



**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA  
AFRO-BRASILEIRA  
INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - IEDS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIAS**

**JOÃO PEDRO MAGALHÃES DE LIMA**

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO BASEADO EM TECNOLOGIAS IOT DE  
BAIXO CUSTO PARA MONITORAMENTO DE USINA FOTOVOLTAICA.**

**REDENÇÃO - CE**

**2024**

JOÃO PEDRO MAGALHÃES DE LIMA

DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO BASEADO EM TECNOLOGIAS IOT DE BAIXO  
CUSTO PARA MONITORAMENTO DE USINA FOTOVOLTAICA.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Energias do Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável - IEDS da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Energias.

Orientadora: Profa. Dra. Lígia Maria  
Carvalho Sousa

REDENÇÃO - CE

2024

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Sistema de Bibliotecas da UNILAB  
Catalogação de Publicação na Fonte.

---

Lima, Joao Pedro Magalhaes de.

L732d

Desenvolvimento de protótipo baseado em tecnologias IoT de baixo custo para monitoramento de usina fotovoltaica / Joao Pedro Magalhaes de Lima. - Redenção, 2024.  
32f: il.

Monografia - Curso de Engenharia De Energias, Instituto De Engenharias E Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2024.

Orientadora: Profa. Dra. Lígia Maria Carvalho Sousa.

1. Internet of things (IoT). 2. ESP32. 3. Fotovoltaica. I.  
Título

CE/UF/BSCA

CDD 005.3

---

JOÃO PEDRO MAGALHÃES DE LIMA

DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO BASEADO EM TECNOLOGIAS IOT DE BAIXO  
CUSTO PARA MONITORAMENTO DE USINA FOTOVOLTAICA.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Energias do Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável - IEDS da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Energias.

Aprovada em: 15 de Outubro de 2024

BANCA EXAMINADORA

---

Profa. Dra. Lígia Maria Carvalho  
Sousa (Orientadora)  
Universidade da Integração Internacional da  
Lusofonia Afro-Brasileira - UNILAB

---

Prof. Dr. Vandilberto Pereira Pinto  
Universidade da Integração Internacional da  
Lusofonia Afro-Brasileira - UNILAB

---

Ma. Wyara Maria Carlos Souza Pontes  
Universidade Federal do Ceará - UFC

"Criatividade é apenas conectar as coisas." Steve Jobs

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço minha família por todo suporte durante a vida para que eu pudesse sempre conquistar meus objetivos.

A Profa. Dra. Lígia Maria Carvalho Sousa pela orientação e principalmente confiança depositada em mim, jamais vou decepcioná-la.

Ao Prof. Dr. Vandilberto Pereira Pinto pela confiança e por toda a contribuição ao meu aprendizado.

A todos do Grupo de pesquisa de Processamento e Gerenciamento de Energias Renováveis e Controle (PGERC) e Laboratório de Robótica e Automação pelo companheirismo nas pesquisas desenvolvidas. Em especial aos meus amigos Paulo Gaspar, Cleilton, Lucas e Leonardo.

À Pró-Reitoria de Administração e Infraestrutura (PROADI) pela disposição em ajudar com o projeto, em especial ao Engenheiro Eletricista Jordão Campos pela disponibilidade e orientação para acesso a usina fotovoltaica da universidade.

## RESUMO

Com o aumento significativo da capacidade instalada de plantas fotovoltaicas, especialmente usinas de grande porte, desafios relacionados ao monitoramento da geração tornam-se cada vez mais recorrentes. Para um gerenciamento eficaz da geração de energia, se faz pertinente o monitoramento remoto de informações operacionais, produção diária e variáveis climáticas que influenciam na geração. No entanto, dispositivos comerciais para essa finalidade costumam ser específicos da própria fabricante, limitando o acesso aos dados, alto custo de venda e dificuldade de estoque em varejistas. Nesse contexto, este projeto tem como contribuição tecnológica o desenvolvimento de um sistema de monitoramento utilizando o Grafana e um protótipo de aquisição de dados para inversores fotovoltaicos baseado no microcontrolador ESP32 e comunicação via protocolo de rede MQTT capaz de enviar para a internet métricas relevantes para a geração de energia.

**Palavras-chave:** Fotovoltaica. IOT. Dataloggers. ESP32. MQTT

## ABSTRACT

With the significant increase in the installed capacity of photovoltaic plants, especially large-scale plants, challenges related to monitoring generation are becoming increasingly recurrent. In order to effectively manage power generation, it is important to remotely monitor operational information, daily production and climatic variables that influence generation. However, commercial devices for this purpose are often specific to the manufacturer, limiting access to data, high sales costs and difficulty in stocking retailers. In this context, this project's technological contribution is the development of a monitoring system using Grafana and a data acquisition prototype for photovoltaic inverters based on the ESP32 microcontroller and communication via the MQTT network protocol capable of sending metrics relevant to energy generation to the internet.

**Keywords:** Photovoltaic. IOT. Dataloggers. ESP32. MQTT

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema sistema <i>on-grid</i> . . . . .	13
Figura 2 – Datalogger Growatt. . . . .	14
Figura 3 – Pinout do ESP32. . . . .	15
Figura 4 – Esquemático do protocolo MQTT . . . . .	16
Figura 5 – Plataforma Grafana. . . . .	17
Figura 6 – Diagrama instalação. . . . .	18
Figura 7 – Usina fotovoltaica campus auroras da UNILAB. . . . .	19
Figura 8 – Inversor Growatt . . . . .	19
Figura 9 – Protótipo sendo montado. . . . .	21
Figura 10 – Módulo MAX485 Conversor RS485 Para TTL. . . . .	21
Figura 11 – Esquema do código. . . . .	22
Figura 12 – Protótipo no Software Fusion 360. . . . .	22
Figura 13 – Montagem do protótipo no inversor . . . . .	23
Figura 14 – Software MQTT Explorer. . . . .	24
Figura 15 – Desenvolvimento PCI . . . . .	24
Figura 16 – Protótipo desenvolvido. . . . .	25
Figura 17 – Protótipo conectado ao inversor. . . . .	26
Figura 18 – PCI desenvolvida para versão final . . . . .	27

