção inicial, até a finalização de placas elaboradas e preparadas para plotagem e impressão final, até em escala industrial.

Neste projeto, o protótipo foi subdividido em blocos, conforme elencados anteriormente. Na demonstração do circuito eletrônico é possível identificar cada um desses blocos, bem como a integração entre eles. A Figura 15 apresenta o esquemático proposto

Figura 15 – Esquemático eletrônico completo



Fonte: Autor (2023)

### 6.3.2. Projeto do invólucro

Na etapa de projeto o invólucro utilizado para abrigar toda a parte lógica e de controle do dispositivo, foi utilizado o software Fusion para criar o modelo 3D, que posteriormente foi impresso em uma impressora 3D. Como requisito para este componente do projeto, foi definido que o invólucro teria que ter dimensões reduzidas, para ser instalado no interior dos quadros de energia e ser utilizado um material resistente ao calor e a chamas, devido sua proximidade a partes vivas do sistema elétrico.

## 6.4. Detalhamento do Projeto

De acordo com o modelo “V” adotado no desenvolvimento deste trabalho, nesta etapa serão apresentados de forma detalhada os componentes necessários para a efetiva montagem do protótipo do dispositivo proposto, visando atender aos requisitos levantados no projeto. Ao final desta seção será apresentado todos os custos associados à produção deste dispositivo.

### 6.4.1. Medição de Corrente

A medição de corrente elétrica neste dispositivo, será realizada no lado de corrente alternada do circuito, ou seja, no ponto de conexão do inversor com o quadro de energia elétrica. Para tanto, o sensor escolhido para realizar a medição foi o medidor SCT-013-000V, que pode medir até 100A em corrente alternada e possui saída de 1V, conforme mostrado na Figura 16.

Figura 16 - Sensor de corrente SCT-0013



Fonte: Autor (2023)

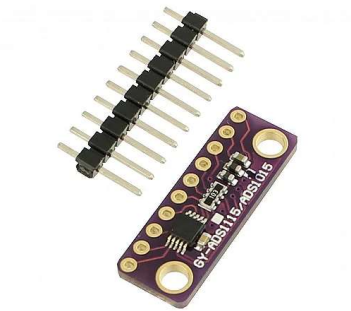


Este sensor é do tipo não invasivo, ou seja, não é necessário interromper o circuito que será medido para sua instalação. Ele é baseado num transformador de corrente, onde os níveis de corrente elétrica que flui através de seu núcleo são convertidos em valores de tensão de 1V. Isso é possível, pois esse modelo escolhido já possui internamente um resistor de carga, que funciona como um gerador de tensão, quando por ele flui uma corrente elétrica. Este sensor trabalha com um nível pré definido de tensão em corrente contínua, chamado offset de tensão, que neste circuito foi estabelecido no valor de 2,5 Vcc.

Quando o sensor é submetido a uma variação de corrente alternada em seu lado primário do transformador, é gerado um sinal com o mesmo formato em seus terminais de saída, porém com amplitude de 1V de pico a pico da onda, para o fundo de escala do sensor. Deste modo, é possível ter em sua saída um sinal alternado de corrente com o mesmo formato do sinal medido, porém com uma amplitude controlada e segura para ser medida.

A medição deste sinal passa por uma etapa de amplificação, através do amplificador operacional LM358, que possui alta impedância de saída e torna o sinal adequado e seguro para ser enviado ao conversor Analógico/Digital ADS1015, fabricado pela Texas Instruments, demonstrado na Figura 17.

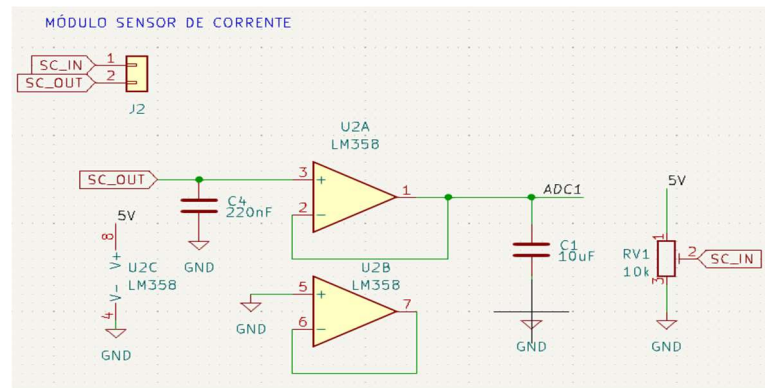
Figura 17 - Módulo A/D (ASD 1015)



Fonte: Autor (2023)

Foi elaborado um circuito de condicionamento deste sinal e alimentação para o sensor de corrente como pode ser observado na Figura 18.

Figura 18 - Circuito eletrônico do módulo medidor de corrente

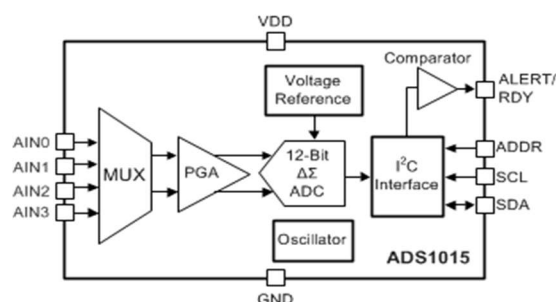


Fonte: Autor (2023)

O conversor A/D, por sua vez, converte o sinal analógico enviado pelo sensor SCT-013 e consegue transformá-lo em um sinal digital, através dos seus níveis de resolução, também chamados de níveis PCM (*Pulse Code Modulation*), onde cada nível PCM equivale a um valor de tensão, que finalmente pode ser interpretado pelo código inserido no controlador.

O ADS1015 é um conversor A/D de 12 bits de precisão, sendo um bit utilizado para sinal. Este conversor pode receber alimentação de 2v a 5,5v, denominada de VDD. Além disso, possui 4 canais de entrada de sinais, que podem ser independentes ou comparativos, graças a sua etapa de multiplexação. Possui ainda comunicação I2C e um codificador de ganho programável, que de acordo com a tensão de entrada adotada no conversor, sua faixa de operação precisa ser ajustada nas seguintes opções:  $\pm 6,144\text{V}$ ,  $\pm 4,096\text{V}$ ,  $\pm 2,048\text{V}$ ,  $\pm 1,024\text{V}$ ,  $\pm 0,512\text{V}$ ,  $\pm 0,256\text{V}$ . A escolha da faixa de operação determina a resolução do mesmo. Todas estas características podem ser observadas através do diagrama de blocos presente no datasheet do equipamento, conforme ilustrado na Figura 19.

Figura 19 - Diagrama de blocos ADS1015



Fonte: Datasheet Texas Instruments (2023)

Para se determinar a resolução do conversor A/D, é necessário considerar os 11 bits de sinal, portanto  $PCM = 2^{11} = 2.048$  níveis PCM. Neste projeto, a alimentação do conversor A/D foi padronizada em 5V, e para que todo o sinal recebido pelos sensores pudesse ser excursionando, adotou-se como faixa de operação o valor de  $\pm 6,144V$ . Deste modo, a resolução se dá conforme a equação 2.

$$Resolução = 6,144/2048 = 0,003 \quad (2)$$

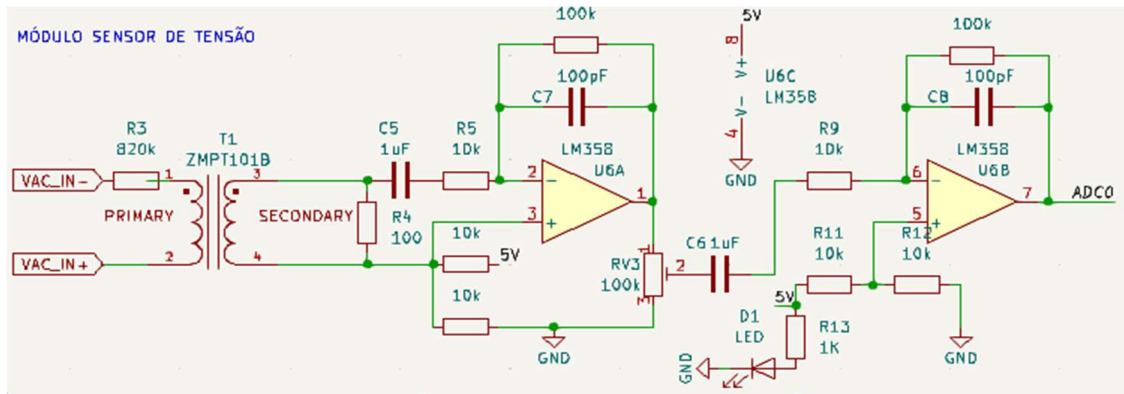
Isto significa que a cada nível lógico, ou nível PCM lido no conversor A/D, em sua entrada estará disponível o valor de 3mV.

#### **6.4.2. Medição de Tensão**

A tensão elétrica gerada também será requisitada no lado de corrente alternada do circuito. Durante o desenvolvimento do projeto, algumas opções foram testadas e a elaboração de um circuito específico para medição de tensão foi a que apresentou os melhores resultados. O circuito é composto por um transformador com relação de 1:1, promovendo o isolamento galvânico entre a rede medida e o circuito de medição. Este transformador recebe níveis de tensão de 0 a 240 Vca, que é limitada por um resistor de entrada de  $820K\Omega$ , e na saída do transformador, um resistor de carga modula o sinal lido para ser então enviado para duas etapas de amplificação, baseadas novamente no LM358. O circuito é alimentado em 5Vcc.

Após as etapas de amplificação, o sinal de saída representa o espelhamento do sinal senoidal de entrada e, pelos ajustes realizados no circuito, para uma tensão de entrada de 240  $V_{RMS}$ , O sinal de saída é limitado em 3,3V de pico a pico. Esta tensão por sua vez é enviada ao conversor A/D e através de sua leitura, o código contido no microcontrolador consegue determinar a tensão a que o sensor está submetido. O circuito que representa o circuito referente ao sensor de tensão pode ser observado na Figura 20.

Figura 20 - Circuito do módulo de medição de tensão



Fonte: Autor (2023)

### 6.4.3. Comunicação e Controle

A partir da análise de viabilidade técnica e econômica apresentados na etapa de levantamento de requisitos do projeto, a topologia Wi-Fi foi escolhida para realizar toda parte de comunicação entre o microcontrolador e o servidor, transmitindo em tempo real os dados medidos em campo.

O dispositivo escolhido para o processamento e envio destes sinais foi o microcontrolador ESP32 desenvolvido pela empresa Espressif, que possui dois núcleos de processamento, além de já possuir embarcado a comunicação Wi-Fi de 2,4GHz, no padrão IEEE 802.11 b/g/n, além de Bluetooth. Tal microcontrolador é amplamente utilizado em aplicações envolvendo Internet das Coisas por sua robustez e versatilidade.

Para integração com o sistema e uma rápida comunicação e programação, adotou-se a placa de desenvolvimento ESP-WROOM-32 que possui uma interface amigável e prática para conexão aos GPIO's do ESP32 e para programação do microcontrolador (Figura 21).

Figura 21 - Microcontrolador ESP32



Fonte: Autor (2023)

#### 6.4.4. Alimentação

Para alimentação do circuito eletrônico, foi convencionado o nível de 5Vcc. Esta tensão, denominada Vcc no esquemático do circuito, alimenta o microcontrolador ESP32, o ADS1015 e os amplificadores operacionais LM358 presentes dos circuitos do sensor de tensão e corrente. Num primeiro momento, este nível de tensão foi suprido por um circuito com base num regulador de tensão L7805, que era alimentado por uma fonte externa de 12Vcc, porém esta solução não se mostrou eficiente, pelo fato da necessidade de uma fonte externa, que deveria ser conectada à rede elétrica para suprir o circuito, o que dificultaria a instalação do dispositivo em painéis elétricos.

Para otimizar o projeto e simplificar o circuito de alimentação, optou-se pela utilização de uma mini fonte AC/DC, que pode ser inserida diretamente na placa de circuito impresso. O modelo adotado foi o HLK-PM01, do fabricante Hi-Link (Figura 22). Esta fonte possui a possibilidade de alimentação em níveis de tensão AC de 100 a 240 Vca, em frequências de 50 ou 60 Hz, e possui sua saída estabilizada em 5 Vcc. A corrente de entrada da fonte é de até 200 mA e em sua saída pode fornecer até 600 mA, que resulta numa potência de saída de até 3W.

Figura 22 - Fonte de alimentação HLK-PM01

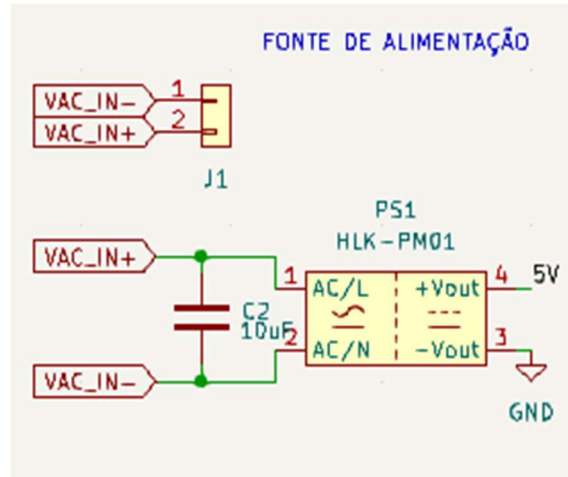


Fonte: Autor (2023)

Com a adoção desta fonte de alimentação, o dispositivo agora pode ser alimentado diretamente a partir de uma rede AC, dispensando, portanto, qualquer fonte externa ao dispositivo. Com o intuito de otimizar ainda mais o projeto, o circuito elétrico foi projetado para que a alimentação do mesmo seja realizada utilizando o mesmo ponto de conexão para leitura dos valores de tensão gerados, no quadro elétrico, conforme pode ser observado na Figura 23. Neste caso os pinos de alimentação denominados “VAC\_IN- e VAC\_IN+” levam

energia tanto para a fonte de alimentação, quanto para o circuito de medição exposto anteriormente.

Figura 23 - Circuito eletrônico do módulo de alimentação



Fonte: Autor (2023)

#### 6.4.5. Custo do Protótipo

A proposta deste trabalho é criar um dispositivo que seja capaz de fornecer um controle e acompanhamento de geração de energia, que seja universal e que consiga centralizar as informações de geração em um único lugar e, além disso, visa desenvolver um dispositivo de baixo custo, para ser implementado amplamente no IFF, para tanto é necessário realizar o levantamento do custo de produção do mesmo, considerando cada componente aplicado. Este levantamento pode ser observado no Quadro 5, que apresenta os componentes, quantidade e valor unitário de cada item empregado no dispositivo. Cabe destacar que os itens de confecção da placa de circuito impresso do invólucro constam os valores aproximados de custo de produção, uma vez que as matérias primas, como placa virgem de circuito e filamento de impressora 3D são utilizados em pequenas quantidades na fabricação. O tempo de operação dos equipamentos e gasto energético também estão contidos nesta estimativa.