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Registradores MODBUS RTU. . . . .	20
Tabela 2 – Preços protótipo. . . . .	26
Tabela 3 – Preços PCI. . . . .	27

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>1.1</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>12</b>
<i>1.1.1</i>	<i>Objetivo Geral</i>	<i>12</i>
<i>1.1.2</i>	<i>Objetivos Específicos</i>	<i>12</i>
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>DETALHAMENTO TÉCNICO</b>	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>Usina Fotovoltaica</b>	<b>13</b>
<b>2.2</b>	<b>Aquisição de Dados</b>	<b>13</b>
<b>2.3</b>	<b>Placa de desenvolvimento</b>	<b>14</b>
<b>2.4</b>	<b>Comunicação</b>	<b>15</b>
<b>2.5</b>	<b>Sistema de Supervisão</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>18</b>
<b>3.1</b>	<b>Conhecendo usina</b>	<b>18</b>
<b>3.2</b>	<b>Aquisição de Dados</b>	<b>19</b>
<i>3.2.1</i>	<i>Registradores</i>	<i>20</i>
<b>3.3</b>	<b>Montagem Protótipo</b>	<b>20</b>
<i>3.3.1</i>	<i>Modulo RS485</i>	<i>21</i>
<i>3.3.2</i>	<i>Programação</i>	<i>22</i>
<i>3.3.3</i>	<i>Caixa</i>	<i>22</i>
<i>3.3.4</i>	<i>Instalação no Inversor</i>	<i>23</i>
<b>3.4</b>	<b>Grafana</b>	<b>23</b>
<b>3.5</b>	<b>Comunicação</b>	<b>24</b>
<b>3.6</b>	<b>Placa de Circuito Impresso</b>	<b>24</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>25</b>
<b>4.1</b>	<b>Protótipo</b>	<b>25</b>
<i>4.1.1</i>	<i>Valores</i>	<i>26</i>
<b>4.2</b>	<b>Placa de Circuito Impresso</b>	<b>27</b>
<i>4.2.1</i>	<i>Valores</i>	<i>27</i>
<b>4.3</b>	<b>Histórico de dados</b>	<b>28</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>30</b>

**REFERÊNCIAS** ..... 31

## 1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que na atualidade o gerenciamento, automação e controle de processos industriais, prediais, comerciais e residenciais são de extrema importância e, muitas vezes, proporcionam uma economia nesses empreendimentos, melhorando os resultados e garantindo uma maior produtividade. Prática essa cada vez mais inserida no setor de energia, principalmente com o crescimento das instalações fotovoltaicas, tendo em vista a facilidade do consumidor ter sua própria usina no telhado de casa.

No Brasil, a energia solar apresenta-se como a fonte de energia com maior potencial, principalmente para minigeração distribuída. Entretanto, existem aspectos que limitam a popularização mais abrangente dessa fonte de geração, tais como, investimento inicial elevado e localização, aumentando os custos de implementação. Além disso, existem outros fatores que podem limitar o rendimento dessa tecnologia, como, sujeira, sombreamento, temperatura do módulo fotovoltaico, umidade e temperatura do ar e, principalmente, radiação solar (BESSO, 2017) (CHAVES M. DE P., 2019) (SOUZA A. P. GARCIA OLIVEIRA, 2019).

Mesmo com a crise gerada pela pandemia do coronavírus, o Índice de Automação do Mercado Brasileiro 2020 – que mensura o nível de automação de empresas dos setores de indústria, comércio e serviços – atingiu a marca de 0,267, apontando um crescimento de 3% em relação à 2019. Desde quando começou a ser mensurado, em 2016, o índice registrou uma expansão de 7% (GS1, 2020). O Índice de Automação do Mercado Brasileiro é elaborado pela Associação Brasileira de Automação - GS1 Brasil.

Com o passar do tempo, novos termos e tecnologias foram surgindo. Uma delas é o chamado Smart Grid, literalmente, uma rede elétrica inteligente. Em muitos lugares, uma empresa de energia só saberá que o serviço está interrompido se um cliente ligar. Já em um cenário de Smart Grid, a companhia saberá imediatamente porque certos componentes da rede (medidores inteligentes na área afetada, por exemplo) pararam de enviar dados do sensor (CCM, 2024).

Segundo a distribuidora Neoenergia (NEOENERGIA, 2024), as Smart Grid são compostas de uma série de automações e tecnologias que objetivam, principalmente, conferir segurança, comodidade e sustentabilidade ao fornecimento de energia.

Sistemas de monitoramento em empreendimentos possibilitam detectar defeitos antes da ocorrência de falhas e anormalidades de forma eficaz e permite o acompanhamento de grandezas que são monitoradas em intervalos de tempo relativamente pequenos.

Para as usinas fotovoltaicas não é diferente. Consumidores conseguem ter acesso as métricas geradas pelo o inversor através de um datalogger conectado ao equipamento. Mas este ainda não é acessível, devido seu alto valor comercializado e dificuldade de encontrar no mercado brasileiro. Além da sua limitação ao acesso dos dados. Pois o cliente fica dependendo da disponibilidade desse serviço através das empresas.

Neste contexto, este trabalho propõe desenvolver um protótipo de aquisição de dados e um sistema de monitoramento para visualização de métricas.

O trabalho está organizado da seguinte forma: o detalhamento técnico do processo na seção 2. Na seção 3, o desenvolvimento do protótipo proposto. O sistema teste e os resultados obtidos são apresentados na seção 4. Por fim, as conclusões são detalhadas na seção 5.