Quadro 5 - Levantamento de custos de produção do dispositivo

Componente	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total
ESP32	1	32,50	32,50
ADS1015	1	33,99	33,99
Fonte HLK-PM01	1	10,99	10,99
Capacitor 10uF	2	0,24	0,48
Capacitor 1uF	2	0,14	0,28
Capacitor 220nF	1	0,37	0,37
Capacitor 100pF	2	0,14	0,28
Resistor 10k	7	0,20	1,40
Resistor 100k	2	0,20	0,40
Resistor 820k	1	0,20	0,20
Resistor 1k	1	0,20	0,20
Resistor 100	1	0,20	0,20
Conector KRE 2 Vias	1	0,60	0,20
Conector P2	1	0,45	0,45
Potenciômetro 10k	1	2,25	2,25
Potenciômetro 100k	1	0,99	0,99
LM358	2	0,98	1,96
ZMPT101B	1	4,28	4,28
Led	1	0,24	0,24
Confecção de Placa	1		10,00
Confecção de Invólucro	1		10,00
Total			111,66

Fonte: Autor (2023)

## 6.5. Desenvolvimento de Hardware e Software

De acordo com Shamieh (2012), esta etapa do projeto, baseado no Modelo V, é destinada a busca da tecnologia apropriada e no desenvolvimento do hardware e software que atenda aos requisitos especificados no detalhamento do projeto.

Para tanto, esta seção se destina a detalhar as tecnologias e recursos utilizados no desenvolvimento do protótipo, bem como apresenta o detalhamento deste desenvolvimento, tanto do hardware quanto do *software* empregado no dispositivo, além de apresentar os procedimentos adotados no desenvolvimento do dashboard destinado a centralizar as informações levantadas pelo dispositivo.

### 6.5.1. Elaboração da Placa de Circuito Impresso

O circuito eletrônico do dispositivo foi elaborado com base nos requisitos levantados na etapa de análise de requisitos do projeto (Seção 6.2 deste trabalho). Posteriormente, o circuito foi detalhado eletricamente, utilizando o *software* Kicad, conforme descrito na seção 6.3.

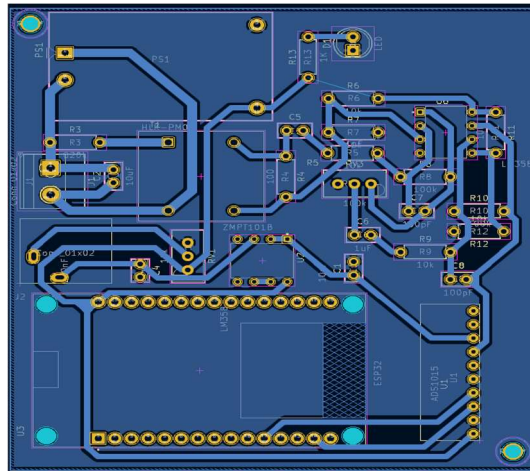
Para o dispositivo, foram criados basicamente cinco blocos de circuitos, a saber: Alimentação, Medição de tensão, medição de corrente, adequação de sinais e controle e comunicação.

Os circuitos descritos foram integrados, de modo ocuparem apenas uma placa de circuito impresso, contendo todas as interconexões entre os mesmos e proporcionando a funcionalidade integrada de todos os componentes.

Nesta etapa, denominada elaboração do PCB (*Printed Circuit Board*), os circuitos elaborados anteriormente no Kicad foram interligados um a um através de trilhas que proporcionam o caminho para sinais elétricos e comunicação entre os componentes. Após a interconexão dos componentes, é possível observar os caminhos das trilhas elétricas, bem como o posicionamento de cada componente eletrônico na placa, conforme mostra a Figura 24.



Figura 24 - Representação do PCB o dispositivo

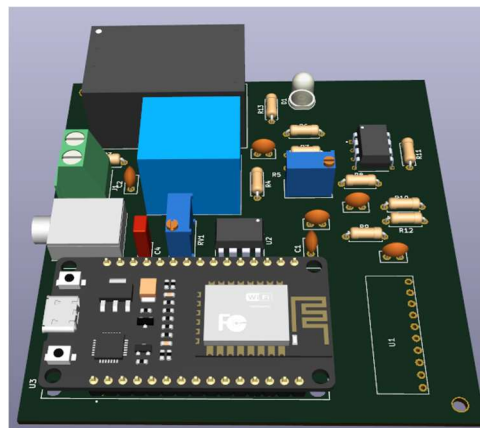


Fonte: Autor (2023)

A montagem final proporcionou uma placa de circuito impresso de 80mm de largura e 85mm de altura. Cabe destacar ainda que foi adotado um sistema de confecção baseado no estabelecimento de plano de terra, que visa conectar todos os pontos referentes ao GND dos componentes a uma única malha maior na placa. Esta técnica além de otimizar a confecção do circuito, reduzindo significativamente o número de trilhas na placa, traz também um grande ponto positivo pois quando a parte de maior massa do circuito fica conectada ao GND, esta malha proporciona uma proteção maior ao circuito contra interferências eletromagnéticas.

Após a confecção das trilhas, um modelo 3D foi extraído do Kicad, onde foi possível fazer eventuais ajustes finos no posicionamento dos componentes para que o circuito ficasse otimizado. A Figura 25 mostra este modelo e uma prévia de como ficaria a placa depois de confeccionada.

Figura 25 - Modelo 3D do PCB



Fonte: Autor (2023)

Finalizado o projeto do circuito e ajustes nos componentes, foi exportado o arquivo contendo todos os parâmetros para efetivamente criar o circuito impresso.

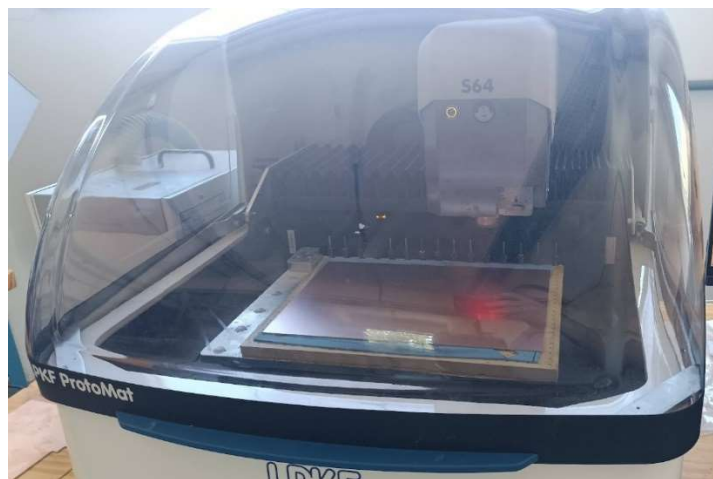
Nesta etapa, para a produção efetiva do protótipo de placa, foi utilizado a estrutura disponível no Polo de Inovação Campos dos Goytacazes (PICG), através da Prototipadora ProtoMat S64, do fabricante LPKF. O processo de fabricação pode ser observado nas Figuras 26, 27 e 28.

Figura 26 - LPKF ProtoMat S64



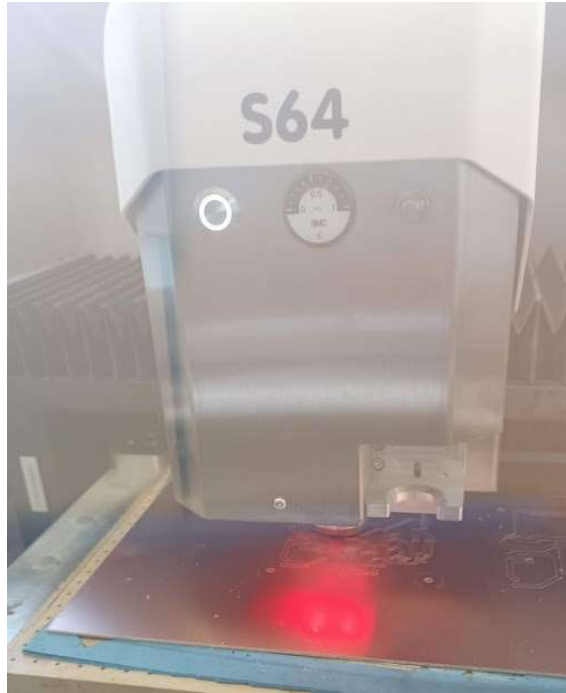
Fonte: Autor (2023)

Figura 27 - Processo de fabricação da PCB



Fonte: Autor (2023)

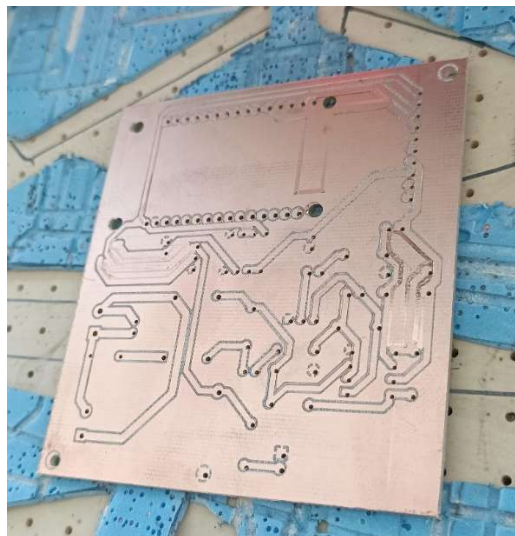
Figura 28 - Destaque do processo de usinagem da PCB



Fonte: Autor (2023)

Com o circuito usinado (Figura 29), foi realizada primeiramente uma inspeção visual, seguido de testes de continuidade nas trilhas, para garantir o bom funcionamento do circuito. Após o teste ter sido satisfatório, uma camada protetora de resina foi aplicada para proteção das trilhas em relação à oxidação.

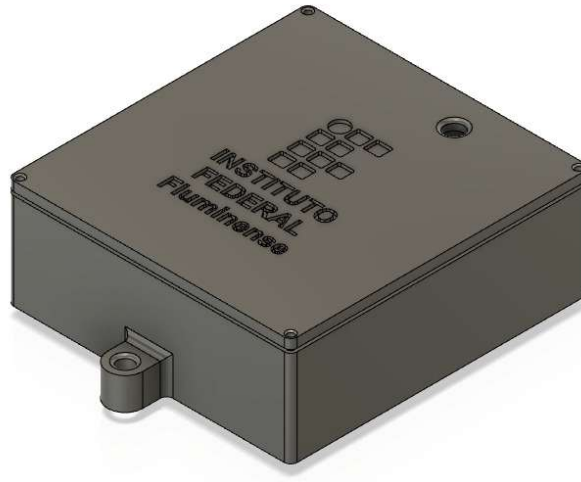
Figura 29 - Placa de circuito impresso usinada



Fonte: Autor (2023)



Figura 31 - Modelagem 3D do invólucro do dispositivo



Fonte: Autor (2023)

Em posse do modelo 3D, os arquivos de impressão foram gerados e foi utilizada a impressora 3D GTMax Core H5, disponível no Polo de Inovação Campos dos Goytacazes (PICG) (Figura 32).

Figura 32 - Impressora 3D GTMax Core H5



Fonte: Autor (2023)

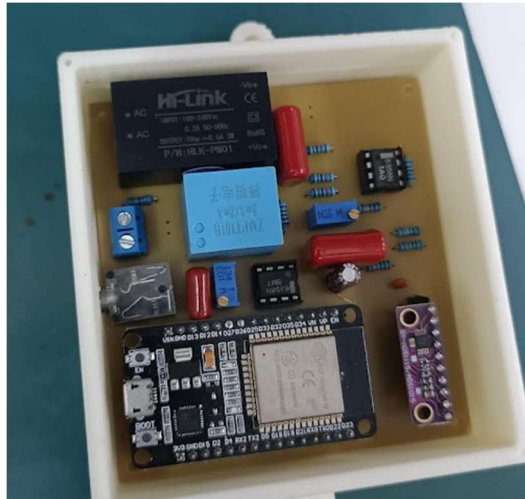
O resultado final, bem como a montagem da placa de circuito impresso no invólucro podem ser observados respectivamente nas Figuras 33 e 34.

Figura 33 - Invólucro do dispositivo finalizado



Fonte: Autor (2023)

Figura 34 - Montagem da PCB no invólucro



Fonte: Autor (2023)

### 6.5.3. Desenvolvimento do Software (Códigos)

Os sinais coletados nos sensores de tensão e corrente serão processados no microcontrolador ESP32. Para possibilitar este processamento, foi embarcado no microcontrolador uma programação baseada na linguagem C++. Para implementação e testes iniciais, foram utilizadas as plataformas de programação Arduino IDE e VSCode, ambos com bibliotecas ajustadas para programar o ESP32.

Para interpretação dos sinais de tensão e corrente, optou-se por não utilizar nenhuma biblioteca pronta, com o intuito de otimizar o processamento e o tornar mais eficaz. Conforme elencado anteriormente, tanto o sinal de tensão, quanto o de corrente devem refletir os valores RMS das grandezas, para isto, foi elaborada uma métrica de medições e testes para ajustar o código e ele refletir efetivamente valores RMS das grandezas.

### 6.5.3.1. Medição de tensão

Na etapa de medição de tensão o trecho do código é descrito na Figura 35.

Figura 35 - Código-fonte para medição de tensão

```
float LeTensao() {
    const float offsetVAC = 822;
    const float coef_VAC = 1.701;

    int TEMP [2] = {0, 0};
    int PCMVal = 0;
    float RelVolt = 0;
    float Volt = 0;
    unsigned short Peak[2] = {0, 0};

    TEMP[0] = 0;
    TEMP[1] = 1024;
    Peak[0] = 0;
    Peak[1] = 0;

    for ( int i = 0; i < iterations; i++) {
        PCMVal = ads.readADC_SingleEnded(0);

        if ( TEMP[0] < PCMVal ){
            TEMP[0] = PCMVal;
        }
        if ( TEMP[1] > PCMVal ){
            TEMP[1] = PCMVal;
        }
    }

    RelVolt = ((TEMP[0] - offsetVAC) * coef_VAC);
    Volt = RelVolt / sqrt(2);

    return Volt;
}
```

Fonte: Autor (2023)

Basicamente o código opera uma sequência de leituras no sinal de tensão. Como adotamos a medição em corrente alternada, o perfil do sinal é senoidal. O algoritmo então cria uma sequência de amostras em pontos distintos da senoide, registrando os valores lidos em cada iteração. Estes valores fazem referência aos níveis de resolução do ADS, uma vez que o sinal analógico de tensão passa primeiramente pelo conversor A/D, para depois ser efetivamente, já em níveis lógicos, pelo controlador.

Através do registro destes níveis de sinal pelo algoritmo, é possível registrar os valores de pico e de vale do sinal de tensão, além de ser possível determinar também o nível lido pelo conversor A/D quando a senoide passa pelo ponto zero, ou seja, quando não há sinal de tensão elétrica. Os valores de pico e vale da senoide serão utilizados na determinação do valor eficaz da tensão e corrente. A relação de valor eficaz da senoide, em relação aos seus pontos mínimos e máximos pode ser determinada pela equação 3.

$$X_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N X_i^2} \quad \text{Ou} \quad X_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} \quad (3)$$

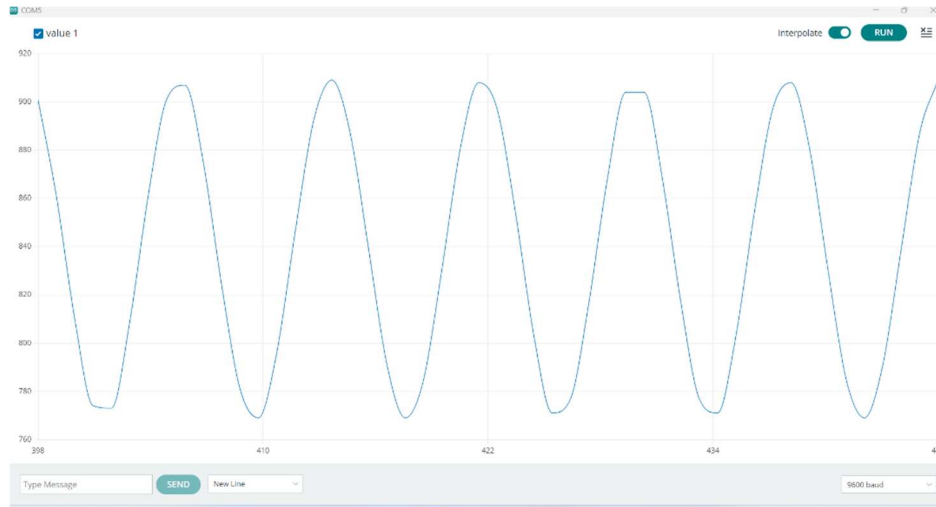
Neste algoritmo, duas grandezas foram ajustadas a partir dos testes realizados, como parte da calibração do mesmo. A primeira grandeza foi o “*offsetVAC*”, que representa o nível lógico apresentado no ponto zero da senoide, e a grandeza “*coef\_VAC*” que neste caso representa a operação matemática que fará a conversão do valor de nível lógico lido, em um valor de tensão elétrica efetivamente.

Para determinar o “*coef\_VAC*”, o dispositivo foi submetido a uma tensão alternada controlada de 127,5Vrms. Esta tensão foi obtida a partir de uma fonte de bancada e o valor de tensão foi verificado com um multímetro *True RMS*. Neste cenário de teste, o valor de tensão de pico positivo ( $V_p$ ) foi de 180,31V e a tensão de pico negativo de -180,31V. O próximo passo foi determinar o valor lógico lido pelo conversor A/C referentes a estes dois pontos e também o valor referente ao ponto zero da senoide.

A coleta destas informações foi possível através da leitura dos valores enviados pelo ADS ao microcontrolador, através do monitor serial da interface de programação. O sinal recebido pelo pode ser observado na Figura 36.



Figura 36 - Função senoidal gerada pelo sensor de tensão



Fonte: Autor (2023)

Através dos dados levantados, foi possível determinar então as seguintes grandezas, em nível lógico no conversor A/D:  $V_0 = 822$  ;  $V_p = 928$  e  $V_p(-) = 716$ . Em posse desses valores, foi elaborado uma tabela contendo amostras da leitura do sinal de tensão, valores já descontando o  $V_0$  e seus respectivos valores em tensão, conforme pode ser observado no Quadro 6.

Tabela 1 - Calibração do ADS para medição de tensão

Leitura A/D	Leitura A/D - 822 ( $V_0$ )	Valor Tensão
928	106	180,31
927	105	178,605
926	104	176,904
924	102	173,502
923	101	171,801
921	99	168,399
920	98	166,698
914	92	156,492
912	90	153,09
911	89	151,389
907	85	144,585
904	82	139,482
903	81	137,781
900	78	132,678
896	74	125,874

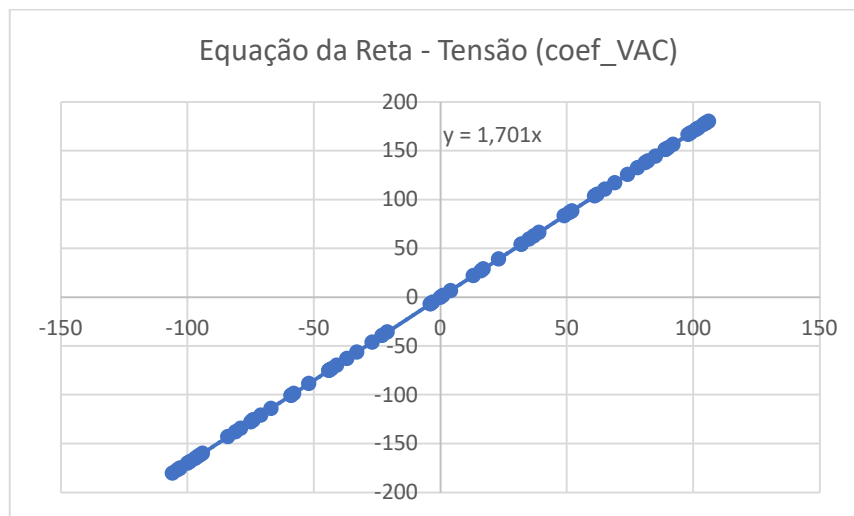
891	69	117,369
887	65	110,565
884	62	105,462
883	61	103,761
874	52	88,452
873	51	86,751
871	49	83,349
861	39	66,339
859	37	62,937
857	35	59,535
854	32	54,432
845	23	39,123
839	17	28,917
838	16	27,216
835	13	22,113
826	4	6,804
823	1	1,701
822	0	0
819	-3	-5,103
818	-4	-6,804
801	-21	-35,721
799	-23	-39,123
795	-27	-45,927
789	-33	-56,133
785	-37	-62,937
781	-41	-69,741
779	-43	-73,143
778	-44	-74,844
770	-52	-88,452
764	-58	-98,658
763	-59	-100,359
755	-67	-113,967
751	-71	-120,771
748	-74	-125,874
747	-75	-127,575
743	-79	-134,379
741	-81	-137,781
738	-84	-142,884
728	-94	-159,894

727	-95	-161,595
726	-96	-163,296
725	-97	-164,997
723	-99	-168,399
722	-100	-170,1
719	-103	-175,203
718	-104	-176,904
716	-106	-180,31

Fonte: Autor (2023)

A partir dos dados amostrados, foi possível elaborar a equação da reta formada nestes pontos, tornando possível deste modo, a determinação de equivalência de qualquer valor lido no conversor A/D para seu respectivo valor em tensão elétrica, como demonstrado no Gráfico 4.

Gráfico 4 - Definição do coef\_VAC



Fonte: Autor (2023)

Deste modo, foi possível determinar o valor de calibração para o sensor de tensão. O coef\_VAC = 1,701 foi implementado no código.

Após implementação dos valores encontrados, o algoritmo agora é capaz de excursionar a senoide completa com todas as amostras lidas no conversor A/C e transformá-la na senoide que representa a tensão lida, porém este ainda não é o valor RMS da tensão lida.

Para realizar esta conversão, há ainda uma outra fase no código, onde efetivamente será capturado o valor máximo da senoide, em valores de tensão e este valor máximo será dividido por  $\sqrt{2}$ , que resultará então no valor RMS da tensão lida pelo sensor.

### 6.5.3.2. Medição de Corrente

Para a medição da corrente elétrica optou-se também pela não utilização de bibliotecas prontas, a fim de garantir maior autonomia e velocidade ao código. O trecho responsável pelo processamento deste sinal é descrito na Figura 37.

Figura 37 - Código-fonte para medição de corrente

```
float LeCorrente() {
    const float offsetA = 829;
    const float coef_A = 0.272;

    int TEMP [2] = {0, 0};
    int PCMVal2 = 0;
    float RelVolt2 = 0;
    float Corrente = 0;
    unsigned short Peak[2] = {0, 0};

    TEMP[0] = 0;
    TEMP[1] = 1024;
    Peak[0] = 0;
    Peak[1] = 0;

    for ( int i = 0; i < iterations; i++) {
        PCMVal2 = ads.readADC_SingleEnded(1);

        if ( TEMP[0] < PCMVal2 ){
            TEMP[0] = PCMVal2;
        }
        if ( TEMP[1] > PCMVal2 ){
            TEMP[1] = PCMVal2;
        }
    }

    RelVolt2 = ((TEMP[0] - offsetA) * coef_A);
    Corrente = RelVolt2 / sqrt(2);

    return Corrente;
}
```

Fonte: Autor (2023)

Na calibração e determinação de valores de referência para o sensor de corrente, foi adotada a mesma metodologia de coleta de amostras e montagem de gráficos e equação de reta descritos na etapa do sensor de tensão, porém neste caso, foi adotada no teste uma corrente de 10A, fornecida por uma fonte de tensão de 220 V, alimentando uma carga de 22  $\Omega$ , que gerou uma  $I_p = 14,144A$ . Para comprovação do valor eficaz alcançado nesta montagem, foi utilizado

o alicate amperímetro modelo CEM – DT3353. No caso da medição de corrente, os valores lidos no conversor A/D são:  $I_0 = 829$ ;  $I_p = 881$  e  $I_p (-) = 777$ . As análises da equivalência de valores, bem como a equação da reta determinada podem ser observados respectivamente no Quadro 7 e no Gráfico 5.

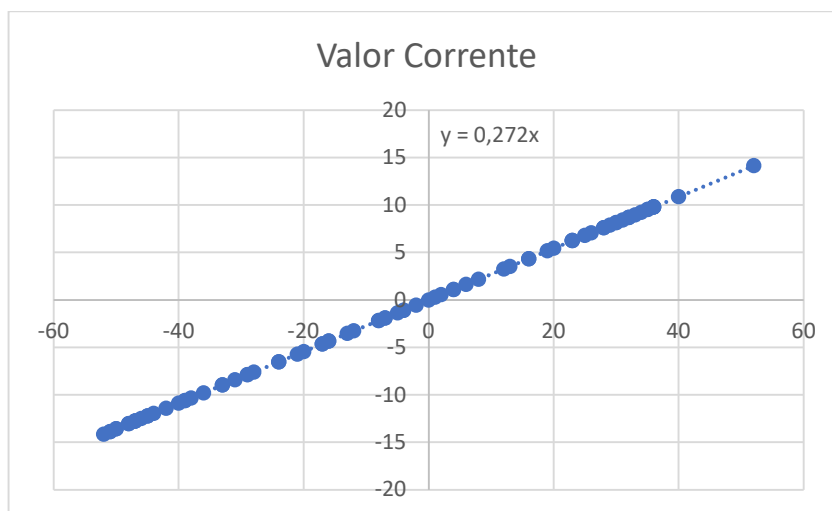
Tabela 2 -Calibração do ADS para medição de corrente

Leitura A/D	Leitura A/D - 829 ( $I_0$ )	Valor Corrente
881	52	14,144
869	40	10,88
865	36	9,792
864	35	9,52
863	34	9,248
862	33	8,976
861	32	8,704
860	31	8,432
859	30	8,16
858	29	7,888
857	28	7,616
855	26	7,072
854	25	6,8
852	23	6,256
849	20	5,44
848	19	5,168
845	16	4,352
842	13	3,536
841	12	3,264
837	8	2,176
835	6	1,632
833	4	1,088
831	2	0,544
830	1	0,272
829	0	0
827	-2	-0,544
825	-4	-1,088
824	-5	-1,36
822	-7	-1,904
821	-8	-2,176

817	-12	-3,264
816	-13	-3,536
813	-16	-4,352
812	-17	-4,624
809	-20	-5,44
808	-21	-5,712
805	-24	-6,528
801	-28	-7,616
800	-29	-7,888
798	-31	-8,432
796	-33	-8,976
793	-36	-9,792
791	-38	-10,336
790	-39	-10,608
789	-40	-10,88
787	-42	-11,424
785	-44	-11,968
784	-45	-12,24
783	-46	-12,512
782	-47	-12,784
781	-48	-13,056
779	-50	-13,6
778	-51	-13,872
777	-52	-14,144

Fonte: Autor (2023)

Gráfico 5 - Definição do coef\_A



Fonte: Autor (2023)

Após a determinação da equação da reta equivalente, o valor do “Coef\_A” no código foi definido em 0,272 e, com isso, foi possível determinar quaisquer valores lidos pelo sensor e transmitidos pelo conversor A/D ao microcontrolador, em sinais equivalentes de tensão.

Do mesmo modo que ocorreu com o sensor de tensão, a partir da calibração do sensor de corrente, foi possível excursionar o sinal senoidal equivalente da corrente elétrica e, após determinar qual o valor de pico da mesma, foi possível determinar seu valor RMS através da divisão deste valor por  $\sqrt{2}$ .

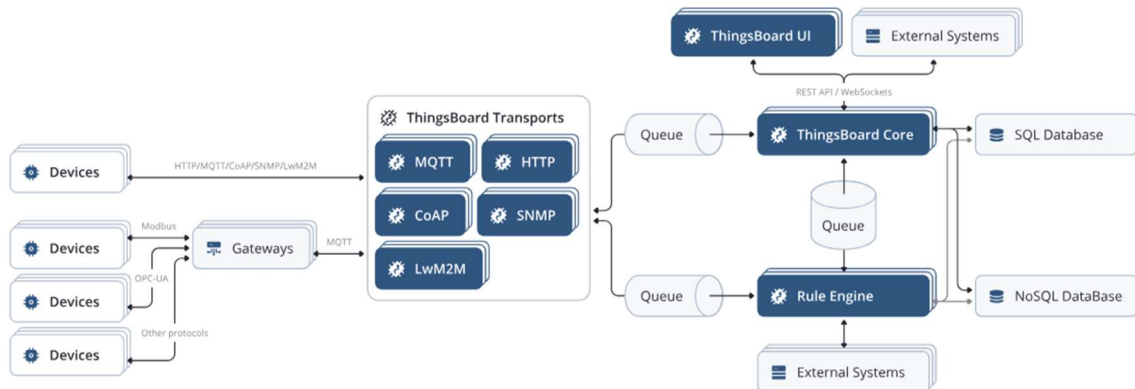
### 6.5.3.3. Dashboard

Para apresentar os dados adquiridos pelo hardware em uma interface simples e amigável, foi adotado a plataforma Thingsboard. Esta plataforma possibilita o desenvolvimento de diversas aplicações em IoT. Com ela é possível ter acesso a recursos gráficos e simplificados de modelagem de dashboard, possibilitando o aluguel de um servidor em nuvem para armazenamento dos dados ou a utilização de um servidor local para aplicações.

Neste projeto, a plataforma foi escolhida pela simplicidade, por possuir código aberto e por já existir um servidor do Polo de Inovação, que foi disponibilizado para utilização neste projeto.

Existem diversos protocolos suportados pela plataforma, para conectividade e integração entre os dispositivos IoT, entre os quais o MQTT, que foi escolhido para este projeto. A topologia de conexão e comunicação do Thingsboard pode ser visualizada na Figura 38.

Figura 38 - Fluxograma de integração do Thingsboard



Fonte: Thingsboard (2023)

## 6.6. Testes Unitários

De acordo com a Metodologia V, adotada para a realização da montagem do presente projeto, nesta etapa serão apresentados testes individuais em cada sistema que compõem o dispositivo para verificar se individualmente cada componente atenderá os requisitos levantados como necessidades ao projeto.

A fim de criar uma métrica para a realização dos testes, será elaborado os testes de cada sistema, contendo os procedimentos e materiais adotados, bem como serão apresentados os critérios de aceitação para cada teste. Ao fim será verificado se os componentes atenderam aos critérios de aceitação para finalmente receberem a avaliação final.