## **1.1 OBJETIVOS**

### ***1.1.1 Objetivo Geral***

Desenvolver um sistema de monitoramento robusto, seguro e confiável, capaz de centralizar os dados gerados por equipamentos de um planta fotovoltaica bem como propor um protótipo de dataloggers para aquisição dos dados.

### ***1.1.2 Objetivos Específicos***

- Desenvolver um sistema de aquisição de dados com acesso remoto;
- Desenvolver simulações 3D para o desenvolvimento do protótipo;
- Publicação de artigos.

## **1.2 Justificativa**

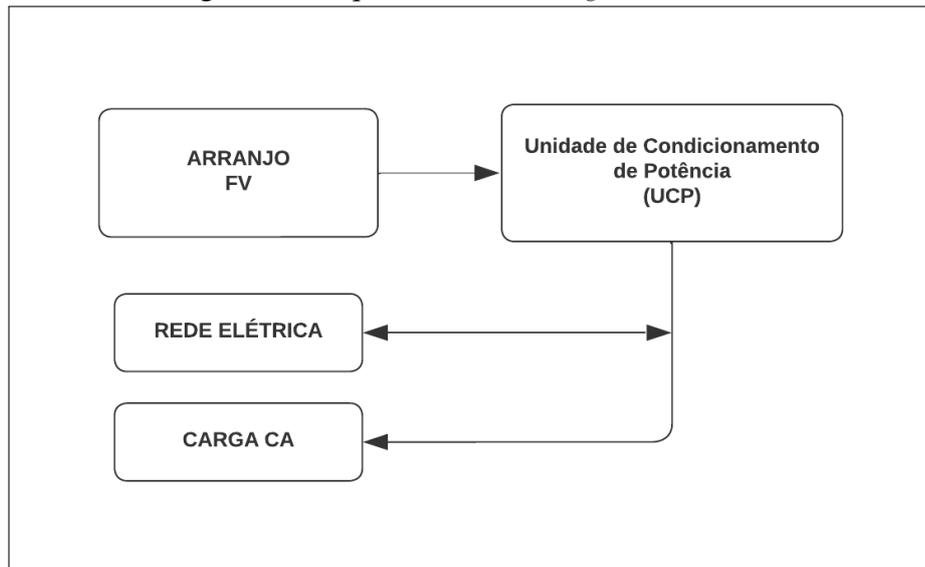
Diante do cenário descrito, observa-se a necessidade do desenvolvimento de um sistema de monitoramento capaz de fornecer dados para análise de performance, indicadores e estudos estatísticos, com o intuito de facilitar na identificação das falhas e previsões.

## 2 DETALHAMENTO TÉCNICO

### 2.1 Usina Fotovoltaica

A funcionalidade de uma usina fotovoltaica depende basicamente de três componentes Figura 1, a saber: painéis fotovoltaicos, inversor e carga.

Figura 1 – Esquema sistema *on-grid*



Fonte: Autor (2024).

Dependendo da usina, pode-se encontrar centenas de painéis e inversores, bem como equipamentos de medições meteorológicas, subestações e sistemas de proteção. Alguns destes com saída de dados via Serial.

### 2.2 Aquisição de Dados

Dentro da indústria é possível encontrar CLP (Controlador Lógico Programável) e Dataloggers para obter e monitorar dados de sensores e equipamentos.

Alguns fabricantes já oferecem seus próprios dispositivos de aquisição de dados, geralmente para o conforto do cliente e por serem *plug and play* (PnP), não necessitando de configurações complexas.

Estes dispositivos contêm entradas para obter os dados, através de portas analógicas, digitais, até mesmo com interface RS485 (CORREA, 2019), já que muitos equipamentos, como inversores fotovoltaicos, utilizam este padrão para comunicação através do protocolo MODBUS RTU.

Figura 2 – Datalogger Growatt.



Fonte: Growatt.

Entretanto, uma desvantagem de alguns desses dispositivos é o deslocamento que o consumidor precisa fazer até o local onde encontra-se o equipamento para realizar a coleta dos dados. (ABDALA, 2021) Em situações onde os equipamentos são de difícil acesso, até a necessidade de obter os dados com frequência, a utilização destes torna-se limitado.

### 2.3 Placa de desenvolvimento

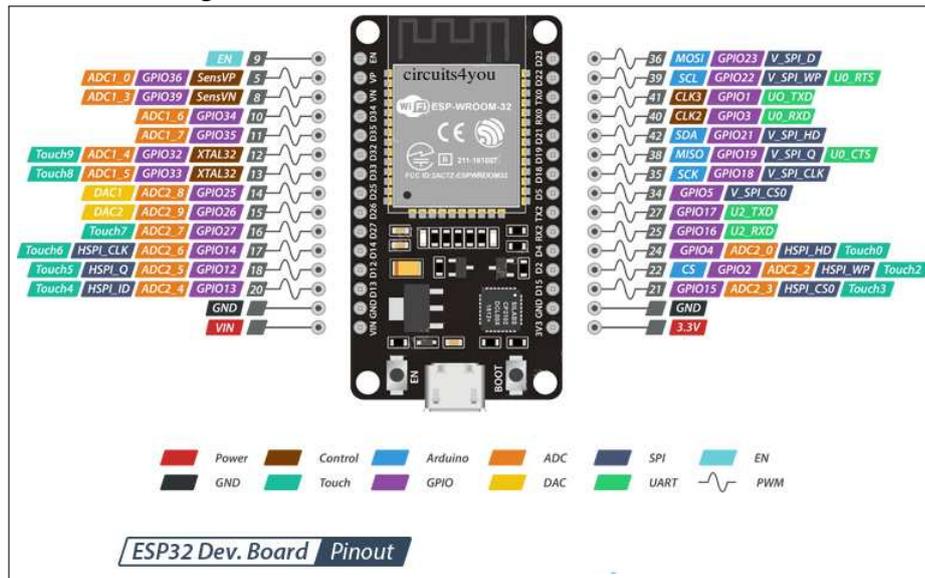
Existem placas de desenvolvimentos que permitem a criação de protótipos de maneira simples. São placas com um microcontrolador embarcado e todo um circuito pronto para poder conectar no computador e programar.