Para a realização de todos os testes, alguns equipamentos serão de uso comum, sendo eles:

- Protoboard de 830 pontos;
- Jumpers e conexões;
- Fonte alimentação trifásica ajustável AC/DC do fabricante De Lorenzo (Figura 39);



Figura 39 - Fonte de bancada De Lorenzo utilizada nos testes



Fonte: Autor (2023)

- Banco de cargas resistivas do fabricante De Lorenzo (Figura 40);

Figura 40 - Cargas resistivas De Lorenzo utilizadas nos testes



Fonte: Autor (2023)

- Multímetro / Alicates amperímetro modelo DT-3353 True RMS (Figura 41);

Figura 41 - Multímetro / Alicates amperímetro DT-3353



Fonte: Autor (2023)

### 6.6.1. Teste do módulo de Comunicação e Controle

Neste teste, o ESP32 foi programado apenas com o código básico para conexão à rede Wi-Fi, para determinar se a conexão ocorreria de forma satisfatória (Figura 42).

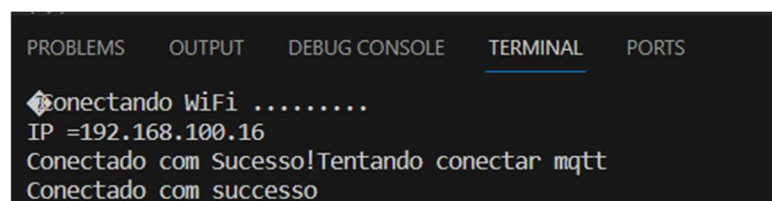
Figura 42 - Código-fonte para conexão Wifi

```
145 void initWifi() {
146     WiFi.mode(WIFI_STA);
147     WiFi.begin(WIFI_USER, WIFI_PASSWORD);
148     Serial.print("Conectando WiFi ..");
149     while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
150         Serial.print('.');
151         delay(1000);
152     }
153     Serial.printf("\nIP =");
154     Serial.println(WiFi.localIP());
155     if(WiFi.status() == WL_CONNECTED){
156         Serial.print("Conectado com Sucesso!");
157     }
158 }
159
```

Fonte: Autor (2023)

Após o envio do código ao microcontrolador, o monitor serial do IDE do Arduino foi lido, aguardando o feedback de conexão. Conforme pode ser observado na Figura 43, a conexão ocorreu com sucesso.

Figura 43 - Resposta à conexão Wifi

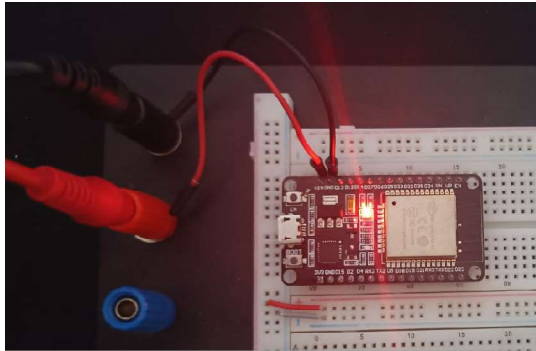


```
PROBLEMS OUTPUT DEBUG CONSOLE TERMINAL PORTS
Conectando WiFi .....
IP =192.168.100.16
Conectado com Sucesso!Tentando conectar mqtt
Conectado com sucesso
```

Fonte: Autor (2023)

Além do teste de conexão, o ESP-32 foi alimentado com uma tensão de 5V através do pino Vin a fim de verificar seu funcionamento. Conforme pode ser observado na Figura 44, a alimentação do dispositivo também foi bem sucedida e, portanto, o teste unitário deste dispositivo foi considerado aceito.

Figura 44 - Teste de alimentação do ESP32

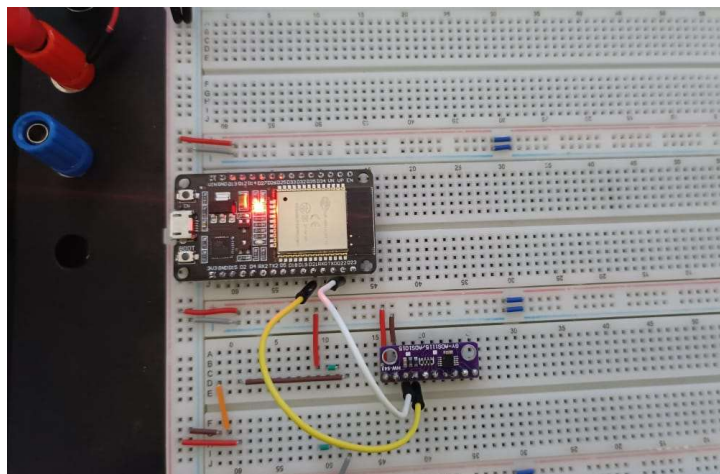


Fonte: Autor (2023)

### 6.6.2. Teste do conversor A/D (ADS1015)

Para a realização do teste com o ADS1015, o mesmo foi inserido na protoboard e conectado ao ESP32 (Figura 45). Foi feito o upload do código para aquisição dos valores lidos pelo ADS1015.

Figura 45 - Conexão do ESP32 ao ADS1015



Fonte: Autor (2023)

A fonte de bancada foi configurada com valores de 0V a 4V, os valores de tensão foram lidos no monitor serial através do algoritmo e confrontados com os valores lidos diretamente nos canais do ADS através do multímetro. O Quadro 8 apresenta os valores alcançados na medição.

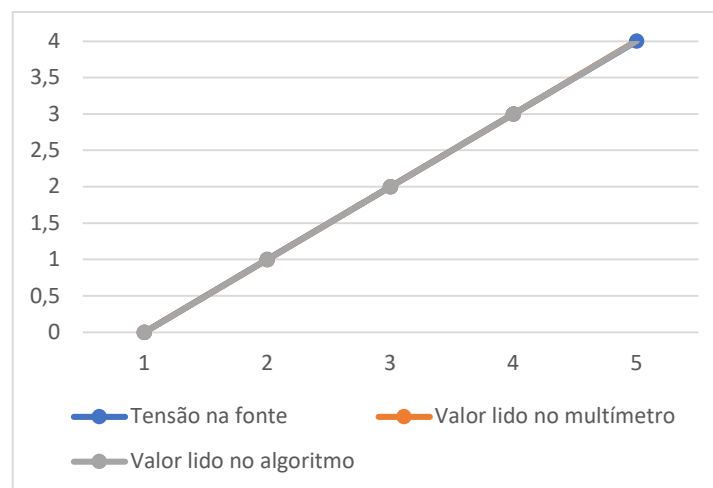
Tabela 3 - Teste de tensão no ADS

Tensão na fonte	Valor lido no multímetro	Valor lido no algoritmo
0	0	0
1	0,998	0,996
2	1,999	2,001
3	2,998	2,997
4	4,010	4,005

Fonte: Autor (2023)

A partir dos dados levantados, foi possível montar um gráfico de dispersão para verificação do erro entre as medições do multímetro e do código (Gráfico 6).

Gráfico 6 - Dispersão entre valores medidos e lidos no ADS



Fonte: Autor (2023)

O critério de aceitação deste teste foi definido como sendo o limite máximo de 0,5% de erro entre as leituras requisitadas. A partir dos dados levantados, foi alcançado um erro máximo de 0,12%, o que classificou o teste como positivo, demonstrando que o código de aquisição e o ADS estão ajustados adequadamente.

### 6.6.3. Teste da fonte de alimentação.

A fonte de alimentação escolhida para este projeto (HLK-PM01) possui uma faixa de operação entre 100V e 240V em corrente alternada, tendo sua saída fixa em 5 Vcc em toda faixa de operação. Para realização deste teste, foi utilizada a fonte de bancada, sendo regulados os valores de tensão alternada com acréscimo de 10V por etapa. A cada acréscimo de tensão de

entrada, o valor de tensão de saída foi monitorado com o auxílio do multímetro e, como critério de aceitação para este teste, foi definido que a tensão de saída teria que manter a tensão nominal de 5 Vcc, para não comprometer o funcionamento do circuito. Os dados levantados neste teste podem ser observados no Quadro 9.

Tabela 4 - Teste do módulo de alimentação

Tensão de alimentação (Vca)	Tensão de saída (Vcc)
100	5
110	5
120	5
130	5
140	5
150	5
160	5
170	5
180	5
190	5
200	5
210	5
220	5
230	5
240	5

Fonte: Autor (2023)

Como o dispositivo será ligado diretamente nas fases de medição em corrente alternada, verificar a faixa de operação da fonte de alimentação se torna imprescindível para o perfeito funcionamento do circuito, uma vez que ela estará sujeita a grandes variações em níveis de tensão durante seu funcionamento, em casos de falha de geração ou de algum surto na rede elétrica.

Após o teste de tensão de alimentação informado pelo fabricante da fonte ser finalizado, verificou-se também qual o valor mínimo de tensão de entrada na fonte em que a mesma começa a fornecer sua tensão nominal de saída. Para este teste, a tensão na fonte de bancada foi elevada gradualmente a partir de 0V e os terminais de saída da fonte de alimentação foram testados com o multímetro, até que o valor de 5Vcc fosse alcançado. Neste teste, a mínima tensão de trabalho para a fonte foi de 80 volts.

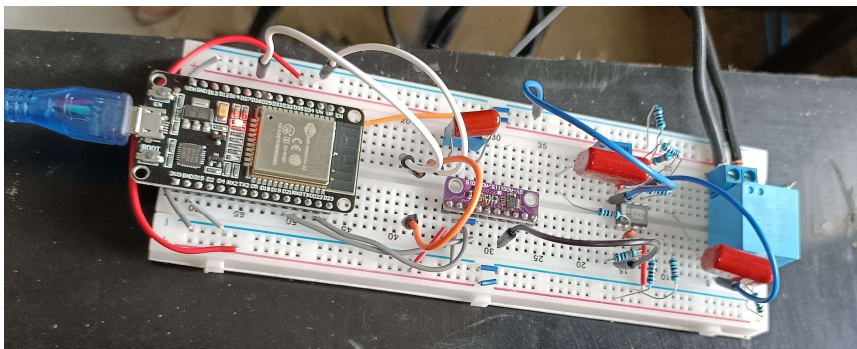
Além do teste de tensão de saída na fonte, outro fator importante sobre a alimentação que foi levado em consideração, foi sua capacidade de fornecer a corrente elétrica que será demandada pelo circuito. Para realizar este teste, o circuito completo foi montado na protoboard e a fonte foi conectada ao mesmo. Neste teste a fonte foi capaz de acionar o circuito, fornecendo uma corrente de 100mA, bem abaixo do limite máximo de 600mA, que a fonte é capaz de fornecer, segundo seu datasheet.

Deste modo, com base nos valores alcançados nos testes, a fonte de alimentação foi aprovada para utilização no dispositivo.

#### 6.6.4. Teste Medição de Tensão

Para realização do teste unitário no módulo de medição de tensão, o circuito elétrico do mesmo foi montado na Protoboard, como ilustra a Figura 46.

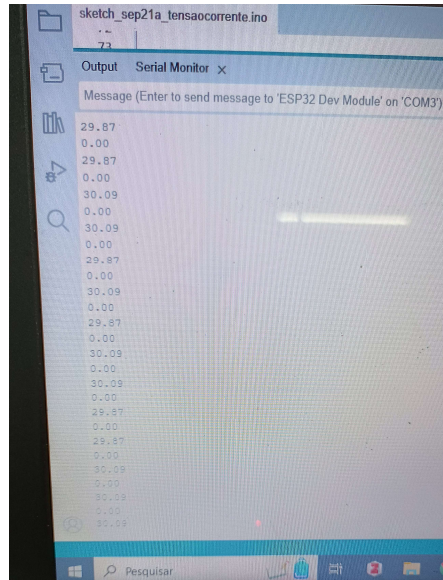
Figura 46 - Montagem do módulo de medição de tensão na protoboard



Fonte: Autor (2023)

Após o código ser carregado no ESP32, a fonte de bancada foi conectada ao circuito em teste e o valor de tensão ajustada foi sofrendo um acréscimo linear de 30V por etapa, partindo de 0 Vca. Enquanto a fonte sofria o ajuste, sua saída era monitorada pelo multímetro e os valores lidos pelo código eram apresentados no monitor serial do ambiente de programação (Figura 47).

Figura 47 - Leituras de tensão no monitor serial



Fonte: Autor (2023)

Durante a realização dos testes, os níveis de tensão lidos obtidos podem ser observados no Quadro 10.

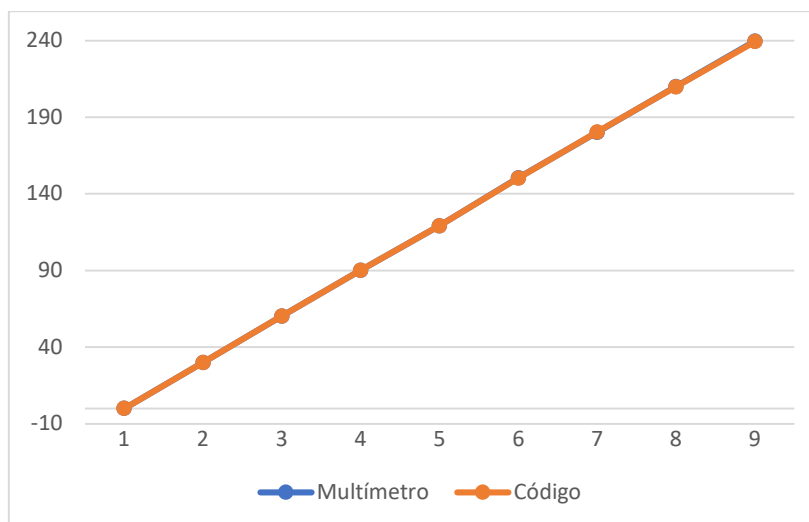
Tabela 5 - Comparativo entre valores de tensão lidos no multímetro e no código

Fonte de bancada	Multímetro	Código
0	0	0
30	30	30,07
60	60,2	60,34
90	90,1	90,21
120	119,2	119,08
150	150,5	150,35
180	180,2	180,42
210	210	209,8
240	239,8	239,4

Fonte: Autor (2023)

A partir dos dados amostrados foi possível realizar a comparação dos mesmos e apresentá-los no Gráfico 7.

Gráfico 7 - Comparativo entre valores de tensão lidos



Fonte: Autor (2023)

Com base no teste realizado, as medições em algumas faixas de tensão apresentaram um erro máximo de 0,12%, considerado dentro do limite para a aceitação do referido teste.

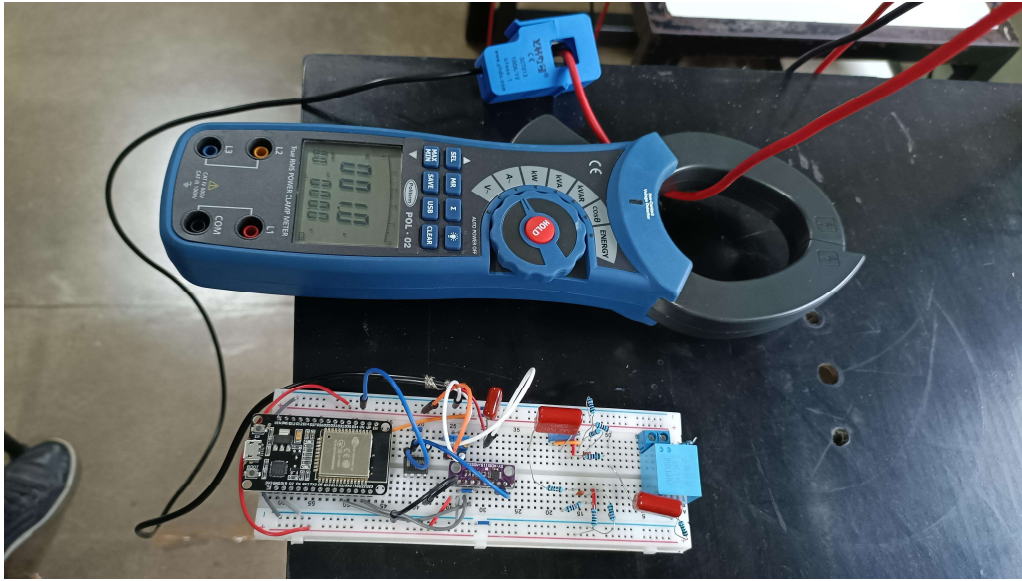
#### 6.6.5. Teste Medição de Corrente

Assim como realizado no teste de medição de tensão, o circuito equivalente ao módulo de medição de corrente foi montado na protoboard com o intuito de testar sua funcionalidade. Na condução deste teste, o sensor de corrente foi colocado ao redor do cabo que conectava a fonte de bancada ao banco de cargas. Através do acréscimo da tensão fornecida pela fonte de bancada, foi possível estabelecer uma circulação de corrente alternada, que alimentou o banco de cargas.

Para comparar os valores lidos pelo código com os valores de corrente reais que fluíam pelo circuito, foi instalado, também no condutor que alimentava a carga, o alicate amperímetro *True RMS* se servirá como referência para o teste. A montagem de todo o circuito de testes e comprovação pode ser observado na Figura 48.



Figura 48 - Montagem em protoboard para medição de corrente



Fonte: Autor (2023)

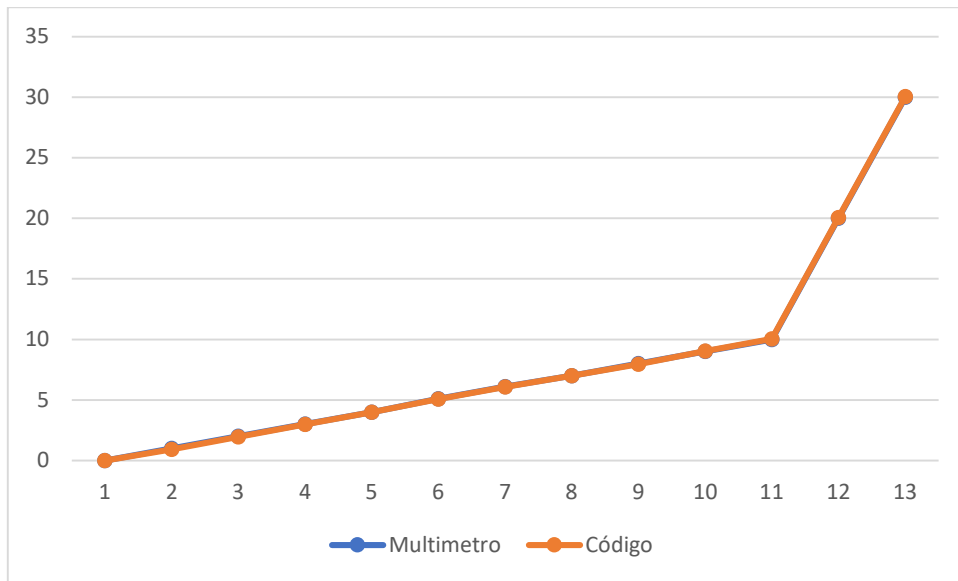
O teste foi realizado em uma corrente máxima de operação de 30A, iniciando com um acréscimo unitário até atingir 10A. Os dados obtidos no teste podem ser observados no Quadro 11 e no Gráfico 8.

Tabela 6 - Leituras de corrente no multímetro x código

Multímetro (A)	Código (A)
0	0
1	0,93
2	1,96
3	2,98
4	3,99
5,1	5,08
6,1	6,07
7	7
8	7,96
9	9,03
10	10,03
20	20,07
30	30,06

Fonte: Autor (2023)

Gráfico 8 - Comparativo entre valores de corrente lidos pelo código e pelo multímetro



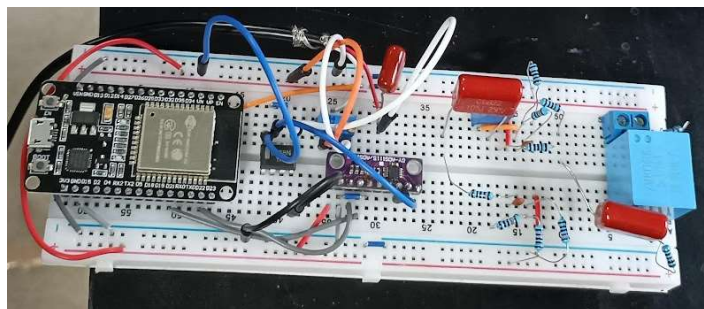
Fonte: Autor (2023)

Com base nos dados adquiridos, o teste foi aprovado, uma vez que o código apresentou leituras com erros menores que 0,01%.

## 6.7. Testes de Integração

Nesta etapa de testes, os subsistemas que, até então, haviam sido testados de forma individualizada, foram integrados numa mesma protoboard e interligados entre si. Nesta etapa, o dispositivo em teste foi conectado à fonte de bancada através dos terminais de leitura de tensão e a corrente simulada no circuito foi monitorada pelo sensor de corrente. A montagem completa para este teste pode ser observada na Figura 49.

Figura 49 - Integração dos subsistemas na protoboard

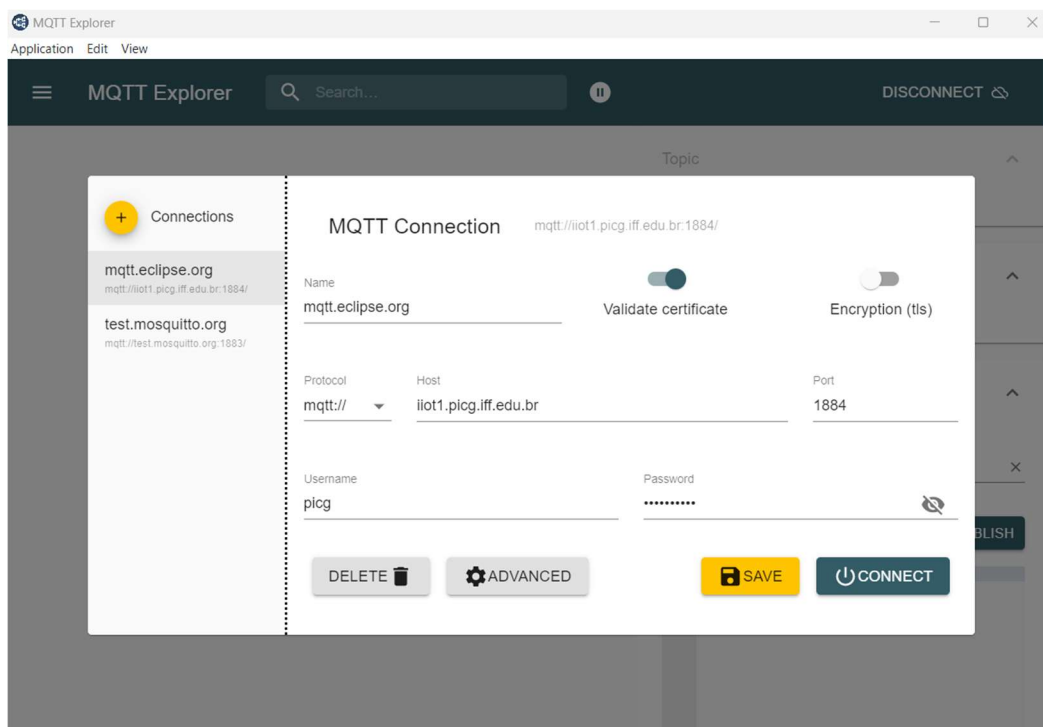


Fonte: Autor (2023)

Os dados adquiridos pelos sensores de corrente e tensão passam pela etapa de amplificação e o microcontrolador faz o envio dos dados lidos ao servidor, através do protocolo MQTT. Neste teste, ao invés dos dados serão apresentados localmente através do monitor serial da interface de programação, tais dados serão lidos através de um software capaz de receber e enviar mensagens e informações através do protocolo MQTT. Deste modo, os dados adquiridos podem ser visualizados de forma remota.

Para realização desta leitura, foi adotado o software *MQTT Explorer* (Figura 50), que possibilita a leitura em tempo real dos dados enviados pelo microcontrolador

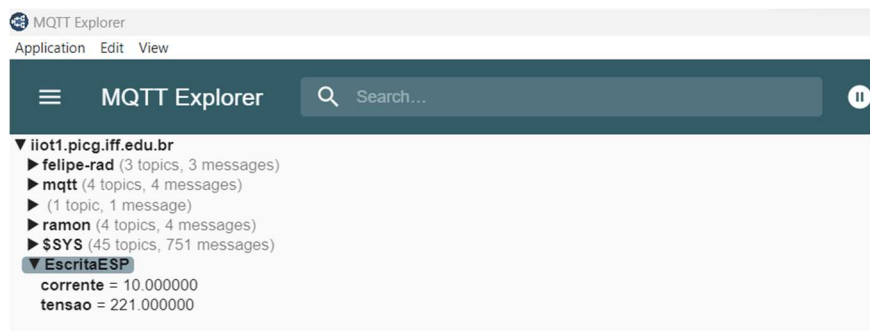
Figura 50 - Configuração inicial do MQTT Explorer



Fonte: Autor (2023)

Como pode ser observado na Figura 51, os dados lidos pelos sensores de tensão e corrente foram apresentados em tempo real na interface do *MQTT Explorer*. Tal constatação demonstra que o teste de integração foi bem sucedido e todos os componentes até aqui especificados e testados, são capazes de trabalhar de forma integrada, sem apresentar erros e atendendo aos requisitos do projeto.

Figura 51 - Leitura de dados enviados no MQTT Explorer



Fonte: Autor (2023)

## 6.8. Testes de Sistema e de Aceitação

Por fim, foram realizados testes no sistema completamente montado e instalado, bem como testes que comprovem o atendimento aos requisitos do projeto levantados na etapa de especificação do projeto. Nesta etapa, o circuito já finalizado e montado no invólucro foi montado em uma instalação real de uma Usina Solar Fotovoltaica.

Para este teste, foram produzidas duas unidades do dispositivo de gestão de consumo e o mesmos forma instalados em um quadro de distribuição de cargas (QDCA) (Figura 52), localizado no Polo de Inovação Em Campos dos Goytacazes. Este quadro recebe a energia gerada por 4 sistemas de geração, sendo cada um composto por 20 módulos de 255Wp (Watt-pico), totalizando um potencial de geração de 5kWp. Cada sistema é gerenciado por um inversor Fronius modelo Primo 5.0.1, conforme demonstrado na Figura 53.

Figura 52 - QDCA Polo de Inovação



Fonte: Autor (2023)

Figura 53 - Inversores Fronius Polo de Inovação



Fonte: Autor (2023)

Para realização do teste, os dispositivos foram conectados aos inversores 1 e 4 respectivamente, para acompanhar o desempenho da geração nestes sistemas. Na montagem, a amostra de tensão foi aquiritada diretamente na saída dos inversores, logo antes de passarem pelo disjuntor de proteção, deste modo, será considerada a energia liquida produzida, sem que haja qualquer tipo de perdas ocasionadas pela instalação.

Para a determinação da corrente fornecida pelo sistema de geração, o transformador de corrente não invasivo foi conectado a uma das fases dos respectivos sistemas. O detalhe da instalação dos dispositivos pode ser observado nas Figuras 54 e 55 respectivamente.

Figura 54 - Montagem do dispositivo no sistema do inversor 1



Fonte: Autor (2023)

Figura 55 - Montagem do dispositivo no inversor 4



Fonte: Autor (2023)

Logo após a instalação dos dispositivos, os dados começaram a ser enviados ao dashboard demonstrando o perfeito funcionamento dos mesmos, como pode ser observado na Figura 56.

Figura 56 - Transmissão de dados ao dashboard

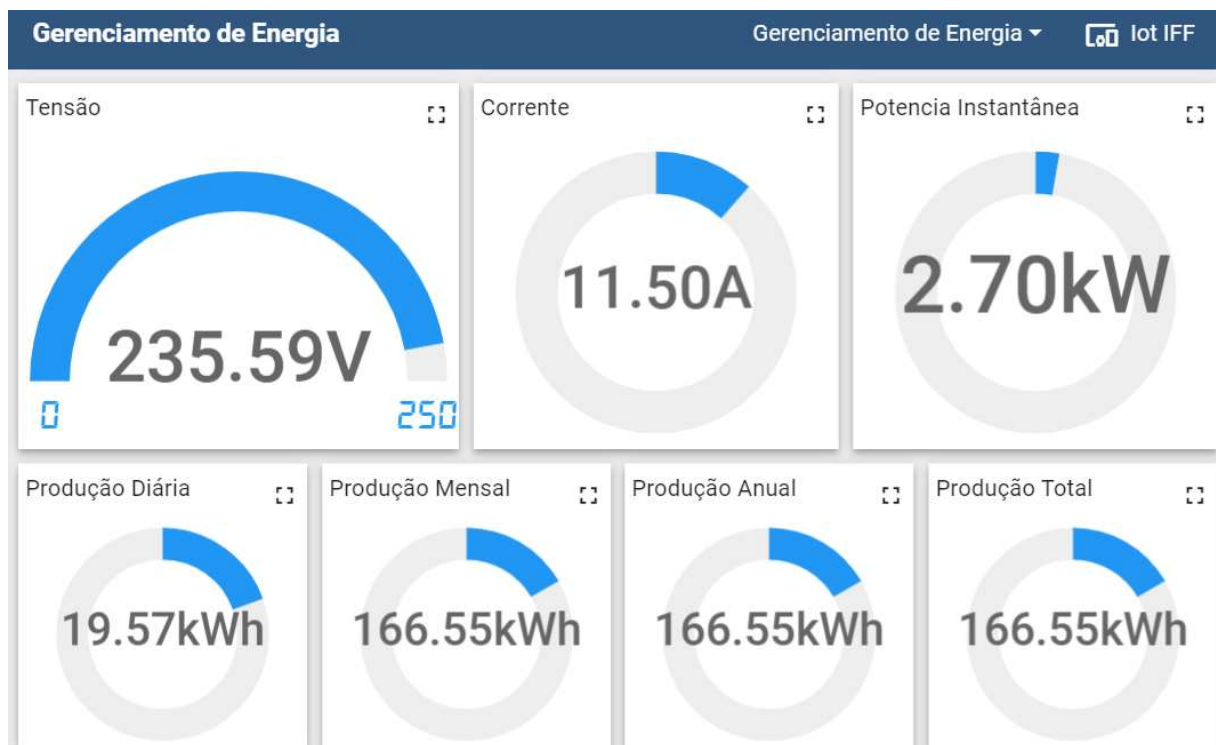
Horário da última atualização Chave ↑	Corrente	Potencia	PotenciaAnual	PotenciaDiaria	Tensao
2023-11-24 09:50:41	7.336500168	1.685594916	0.204749867	0.204749867	
2023-11-24 09:50:41			0.015441637	0.015441637	
2023-11-24 09:50:41			0.015441637	0.015441637	
2023-11-24 09:50:41			0.015441637		
2023-11-24 09:50:41			0.015441637		
2023-11-24 09:50:41			0.015441637		
2023-11-24 09:50:41			0.015441637		
2023-11-24 09:50:41			0.015441637		
2023-11-24 09:50:41			0.015441637		

Fonte: Autor (2023)

Com os dados recebidos na plataforma, uma interface foi elaborada para que a visualização e acompanhamento da geração pudesse ser realizada de forma intuitiva e simples. Os dispositivos adquirem os sinais de corrente e tensão nos sistemas de geração, e o código inserido no microcontrolador condiciona estes sinais e calcula, a partir deles, a potência instantânea produzida, a energia produzida diariamente, mensalmente e anualmente. Os detalhes do código associado ao microcontrolador podem ser observados no Apêndice 1.