O DevKit ESP32, apresentado na Figura 3, é uma das placas disponíveis no mercado que desponta por ter um microcontrolador com processador de 32 bits, Dual Core e que possui o protocolo IEEE 802.11 (WiFi) integrado.

Esse conceito de placa de desenvolvimento ficou famoso após a criação do Arduino, onde o objetivo era fornecer uma placa pronta para receber sensores digitais e analógicos que possam ser programados.

A utilização dessas placas de desenvolvimento tem vantagem devido a grande comunidade de adeptos. Encontrar módulos e até bibliotecas de códigos não é uma dificuldade.

Figura 3 – Pinout do ESP32.



Fonte: Last Minute Engineers.

## 2.4 Comunicação

Na indústria, para receber os dados dos dispositivos, são utilizados servidores responsáveis pelo armazenamento em bancos de dados, tratamento, análise e até mesmo métodos estatísticos de previsão.

Os equipamentos que fornecem dados geralmente utilizando o protocolo MODBUS RTU por ser bastante difundido dentro da indústria.

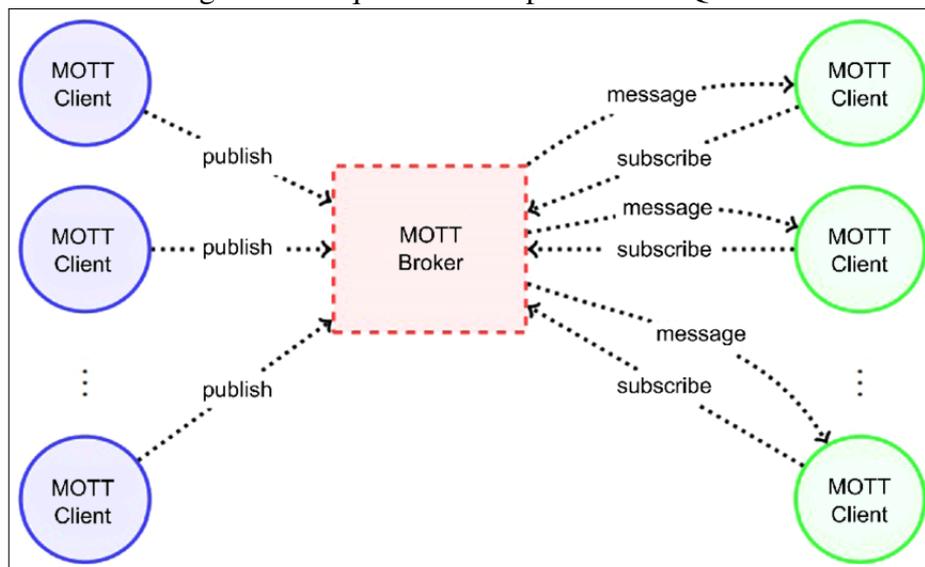
O protocolo Modbus RTU é baseado na comunicação mestre-escravo, onde apenas o único dispositivo mestre pode inicializar a comunicação (query), enquanto os dispositivos escravos respondem enviando os dados solicitados pelo mestre ou realizando alguma ação solicitada. Os equipamentos que possuem o padrão de meio físico RS-232 ou RS-485 geralmente podem utilizar o padrão de comunicação RTU. (PONTES, 2021).

Para enviar os dados coletados para a internet, são utilizados protocolos de redes. O protocolo muito conhecido para essa aplicação é o HTTP (Hypertext Transfer Protocol). Mas quando se fala em grande número de dados e um tráfego intenso, o HTTP não é o protocolo mais otimizado. O servidor teria que abrir e fechar a comunicação toda vez que um dado fosse enviado, o que proporciona um intenso uso de recursos computacionais. Para solucionar, o MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), Figura 4 surge para que aplicações IoT (Internet of things), que possuem intenso tráfego de informações, tendo uma vazão maior do que o HTTP. (CORREA, 2019) (BATISTA, 2022).

A estrutura do protocolo MQTT funciona conforme os princípios do modelo de

PUB (publicação) e SUB (assinatura). Na comunicação em rede HTTP, clientes e servidores comunicam-se diretamente entre si. Os clientes fazem uma requisição ao servidor, o servidor processa os dados e retorna uma resposta. Porém, o MQTT usa um padrão de PUB/SUB para desacoplar o remetente da mensagem (publicador) do destinatário da mensagem (assinante). Em vez de uma comunicação direta, a mensagem do remetente é recebida por todos os destinatários que estão assinados no mesmo tópico.(MQTT, 2022)

Figura 4 – Esquemático do protocolo MQTT



Fonte: Khalid S. Aloufi (2020).

Diante da quantidade de dados trafegados e que precisam ser guardados, o banco de dados para esse tipo de aplicação precisa ser performático. O InfluxDB surge com a proposta de ferramenta para armazenamento de séries temporais. (LACERDA, 2020).

## 2.5 Sistema de Supervisão

Para a visualização dos dados, sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) são utilizados, pois dispõe de interface capaz de monitorar e controlar a planta fotovoltaica.

Outro sistema muito utilizado para visualização de dados é de métricas. Podendo-se citar o software open-source Grafana.

Figura 5 – Plataforma Grafana.



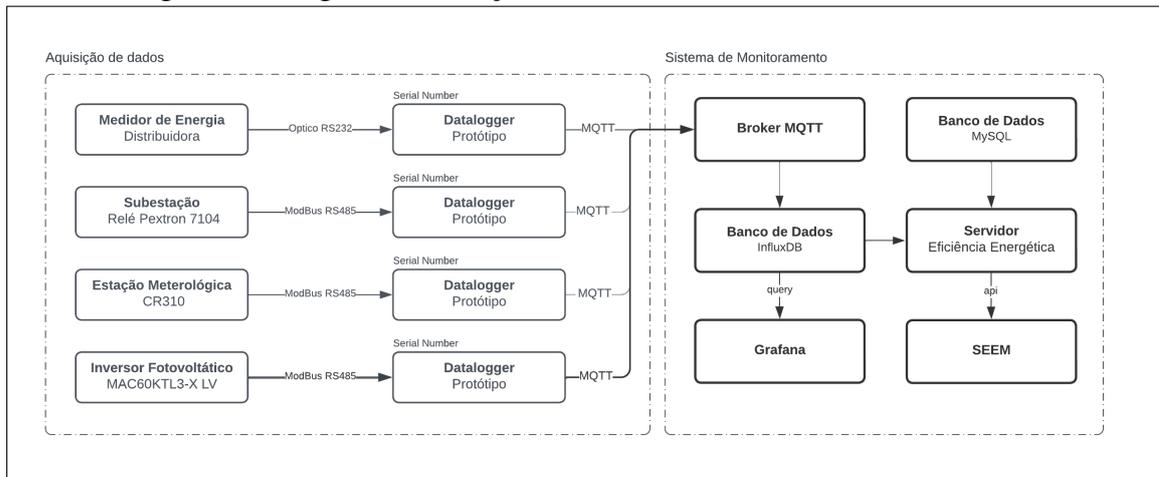
Fonte: Reprodução.

O Grafana é amplamente utilizado por grandes empresas para realizar o monitoramento de servidores, processos e estatísticas por sua facilidade na configuração, contendo integração com diferentes bancos de dados.

### 3 METODOLOGIA

Para uma melhor compreensão da metodologia descrita neste trabalho, o desenvolvimento do projeto será dividido em duas etapas: Protótipo de um datalogger para aquisição de dados e do Sistema de monitoramento. Uma planta fotovoltaica não contém somente painéis fotovoltaicos e inversores, mas um conjunto de sensores para uma melhor leitura e análise da energia produzida. A Figura 6 mostra o delineamento do projeto geral.

Figura 6 – Diagrama instalação.



Fonte: Autor.

O esquema da Figura 6 do sistema mostra o protótipo do datalogger, conectado aos equipamentos via ModBus RTU, e se comunicando com o broker via protocolo MQTT. O protótipo do datalogger, conecta-se a uma rede WiFi para enviar os dados para a internet. Nas seções a seguir estão apresentados os componentes e dispositivos propostos para o desenvolvimento, bem como a metodologia utilizada.

#### 3.1 Conhecendo usina

Inicialmente é preciso conhecer a usina onde será implementado o sistema de aquisição de dados, para obter informações dos equipamentos e potência instalada, além da localidade de instalação, podendo impactar diretamente em um monitoramento que necessite dos dados em tempo real, devido a falta de acesso a internet no local.

A usina utilizada para o desenvolvimento do trabalho fica no Campus das Auroras da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, localizada em Redenção - CE.

Figura 7 – Usina fotovoltaica campus auroras da UNILAB.



Fonte: Autor.

### 3.2 Aquisição de Dados

Como o inversor é o equipamento central de uma usina fotovoltaica, é nele onde existe todo o circuito de conversão de energia e processamento dos dados, alguns destes dados são: Voltagem (V), Corrente (A), Potência (W), Energia Diária Gerada (kWh) e Temperatura do Inversor ( $^{\circ}\text{C}$ ). Pesquisando o datasheet do equipamento, verifica-se que o mesmo contém porta de comunicação. O padrão da indústria é fornecer uma saída no Padrão RS485 com o protocolo ModBus RTU.

Figura 8 – Inversor Growatt



Fonte: Growatt.

A comunicação através deste protocolo, se dá por meio de registradores. É o endereçamento de cada variável que o equipamento fornece. Neste trabalho, foi utilizado o inversor de 60kW, modelo MAC60KTL3-X da fabricante Growatt.

Depois de conhecer a marca do inversor utilizado na instalação fotovoltaica e saber que o equipamento conta com uma saída RS485 com o protocolo MODBUS RTU, buscou-se o manual do fabricante para descobrir os endereços.

### 3.2.1 Registradores

Os registradores podem ser encontrados no manual do equipamento, onde existe uma tabela com diversas variáveis disponíveis para leitura através do protocolo ModBus RTU. Na Tabela 1 compõe-se alguns destes.

O ModBus possui algumas funções para comunicação. Os resgistradores expostos na tabela fazem parte da função Holding Registers. O código desta função é o 03 usado para ler o conteúdo de um ou vários registradores em um dispositivo escravo. Mas também é possível utilizar a função Input Registers com o código 04. A diferença entre as duas funções é que o Holding Registers permite receber e enviar dados. E o Input Registers só envia dados.

Tabela 1 – Registradores MODBUS RTU.