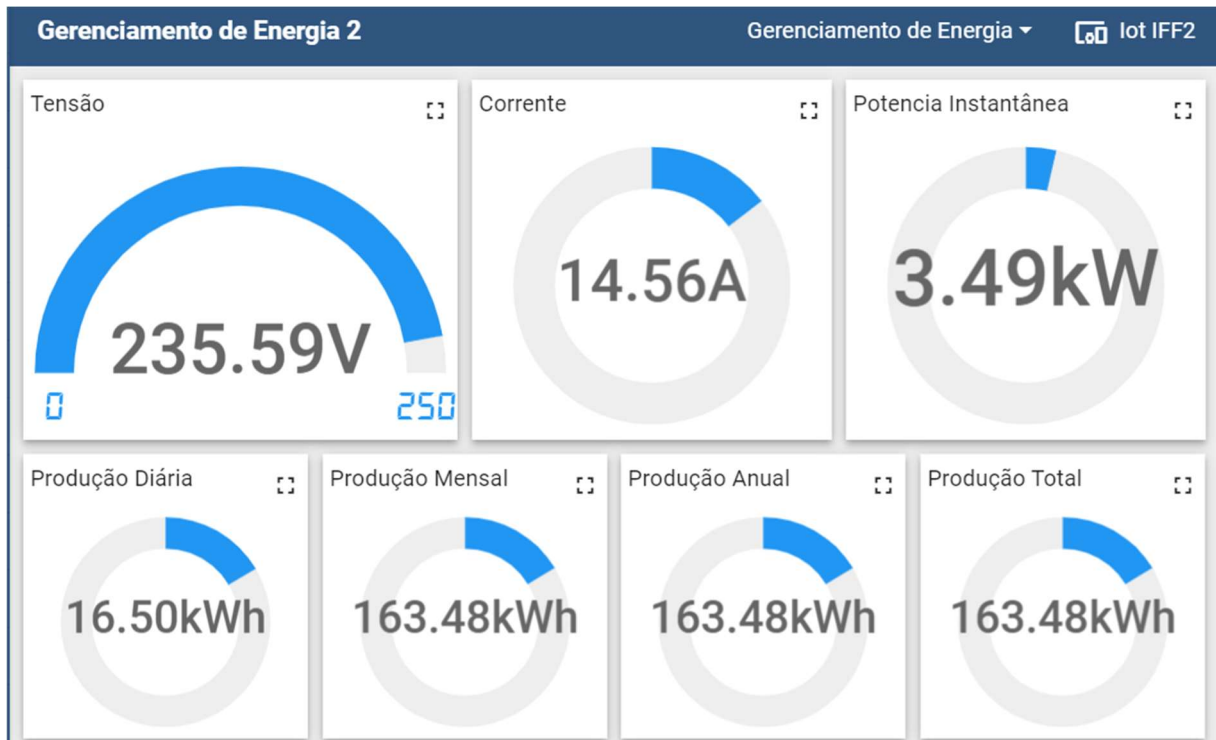
Após a determinação destes parâmetros, os mesmos são enviados ao dashboard através do protocolo MQTT e a partir deles, foi possível realizar a preparação da interface gráfica (Figuras 57 e 58).

Figura 57 - Dashboard do dispositivo 1



Fonte: Autor (2023)

Figura 58 - Dashboard do dispositivo 2



Fonte: Autor (2023)

O acompanhamento dos dados de geração podem ser acompanhados em tempo real ou podem ser acessados em intervalos pre estabelecidos (Figura 59).

Figura 59 - Seleção do período de consulta de dados

The interface shows the following configuration options:

- Tempo real** / **Histórico** (selected)
- Última**
  - Última
  - 1 minute
  - Avançado
- Período de tempo**
- Interval**
- Função de agregação de dados: Média
- Intervalo de agrupamento: 1 second (Avançado)
- Fuso horário: Browser Time (UTC-03:00)

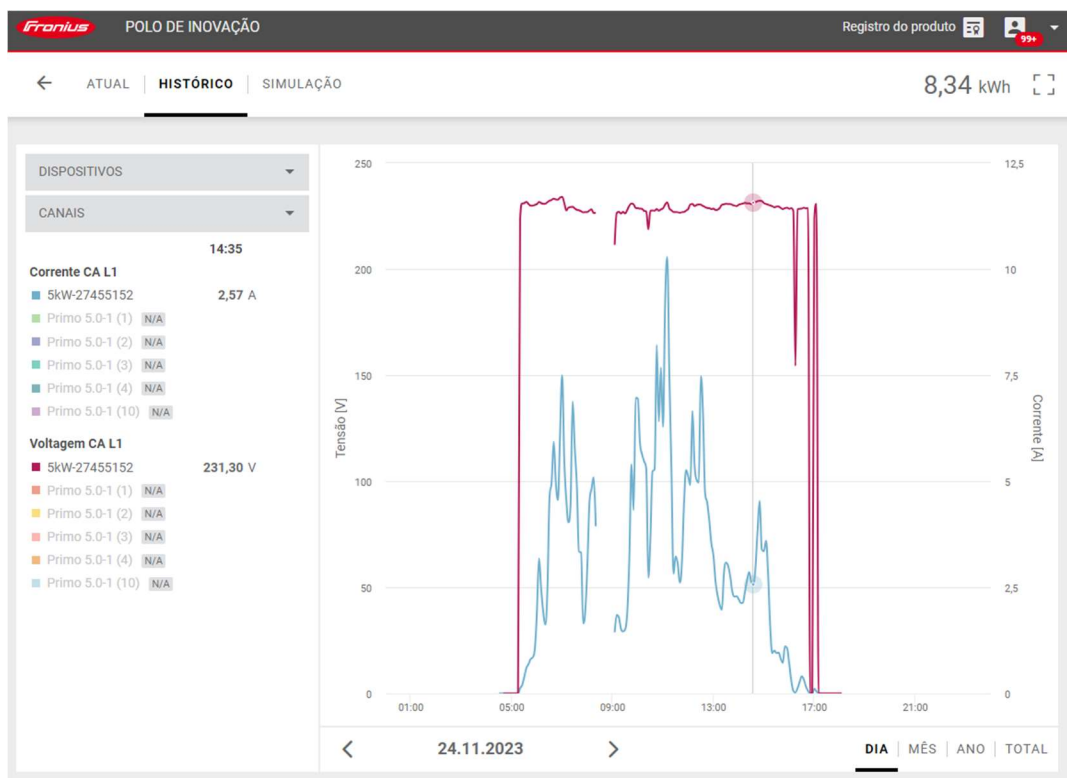
Buttons: Cancelar, Atualizar

Fonte: Autor (2023)



Para comprovação de atendimento aos requisitos estipulados no projeto, os dados aquisitados e enviados pelos dispositivos foram confrontados com dados lidos diretamente nos inversores. Os inversores da Fronius possuem uma interface de gerenciamento integrada, que pode ser acessada na plataforma “Solar.Web”, conforme observado na Figura 60.

Figura 60 - Plataforma Solar.Web do Polo de Inovação



Fonte: Autor (2023)

Desta forma, para que os dados lidos pelo dispositivo instalado fossem validados, os parâmetros de tensão e corrente gerados nos sistemas foram lidos no aplicativo “Solar.Web” e também foram realizadas medições diretamente no quadro com um multímetro/alicate amperímetro a cada 5 minutos num intervalo de uma hora. No momento das leituras das grandezas elétricas, o dashboard foi acessado e os valores lidos na interface foram registrados também. O levantamento dos parâmetros lidos podem ser observados no Quadro 12.

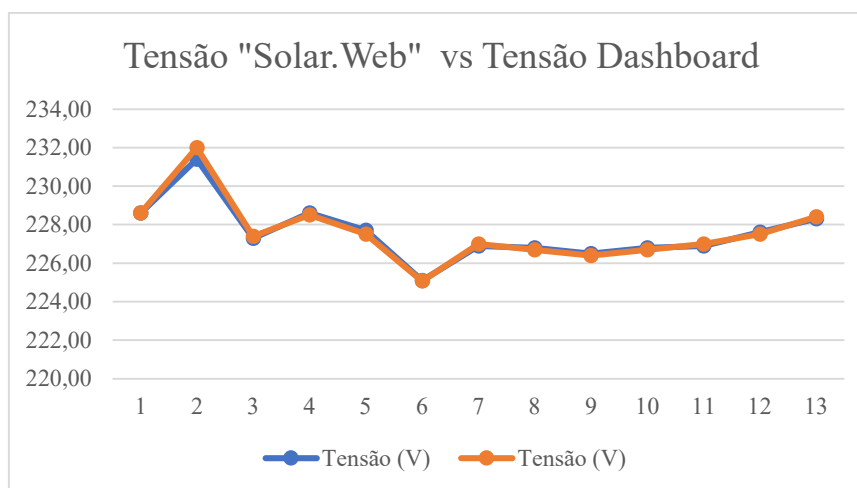
Tabela 7 - Comparação entre valores aquisitados

Hora	Solar.Web				Dashboard			
	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (kW)	Potência Produzida (kWh)	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (kW)	Potência Produzida (kWh)
11:00	228,60	6,28	1,44	0,29	228,60	6,30	1,44	0,29
11:05	231,40	9,18	2,12	0,71	232,00	9,19	2,13	0,71
11:10	227,30	9,92	2,25	1,16	227,40	9,96	2,26	1,17
11:15	228,60	7,53	1,72	1,51	228,50	7,48	1,71	1,51
11:20	227,70	5,27	1,20	1,75	227,50	5,17	1,18	1,74
11:25	225,10	3,40	0,77	1,90	225,08	3,39	0,76	1,90
11:30	226,90	3,23	0,73	2,05	227,00	3,28	0,74	2,05
11:35	226,80	3,06	0,69	2,19	226,70	3,06	0,69	2,18
11:40	226,50	2,61	0,59	2,30	226,40	2,70	0,61	2,31
11:45	226,80	3,23	0,73	2,45	226,70	3,50	0,79	2,47
11:50	226,90	4,49	1,02	2,65	227,00	4,52	1,03	2,67
11:55	227,60	5,26	1,20	2,89	227,50	5,25	1,19	2,91
12:00	228,30	5,11	1,17	3,13	228,40	5,03	1,15	3,14

Fonte: Autor (2023)

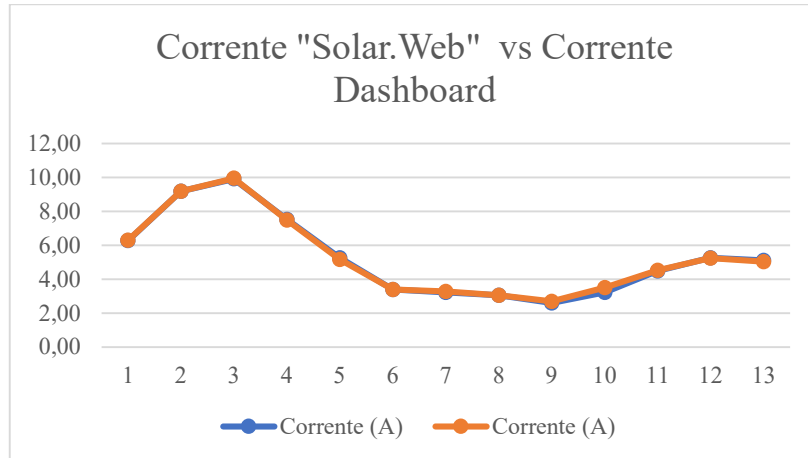
Os dados aquisitados foram plotados em gráficos individuais onde é possível visualizar o desvio das leituras realizadas com os valores resistrados no dashboard. Dados de tensão, corrente, potência e geração podem ser observados nos Graficos 9, 10, 11 e 12 respectivamente.

Gráfico 9 - Comparativo entre valores de tensão aquisitados



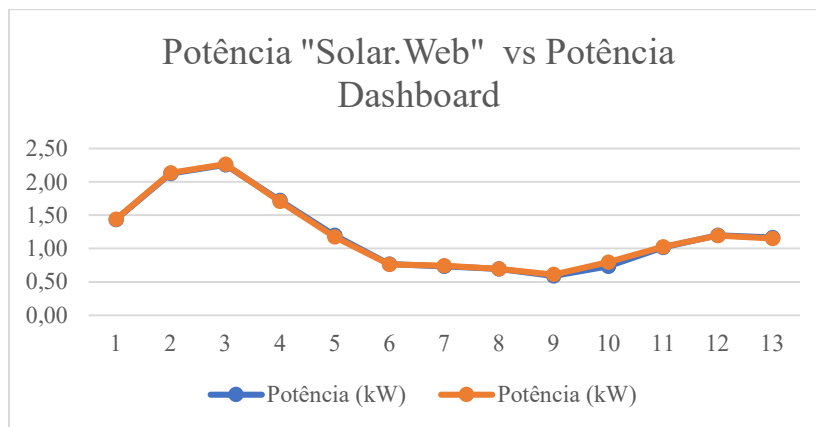
Fonte: Autor (2023)

Gráfico 10 - Comparativo entre valores de corrente aquisitados



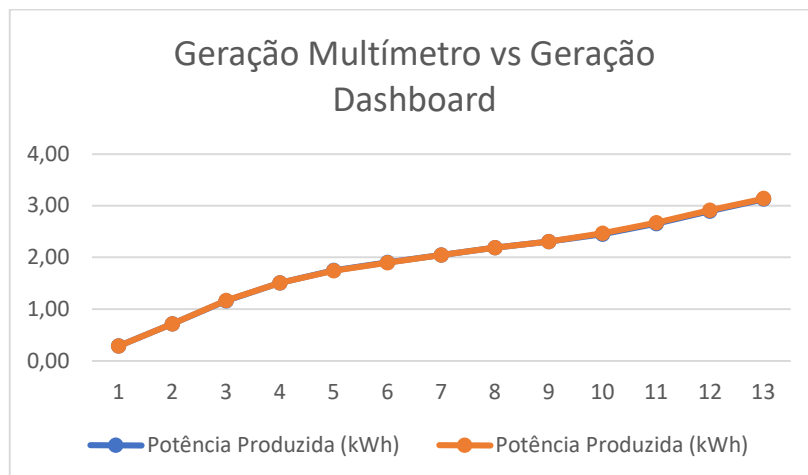
Fonte: Autor (2023)

Gráfico 11 - Comparativo entre valores de corrente aquisitados



Fonte: Autor (2023)

Gráfico 12 - Comparativo de valores de geração



Fonte: Autor (2023)

Com base nos dados amostrados e na observação dos sistema em funcionamento, foi possível determinar a aceitação do teste proposto. Deste modo, o dispositivo alcançou os objetivos descritos em sua etapa de levantamento de requisitos e apresentou uma precisão de leitura na ordem de 99,78% comparado com os valores apresentados pelo inversor, portanto o presente teste foi considerado aceito.