Endereço	Variável	Símbolo
3	Tensão	(V)
4	Corrente	(A)
35	Potência	(W)
53	Energia Diária	(kWh)
93	Temperatura	(°C)

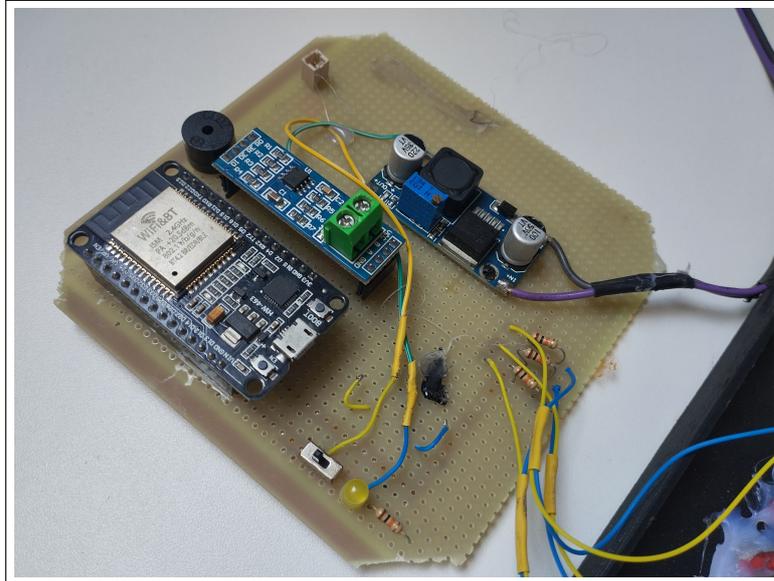
Percebe-se que os valores dos registradores estão em decimal. Contudo, é muito comum encontra-los no formato de hexadecimal. O formato dos dados depende de fatores como fabricante e modelo.

### 3.3 Montagem Protótipo

Para o desenvolvimento do protótipo de aquisição de dados, é necessário a utilização de qualquer microcontrolador capaz de realizar o processamento e comunicação dos dados. A placa de desenvolvimento ESP32 contém um microcontrolador embarcado, foi utili-

zada principalmente por fornecer acesso a internet por meio do protocolo IEEE 802.11 (WiFi) integrado.

Figura 9 – Protótipo sendo montado.

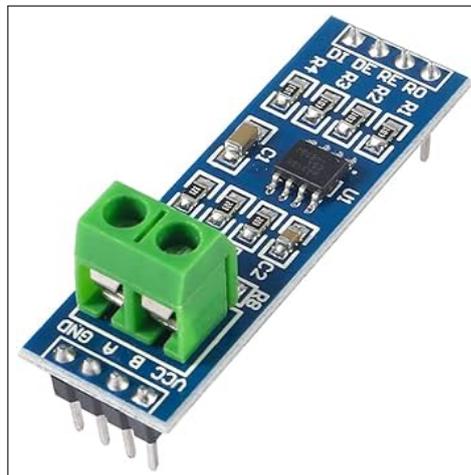


Fonte: Autor.

### 3.3.1 Módulo RS485

Sabendo que o inversor MAC60KTL3-X fornece uma saída de dados no Padrão RS485. Sendo primordial utilizar o módulo MAX485 como o da Figura 10 para comunicação física entre o inversor e o ESP32. O módulo fica com a responsabilidade de converter de RS485 para nível TTL.

Figura 10 – Módulo MAX485 Conversor RS485 Para TTL.

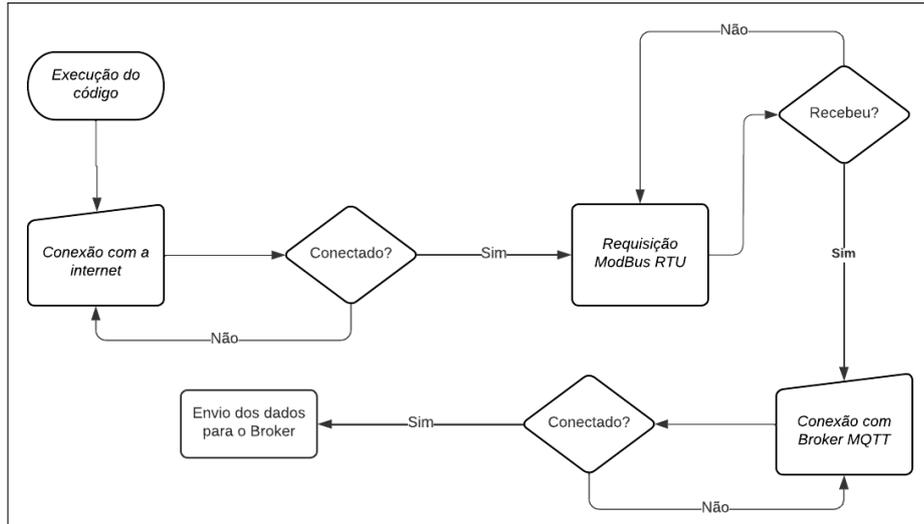


Fonte: Autor.

### 3.3.2 Programação

Na Figura 11, é exposto do esquemático do código. Inicialmente, detecta se o ESP32 está conectado ou não à internet. Em seguida, ocorre a comunicação física com o inversor, esperando o protocolo ModBus RTU responder.

Figura 11 – Esquema do código.

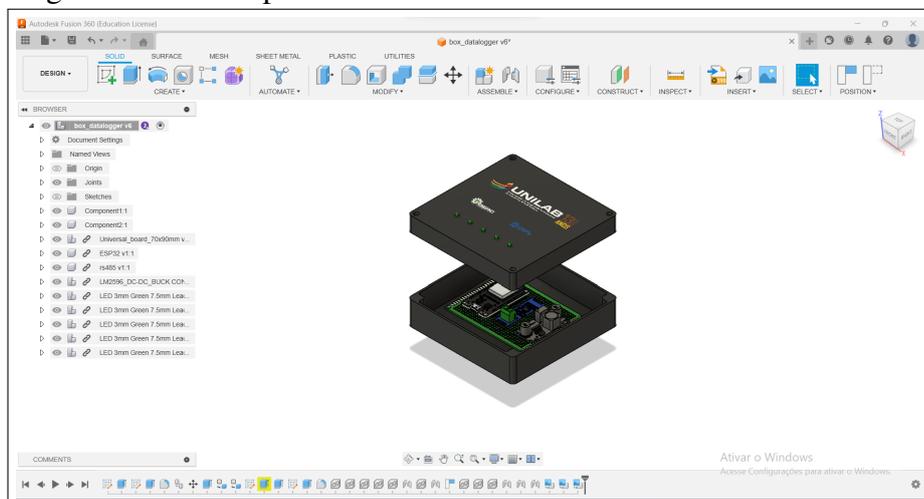


Fonte: Autor.