## 7. Conclusões

O presente trabalho apresentou como proposta a centralização da gestão e acompanhamento da produção de usinas solares fotovoltaicas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, através do projeto de um dispositivo de aquisição de informações de geração. A aquisição dos parâmetros elétricos de geração foram realizados em circuitos elaborados com base nos requisitos levantados no escopo do projeto e, o processamento e transmissão destes dados para uma plataforma centralizadora foi realizado com base no microcontrolador ESP32.

Durante o desenvolvimento do projeto, a metodologia V norteou as etapas de elaboração, fazendo sempre o link entre requisitos e testes de validação. Tal metodologia foi fundamental para a comprovação de todas as etapas do projeto, bem como o atendimento aos critérios pré estabelecidos.

O protótipo desenvolvido foi submetido a testes de bancada e testes em campo, demonstrando boa resposta em todos os testes conduzidos. O dispositivo apresentou boa faixa de precisão na medida dos valores, conforme demonstrado em cada etapa testada e, quando aplicado em campo, apresentou resposta satisfatória no que diz respeito a aquisição e envio de informações sobre a geração.

A apresentação dos parâmetros aquisitados foi apresentado numa *dashboard* capaz de exibir e registrar dados históricos de produção, sendo essencial no gerenciamento das usinas. Além disto, a proposta de centralização de informações foi atendida, uma vez que, através de uma interface totalmente configurável, foi possível exibir e gerenciar todos os dispositivos instalados em vários sistemas fotovoltaicos.

O código desenvolvido e implementado no microcontrolador possui linguagem acessível e aberta a novas implementações e melhorias sempre que necessário.

Portanto, levando em consideração os testes e funcionalidades apresentadas, é possível concluir que a construção e implementação do protótipo de gerenciamento de energia atendeu aos objetivos levantados no escopo deste projeto.

Durante a execução do projeto, melhorias e implementações de novas funcionalidades foram levantadas para trabalhos futuros e atualização do dispositivo, entre elas destacam-se a implementação de sistemas de alarme em caso de queda de geração, com possibilidade de envio

de mensagens ao usuário, o controle da qualidade de energia produzida, com base na análise de outros parâmetros elétricos, como o fator de potência e a possibilidade de associar previsões de geração com parâmetros meteorológicos.

## Referências Bibliográficas

ABSOLAR, ABSOLAR. Panorama da solar fotovoltaica no Brasil e no mundo. *In: ABSOLAR*. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 24 nov. 2023.

AGHENTA, Lawrence O.; IQBAL, M. Tariq; AGHENTA, Lawrence O.; e IQBAL, M. Tariq. Design and implementation of a low-cost, open source IoT-based SCADA system using ESP32 with OLED, ThingsBoard and MQTT protocol. **AIMS Electronics and Electrical Engineering**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 57–86, 2020. Cc\_license\_type: cc\_byPrimary\_atype: AIMS Electronics and Electrical EngineeringSubject\_term: Research articleSubject\_term\_id: Research article. ISSN 2578-1588. DOI 10.3934/ElectrEng.2020.1.57.

AL-FUQAHA, Ala; GUIZANI, Mohsen; MOHAMMADI, Mehdi; ALEDHARI, Mohammed; e AYYASH, Moussa. Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols and Applications. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, [s. l.], v. 17, Fourthquarter 2015, 18 nov. 2015. DOI 10.1109/COMST.2015.2444095.

ANANG OTHMAN, Nurul Amira binti et al. The Development of IoT-based Solar Battery Monitoring System. *In: 2021 IEEE Regional Symposium on Micro and Nanoelectronics (RSM)*, 2021. **2021 IEEE Regional Symposium on Micro and Nanoelectronics (RSM)**. [S. l.: s. n.], ago. 2021. p. 34–37. ISSN 2639-4642. DOI 10.1109/RSM52397.2021.9511610. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9511610>. Acesso em: 15 out. 2023.

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 956**. [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/procedimentos-regulatorios/prodist>. Acesso em: 17 nov. 2023.

ANEEL, ANEEL. **Dashboard de Geração Distribuída**. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiY2VmMmUwN2QtYWFiOS00ZDE3LWI3NDMtZDk0NGI4MGU2NTkxIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>. Acesso em: 24 nov. 2023.

ARIA, Massimo; e CUCCURULLO, Corrado. bibliometrix : An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, [s. l.], v. 11, n. 4, p. 959–975, nov. 2017. ISSN 17511577. DOI 10.1016/j.joi.2017.08.007.

ATZORI, Luigi; IERA, Antonio; e MORABITO, Giacomo. The Internet of Things: A survey. **Computer Networks**, [s. l.], v. 54, n. 15, p. 2787–2805, out. 2010. ISSN 13891286. DOI 10.1016/j.comnet.2010.05.010.

AYDOS, Murat; VURAL, Yilmaz; e TEKEREK, Adem. Assessing risks and threats with layered approach to Internet of Things security. **Measurement and Control**, [s. l.], v. 52, p. 002029401983799, 12 abr. 2019. DOI 10.1177/0020294019837991.

BAHASHWAN, Abdullah Ahmed Omar; e MANICKAM, Selvakumar. A Brief Review of Messaging Protocol Standards for Internet of Things (IoT). **Journal of Cyber Security and Mobility**, [s. l.], p. 1–14, 2019. ISSN 2245-4578. DOI 10.13052/2245-1439.811.

BORGES, Leandro da Motta. Dimensionamento e gestão de energia solar fotovoltaica para aplicação em sistemas automatizados isolados da rede elétrica. [s. l.], 27 set. 2013. Accepted: 2016-04-24T01:49:45Z. Disponível em: <https://repositorio.ufjf.br/jspui/handle/ufjf/948>. Acesso em: 21 nov. 2023.

BORGIA, Eleonora. The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues. **Computer Communications**, [s. l.], v. 54, p. 1–31, 1 dez. 2014. ISSN 0140-3664. DOI 10.1016/j.comcom.2014.09.008.

COUSIN, Ovidiu Vermesan, Peter Friess, Patrick Guillemin, Harald Sundmaecker, Markus Eisenhauer, Klaus Moessner, Franck Le Gall, Philippe. Internet of Things Strategic Research and Innovation Agenda. *In: Internet of Things*. [S. l.]: River Publishers, 2013. 145 p. ISBN 978-1-00-333865-9.

CRAIG, Rick D.; e JASKIEL, Stefan P. **The Systematic Software Testing Handbook**. Illustrated edição ed. Boston: Artech House Publishers, 31 maio 2002. ISBN 978-1-58053-508-3.

CUNHA, Antonio Paulo Da. **Bases conceituais da implantação de redes elétricas inteligentes de distribuição de energia elétrica**. 2011. Doutorado em Sistemas de Potência – Universidade de São Paulo, São Paulo, 18 maio 2011. DOI 10.11606/T.3.2011.tde-05082011-153327. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-05082011-153327/>. Acesso em: 21 nov. 2023.

DANTAS, Stefano Giacomazzi; e POMPERMAYER, Fabiano Mezadre. VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO BRASIL E POSSÍVEIS EFEITOS NO SETOR ELÉTRICO. [s. l.], 2018.

EVANS, Dave. How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything. [s. l.], 2011.

FARIA JUNIOR, Haroldo; TRIGOSO, Federico; e CAVALCANTI, João. Review of distributed generation with photovoltaic grid connected systems in Brazil: Challenges and prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 75, 1 nov. 2016. DOI 10.1016/j.rser.2016.10.076.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 2008. ISBN 978-85-224-5142-5.

**GLOBAL SOLAR ATLAS**. . 2023. .

HAKAM, Youness; AHESSAB, Hajar; GAGA, Ahmed; e HADADI, Benachir El; MOTAHHIR, Saad; e BOSSOUFI, Badre (ed.). Renewable Energy in Smart Grid: Photovoltaic Power Monitoring System Based on Machine Learning Using an Open-Source IoT Platform. *In: MOTAHHIR, Saad; BOSSOUFI, Badre (ed.)*. 2023, Cham. **Digital Technologies and Applications**. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023. p. 241–251. ISBN 978-3-031-29857-8. DOI 10.1007/978-3-031-29857-8\_24.

HUNKELER, Urs; TRUONG, Hong; e STANFORD-CLARK, Andy. **MQTT-S — A publish/subscribe protocol for Wireless Sensor Networks**. [S. l.: s. n.], 10 fev. 2008. 791 p. p. 798. DOI 10.1109/COMSWA.2008.4554519.



IFF. Energia solar vai gerar economia de até R\$ 8 mil mensais ao campus. **Portal IFFluminense**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <https://portal1.iff.edu.br/nossos-campi/campus-centro/noticias/energia-solar-vai-gerar-economia-de-ate-r-8-mil-mensais-ao-campus>. Acesso em: 25 nov. 2023.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Renewable Energy and Jobs**. [S. l.: s. n.], 2023.

KARBHARI, Ganesh V.; e NEMA, Dr. Pragya. Digital Control System for Solar Power plant using IoT. **International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 3394–3396, 30 jul. 2019. ISSN 22773878. DOI 10.35940/ijrte.A1181.078219.

LE, Phuong Truong; TSAI, Huan-Liang; e LAM, Thanh Hien. A wireless visualization monitoring, evaluation system for commercial photovoltaic modules solely in MATLAB/Simulink environment. **Solar Energy**, [s. l.], v. 140, p. 1–11, dez. 2016. ISSN 0038092X. DOI 10.1016/j.solener.2016.10.043.

LI, Shancang; XU, Li Da; e ZHAO, Shanshan. 5G Internet of Things: A survey. **Journal of Industrial Information Integration**, [s. l.], v. 10, p. 1–9, 1 jun. 2018. ISSN 2452-414X. DOI 10.1016/j.jii.2018.01.005.

MACHADO, Carolina T.; e MIRANDA, Fabio S. Energia Solar Fotovoltaica: Uma Breve Revisão. **Revista Virtual de Química**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 126–143, 2015. ISSN 1984-6835.

MURSHIDUZZAMAN; KADIR, J. A.; ISMARRUBIE, Z. N.; YUSSOF, Hanafiah; e HASAN, Wan Zuha Wan. Development of IoT Based Dust Density and Solar Panel Efficiency Monitoring System. *In: 2021 International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET), 2021. 2021 International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET)*. [S. l.: s. n.], dez. 2021. p. 1–6. DOI 10.1109/ICECET52533.2021.9698605. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9698605>. Acesso em: 15 out. 2023.

NEGREIROS, Iara et al. Smart Campus® as a living lab on sustainability indicators monitoring. [s. l.], 2020.

NETO, Francisco. **Avaliação de Desempenho da Usina Solar Fotovoltaica instalada no Laboratório de Desenvolvimento de Transportes e Energias Alternativas**. 2022. 2022.

NETTO, J. O. C.; PIRES, D. L.; NOVAIS, M. C.; SORIANO, F. R.; GOMES, A. C. GERAÇÃO FOTOVOLTAICA: HISTÓRICO DAS POLÍTICAS DE INCENTIVO E BARREIRAS REGULATÓRIAS. *In: Open Science Research III*. 1. ed. [S. l.]: Editora Científica Digital, 2022. p. 2847–2860. ISBN 9786553601024. DOI 10.37885/220308466. Disponível em: <http://www.editoracientifica.com.br/articles/code/220308466>. Acesso em: 15 out. 2023.

NUNES, Larissa. **Estudo da Geração Distribuída Fotovoltaica no Brasil> Uma Análise SSWOT do Setor**. 2019. 2019.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Sumário do Programa Mensal de Operação**. [S. l.: s. n.], nov. 2023.

PEREIRA, Marcio Giannini; CAMACHO, Cristiane Farias; FREITAS, Marcos Aurélio Vasconcelos; e SILVA, Neilton Fidelis da. The renewable energy market in Brazil: Current status and potential. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 16, n. 6, p. 3786–3802, 1 ago. 2012. ISSN 1364-0321. DOI 10.1016/j.rser.2012.03.024.

PRASETYO, Hoedi; e NUGROHO, Adi. On-Grid Photovoltaic System Power Monitoring with A Responsive Dashboard Design. [s. l.], 2020.

QUEIROZ, Rodrigo. Como Funciona o Monitoramento do Sistema Fotovoltaico - Academia Sol. *In: Academia do Sol*. [S. l.], 6 ago. 2019. Disponível em: <https://academiadosol.com.br/blog/como-funciona-o-monitoramento-do-sistema-fotovoltaico/>. Acesso em: 25 nov. 2023.

ROMAN, Rodrigo; ZHOU, Jianying; e LOPEZ, Javier. On the features and challenges of security and privacy in distributed internet of things. **Computer Networks**, [s. l.], v. 57, n. 10, p. 2266–2279, 5 jul. 2013. ISSN 1389-1286. DOI 10.1016/j.comnet.2012.12.018.

SHAMIEH, Cathleen [HTTPS://ANALISEDEREQUISITOS COM BR]. Engenharia de Sistemas Para Leigos, IBM Edição Limitada. [s. l.], 2012.

SICARI, S.; RIZZARDI, A.; GRIECO, L. A.; e COEN-PORISINI, A. Security, privacy and trust in Internet of Things: The road ahead. **Computer Networks**, [s. l.], v. 76, p. 146–164, 15 jan. 2015. ISSN 1389-1286. DOI 10.1016/j.comnet.2014.11.008.

SILVA, Edna Lúcia da; e MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. [S. l.: s. n.], 2005.

SILVÉRIO, Loren. VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE ENERGIA SOLAR EM INDÚSTRIAS DE ALIMENTOS DE GOIÁS. [s. l.], 2021.

SWAN, Melanie. **Blockchain: Blueprint for a New Economy**. 1st edition ed. Beijing: Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 10 mar. 2015. 149 p. ISBN 978-1-4919-2049-7.

TAVARES PINHO, Joãa; e ANTÔNIO GALDINO, Marcos. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos – 2014 – Solenerg Energia Solar Fotovoltaica**. [S. l.: s. n.], 2014. Disponível em: <https://www.solenerg.com.br/manual-de-engenharia-para-sistemas-fotovoltaicos-2014/>. Acesso em: 25 nov. 2023.

THINGSBOARD. What is ThingsBoard? **ThingsBoard**. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: <https://thingsboard.io/docs/getting-started-guides/what-is-thingsboard/>. Acesso em: 25 nov. 2023.

TIGGEMANN, Henrique. Sistema de monitoramento remoto e controle de microrrede híbrida isolada. [s. l.], 2015.

TOFOLI, Dr Fernando Lessa. ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DE UM ESTACIONAMENTO SOLAR: ESTUDO DE CASO. [s. l.], 2018.