### 3.3.3 Caixa

Como o protótipo será testado em ambiente externo, foi desenvolvida uma caixa no *software* Fusion 360 e impressa utilizando uma impressora 3D.

Figura 12 – Protótipo no Software Fusion 360.

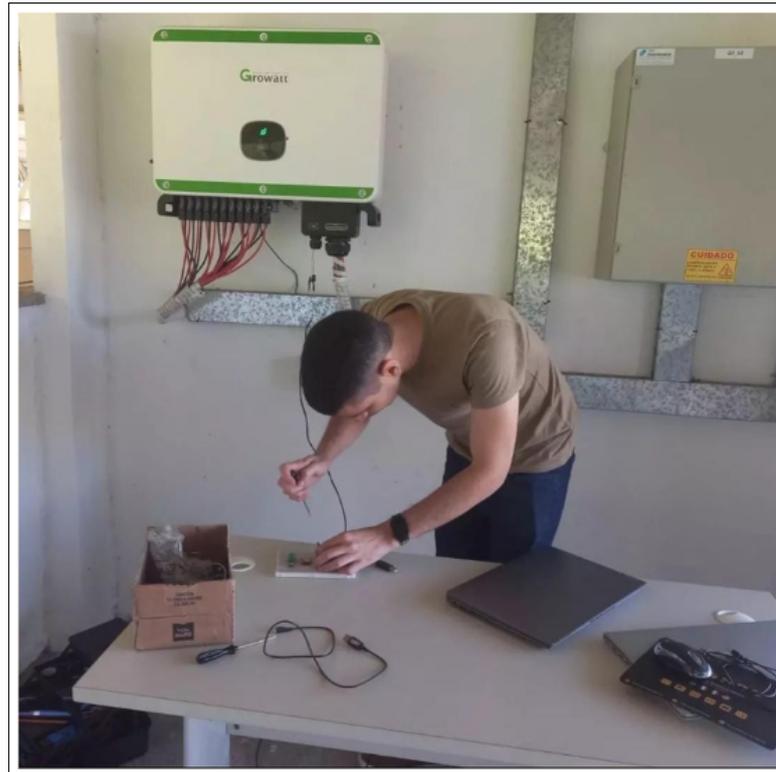


Fonte: Autor.

### 3.3.4 Instalação no Inversor

Com o protótipo desenvolvido, os primeiros testes em campo foram realizados, conectando-o ao inversor, como mostra a Figura 13. A grande parte das marcas dos inversores disponibiliza uma saída de dados padrão RS485.

Figura 13 – Montagem do protótipo no inversor



Fonte: Autor.

## 3.4 Grafana

Na visualização dos dados foi instalado a plataforma de analisar métricas Grafana. Utilizando um computador com o sistema operacional Linux Ubuntu, o grafana foi instalado e configurado para receber as informações do protótipo.

Há duas maneiras simples para usar o grafana. Primeiro configurando um banco de dados para a própria plataforma buscar os dados, segundo configurar o Broker MQTT dentro da plataforma para receber dados em tempo real.



## 4 RESULTADOS

Para verificar a eficácia do protótipo, investiga-se o comportamento quando: (i) a conexão é contínua e sem interferência, (ii) dados iguais ao exposto pelo visor LCD do inversor, (iii) comunicação com a internet no período de 12 meses.

### 4.1 Protótipo

Notou-se que a instalação física do protótipo não apresentou qualquer tipo de problemas ou desgaste, como mostra a Figura 16.

Figura 16 – Protótipo desenvolvido.



Fonte: Autor.

A comunicação física do protótipo ao inversor manteve-se estável no período de 12 meses, sendo necessário desconectar somente para manutenção preventiva no equipamento.

Percebeu-se que o cabo de rede utilizado não era de boa qualidade na isolação. No período em que foi utilizado, o cabo começou a descascar, provavelmente devido as condições de temperatura do local, mas sem afetar o funcionamento do protótipo.

Figura 17 – Protótipo conectado ao inversor.



Fonte: Autor.

Durante os 12 meses, o protótipo teve problemas de conexão com a internet, provavelmente pelo o sinal ruim de Wi-Fi no local onde foi instalado.

#### 4.1.1 Valores

O valor final do protótipo é inferior ao comercializado por algumas marcas de inversores fotovoltaicos, podendo variar de R\$ 450,00 a R\$ 600,00 no varejo. Como demonstrado na Tabela 2, a Diferença chega a R\$320,00.

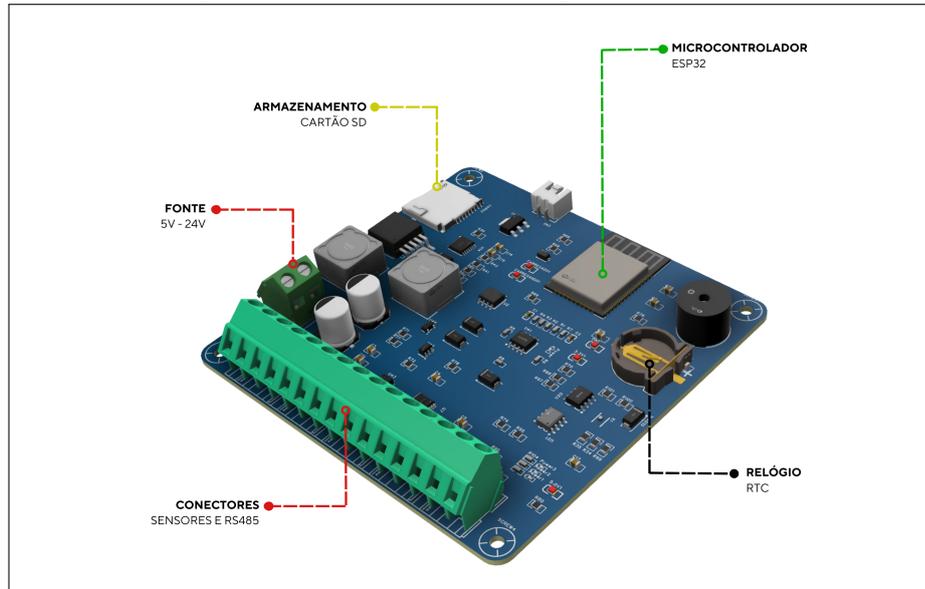
Tabela 2 – Preços protótipo.