TORRES, Andrei B. B.; ROCHA, Atslands R.; e SOUZA, José Neuman de. Análise de Desempenho de Brokers MQTT em Sistema de Baixo Custo. *In: Anais do XV Workshop em Desempenho de Sistemas Computacionais e de Comunicação*, 2016. **Anais do Workshop em Desempenho de Sistemas Computacionais e de Comunicação (WPerformance)**. [S. l.]:

SBC, 4 jul. 2016. p. 2804–2815. ISSN 2595-6167. DOI 10.5753/wperformance.2016.9727. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/wperformance/article/view/9727>. Acesso em: 17 nov. 2023.

VIEIRA, Romênia Gurgel. Aplicação de Técnicas de Inteligência Artificial para Identificação de Falhas em Módulos Fotovoltaicos. [s. l.], 2021.

VIOLA, Eduardo; e MENDES, Vinícius. Agriculture 4.0 and climate change in Brazil. **Ambiente & Sociedade**, [s. l.], v. 25, p. e02462, 4 nov. 2022. ISSN 1414-753X, 1809-4422. DOI 10.1590/1809-4422asoc20200246r2vu2022L3OA.

YAQOOB, Ibrar et al. Internet of Things Architecture: Recent Advances, Taxonomy, Requirements, and Open Challenges. **IEEE Wireless Communications**, [s. l.], v. 24, n. 3, p. 10–16, jun. 2017. ISSN 1558-0687. DOI 10.1109/MWC.2017.1600421.

ZANELLA, Andrea; BUI, Nicola; CASTELLANI, Angelo; VANGELISTA, Lorenzo; e ZORZI, Michele. Internet of Things for Smart Cities. **IEEE Internet of Things Journal**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 22–32, fev. 2014. ISSN 2327-4662. DOI 10.1109/JIOT.2014.2306328.

IFF. Sistema de energia solar será instalado em todo o IFF. **Portal IFFluminense**. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <http://portal1.iff.edu.br/nossos-campi/reitoria/noticias/sistema-de-energia-solar-sera-instalado-em-todo-o-iff>. Acesso em: 25 nov. 2023.

Agência Nacional de Energia Elétrica. Micro e Minigeração Distribuída. **Agência Nacional de Energia Elétrica**. [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>. Acesso em: 17 nov. 2023.

Ministério de Minas e Energia. Brasil bate recorde de expansão da energia solar em 2023. **Ministério de Minas e Energia**. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/brasil-bate-recorde-de-expansao-da-energia-solar-em-2023>. Acesso em: 16 nov. 2023.

## Apêndice 1 – Códigos de Programação

```

#include <Arduino.h>
#include <WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
#include <Adafruit_ADS1X15.h>
#include <SPI.h>
#include <ArduinoJson.h>
#include <EEPROM.h>
#include <TimeLib.h>

//Cliente UDP E NTP para aquisição da hora exata
WiFiUDP Udp;
IPAddress timeServer(200, 160, 7, 186); //a.st1.ntp.br
const int timeZone = -3; // - 3 horas
unsigned int localPort = 123; // local port to listen for UDP packets

#define iterations 100
#define PORTA_BROKER 1883
#define IP_BROKER "iiot1.picg.iff.edu.br"
#define USER_MQTT "jDtOnbSWeqfMH65N6jnG"
#define PASSWORD_MQTT ""
#define WIFI_USER "Nome da rede"
#define WIFI_PASSWORD "Senha Wifi"

float potenciaDiaria = 0, potenciaMensal = 0, potenciaAnual = 0, potenciaTotal
= 0;
char potenciaMensalFlash[40], potenciaAnualFlash[40], potenciaTotalFlash[40],
potenciaDiariaFlash[40];
String valorPotencia = "0.00", valorPotDiaria = "0.00", valorPotMensal =
"0.00", valorPotAnual = "0.00", valorPotTotal = "0.00";
byte packetBuffer[48]; //buffer to hold incoming & outgoing packets

void lerEEPROM();
void gravarEEPROM();
time_t getNtpTime();
void sendNTPpacket(IPAddress &address);

float LerCorrente();
float LerTensao();
void LerPotencia();
float Tensao = LerTensao();
float Corrente = LerCorrente();
unsigned long int tempoAnterior = 0;
void callback_subscribe(char* topic, byte* payload, unsigned int length);
void initWiFi();

```

```
void mensagem_mqtt();
void callback_subscribe(char* topic, byte* payload, unsigned int length);
boolean mqtt_connect();

Adafruit_ADS1015 ads;
WiFiClient clientWifi;
PubSubClient mqtt_client(clientWifi);

void setup() {

  Serial.begin(115200);
  EEPROM.begin(2048);

  lerEEPROM();

  //carregando os valores salvos na EEPROM para as potencias consumidas
  valorPotDiaria = String(potenciaDiariaFlash);
  potenciaDiaria = valorPotDiaria.toFloat();
  valorPotMensal = String(potenciaMensalFlash);
  potenciaMensal = valorPotMensal.toFloat();
  valorPotAnual = String(potenciaAnualFlash);
  potenciaAnual = valorPotAnual.toFloat();
  valorPotTotal = String(potenciaTotalFlash);
  potenciaTotal = valorPotTotal.toFloat();

  //Inicialização do NTP
  Udp.begin(localPort);
  setSyncProvider(getNtpTime);

  ads.setGain(GAIN_TWOTHIRDS);

  mqtt_client.setServer(IP_BROKER, PORTA_BROKER);
  mqtt_client.setCallback(callback_subscribe);

  if (!ads.begin()) {
    Serial.println("Falha no ADS.");
    while (1);
  }
  initWifi();
  mqtt_connect();
  mensagem_mqtt();
}

void loop() {

  LerTensao();
  LerCorrente();
}
```

```

    if (millis() - tempoAnterior >= 5000){ // Definição do tempo de coleta da
potência
        tempoAnterior = millis();
        LerPotencia();
    }

    if (!mqtt_client.connected()) {
        mqtt_connect();
    }else{
        mqtt_client.loop();
        mensagem_mqtt();
    }

    Serial.println(Tensao);
    Serial.println(Corrente);
    Serial.println(valorPotencia);
    Serial.println(minute());
}

float LerTensao() {

    const float offsetVAC = 8822;
    const float coef_VAC = 1.701;

    int TEMP [2] = {0, 0};
    int PCMVal = 0;
    float RelVolt = 0;
    float Volt = 0;
    unsigned short Peak[2] = {0, 0};

    TEMP[0] = 0;
    TEMP[1] = 1024;
    Peak[0] = 0;
    Peak[1] = 0;

    for ( int i = 0; i < iterations; i++) {

        PCMVal = ads.readADC_SingleEnded(0);

        if ( TEMP[0] < PCMVal ){
            TEMP[0] = PCMVal;
        }
        if ( TEMP[1] > PCMVal ){
            TEMP[1] = PCMVal;
        }
    }
}

```

```

    RelVolt = ((TEMP[0] - offsetVAC) * coef_VAC);
    Volt = (RelVolt * 0.707);

    return Volt;
}

float LerCorrente() {

    const float offsetA = 829;
    const float coef_A = 0.272;

    int TEMP [2] = {0, 0};
    int PCMVal2 = 0;
    float RelVolt2 = 0;
    float valorlido = 0;
    unsigned short Peak[2] = {0, 0};

    TEMP[0] = 0;
    TEMP[1] = 1024;
    Peak[0] = 0;
    Peak[1] = 0;

    for ( int i = 0; i < iterations; i++) {

        PCMVal2 = ads.readADC_SingleEnded(1);

        if ( TEMP[0] < PCMVal2 ){
            TEMP[0] = PCMVal2;
        }
        if ( TEMP[1] > PCMVal2 ){
            TEMP[1] = PCMVal2;
        }

    }

    RelVolt2 = ((TEMP[0] - offsetA) * coef_A);
    valorlido = (RelVolt2 * 0.707);

    if (valorlido <= 0){
        return 0;
    }

    return valorlido;
}

time_t getNtpTime(){

```

```

while (Udp.parsePacket() > 0) ; // discard any previously received packets
sendNTPpacket(timeServer);
uint32_t beginWait = millis();
while (millis() - beginWait < 1500) {
  int size = Udp.parsePacket();
  if (size >= 48) {
    Udp.read(packetBuffer, 48); // read packet into the buffer
    unsigned long secsSince1900;
    // convert four bytes starting at location 40 to a long integer
    secsSince1900 = (unsigned long)packetBuffer[40] << 24;
    secsSince1900 |= (unsigned long)packetBuffer[41] << 16;
    secsSince1900 |= (unsigned long)packetBuffer[42] << 8;
    secsSince1900 |= (unsigned long)packetBuffer[43];
    return secsSince1900 - 2208988800UL + timeZone * SECS_PER_HOUR;
  }
}

return 0; // return 0 if unable to get the time
}

// send an NTP request to the time server at the given address
void sendNTPpacket(IPAddress &address){

  // set all bytes in the buffer to 0
  memset(packetBuffer, 0, 48);
  // Initialize values needed to form NTP request
  // (see URL above for details on the packets)
  packetBuffer[0] = 0b11100011; // LI, Version, Mode
  packetBuffer[1] = 0; // Stratum, or type of clock
  packetBuffer[2] = 6; // Polling Interval
  packetBuffer[3] = 0xEC; // Peer Clock Precision
  // 8 bytes of zero for Root Delay & Root Dispersion
  packetBuffer[12] = 49;
  packetBuffer[13] = 0x4E;
  packetBuffer[14] = 49;
  packetBuffer[15] = 52;
  // all NTP fields have been given values, now
  // you can send a packet requesting a timestamp:1
  Udp.beginPacket(address, 123); //NTP requests are to port 123
  Udp.write(packetBuffer, 48);
  Udp.endPacket();
}

void LerPotencia() {

  float potencia = 0;

```



```

if(millis() - tempoAnterior >= 10000){
    tempoAnterior = millis();
    potencia = (Tensao * Corrente); //em W
    valorPotencia = String(potencia, 2);
    potenciaDiaria = potenciaDiaria + (potencia / 720); // valor dividido por
720 devido ao intervalo de 5 segundos
    valorPotDiaria = String(potenciaDiaria, 2);
    potenciaMensal = potenciaMensal + (potencia / 720);
    valorPotMensal = String(potenciaMensal, 2);
    potenciaAnual = potenciaAnual + (potencia / 720);
    valorPotAnual = String(potenciaAnual, 2);
    potenciaTotal = potenciaTotal + (potencia / 720);
    valorPotTotal = String(potenciaTotal, 2);
}

//zerando o contador de kwh consumido mensalmente
if (month() == 1 || month() == 3 || month() == 5 || month() == 7 || month()
== 8 || month() == 10 || month() == 12)
{
    if (day() == 31 && hour() == 23 && minute() == 59 && second() == 59)
    {
        potenciaMensal = 0;
    }
}
else if (month() == 4 || month() == 6 || month() == 9 || month() == 11)
{
    if (day() == 30 && hour() == 23 && minute() == 59 && second() == 59)
    {
        potenciaMensal = 0;
    }
}
else if (month() == 2)
{
    if (year() % 4 != 0)
    {
        if (day() == 28 && hour() == 23 && minute() == 59 && second() == 59)
        {
            potenciaMensal = 0;
        }
    }
    else
    {
        if (day() == 29 && hour() == 23 && minute() == 59 && second() == 59)
        {
            potenciaMensal = 0;
        }
    }
}
}
}

```

```

//zerando o contador de kwh consumido anualmente
if (day() == 31 && month() == 12 && hour() == 23 && minute() == 59 &&
second() == 59)
{
    potenciaAnual = 0;
}

//zerando o contador de kwh consumido diariamente
if ((hour() == 23 && minute() == 59 && second() == 59) || (hour() == 12 &&
minute() == 59 && second() == 59) ) {
    potenciaDiaria = 0;
    valorPotDiaria = String(potenciaDiaria, 2);
    //colocando os valores atualizados das potencias na memória flash ao fim
do dia
    valorPotDiaria.toCharArray(potenciaDiariaFlash, 40);
    valorPotMensal.toCharArray(potenciaMensalFlash, 40);
    valorPotAnual.toCharArray(potenciaAnualFlash, 40);
    valorPotTotal.toCharArray(potenciaTotalFlash, 40);
    gravarEEPROM();

}

}

void lerEEPROM() {
    unsigned int endereco;

    endereco = 0;
    EEPROM.get(endereco, potenciaDiariaFlash);
    endereco += 40;
    EEPROM.get(endereco, potenciaMensalFlash);
    endereco += 40;
    EEPROM.get(endereco, potenciaAnualFlash);
    endereco += 40;
    EEPROM.get(endereco, potenciaTotalFlash);
    endereco += 40;
    endereco = 0;
    char dado[40];
    for ( byte i = 0; i < 19; i++)
    {
        EEPROM.get(endereco, dado);
        Serial.println(dado);
        endereco += 40;
    }
}

void gravarEEPROM() {
    unsigned int endereco;
    endereco = 0;

```

```

EEPROM.put(endereco, potenciaDiariaFlash);
endereco += 40;
EEPROM.put(endereco, potenciaMensalFlash);
endereco += 40;
EEPROM.put(endereco, potenciaAnualFlash);
endereco += 40;
EEPROM.put(endereco, potenciaTotalFlash);
endereco += 40;
EEPROM.commit();
endereco = 0;
char dado[40];
for ( byte i = 0; i < 19; i++)
{
    EEPROM.get(endereco, dado);
    Serial.println(dado);
    endereco += 40;
}
}

void initWiFi() {
    WiFi.mode(WIFI_STA);
    WiFi.begin(WIFI_USER, WIFI_PASSWORD);
    Serial.print("Conectando WiFi ..");
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        Serial.print('.');
        delay(1000);
    }
    Serial.printf("\nIP =");
    Serial.println(WiFi.localIP());
    if(WiFi.status() == WL_CONNECTED){
        Serial.print("Conectado com Sucesso!");
    }
}

void mensagem_mqtt(){

    StaticJsonDocument<128> doc;
    std::string msg;

    doc["Corrente"] = Corrente;
    doc["Tensao"] = Tensao;
    doc["Potencia"] = valorPotencia;
    doc["PotenciaD"] = valorPotDiaria;
    doc["PotenciaM"] = valorPotMensal;
    doc["PotenciaA"] = valorPotAnual;

    serializeJson(doc,msg);
}

```

```
mqtt_client.publish("v1/devices/me/telemetry",msg.c_str());
}

// funcao chamada quando existe entrada nova no topico subscrito
void callback_subscribe(char* topic, byte* payload, unsigned int length) {
  Serial.print("\n\n Callback do Subscribe \nNova Mensagem no Topico \");
  Serial.print(topic);
  Serial.print("\n\nMensagem = \");
  for (int i=0;i<length;i++) {
    Serial.print((char)payload[i]);
  }
  Serial.printf("\n\n");
}

boolean mqtt_connect() {
  Serial.println("Tentando conectar mqtt ");

  // conecta ao broker
  // boolean status = mqtt.connect("GsmClientTest");
  boolean status = mqtt_client.connect("iiot1", USER_MQTT, PASSWORD_MQTT);

  if (status == false) {
    Serial.println("Falha na conexao");
    return false;
  }
  Serial.println("Conectado com sucesso");
  return mqtt_client.connected();
}
```