Componentes	Quantidade	Valor Unitário
ESP32	1	R\$ 45,00
Módulo RS485	1	R\$ 10,00
Regulador de Tensão	1	R\$ 15,00
Bateria 18650	2	R\$ 30,00
<b>Total</b>		<b>R\$ 130,00</b>

## 4.2 Placa de Circuito Impresso

A Placa de Circuito Impresso não foi fabricada, os testes deste trabalho foram realizados com o protótipo.

Figura 18 – PCI desenvolvida para versão final



Fonte: Autor.

### 4.2.1 Valores

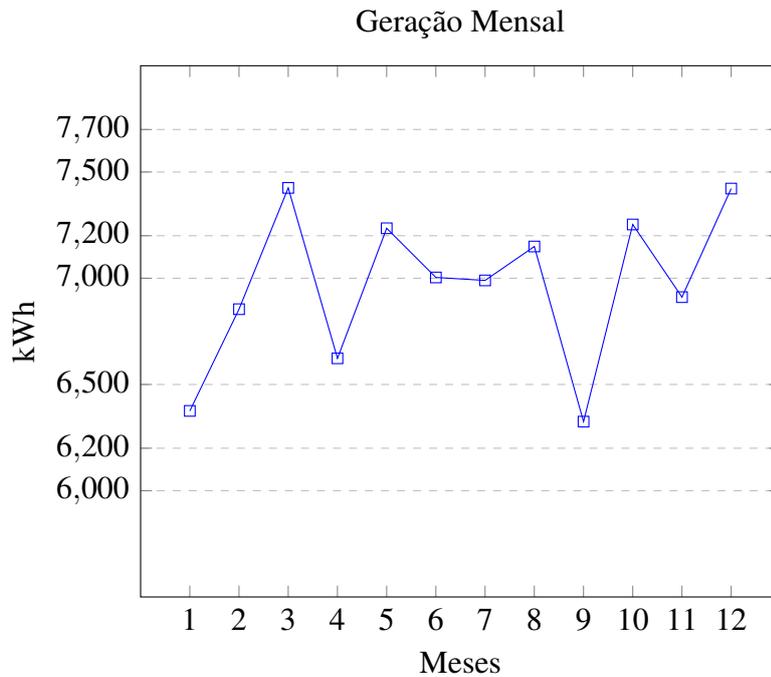
Foi feito um orçamento de 10 placas de circuito impresso (PCI) em fábricas da China com base no dólar à R\$5,58. O cálculo levou em consideração a compra dos componentes em fornecedores da China e o imposto de 100% ao chegar no Brasil. Percebe-se que o custo final por placa montada chega a R\$98,18. Não foi levado em consideração valores de mão de obra para montar cada placa.

Tabela 3 – Preços PCI.

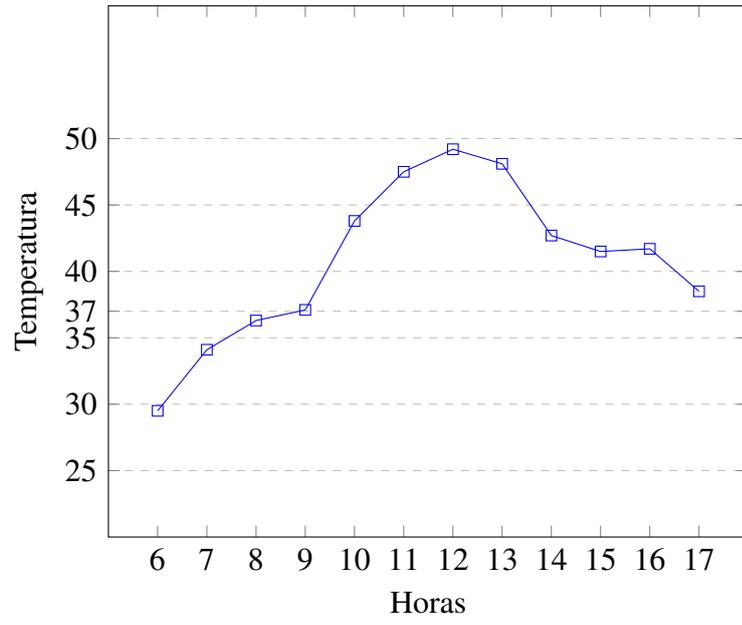
Descrição	Quantidade	Valor Unitário
PCI	10	R\$ 9,49
Componentes	-	± R\$ 396,00
Impostos	-	± R\$ 490,90
<b>Total</b>		<b>± R\$ 981,80</b>

### 4.3 Histórico de dados

Com os dados captados, foi possível plotar um gráfico do histórico de geração mensal Gráfico 1 coletados pelo o protótipo no período de Janeiro de 2023 a Dezembro de 2023. Nota-se grande variação para cada mês. Isso acontece devido a constante mudança climática na região que a usina fica instalada.



Depois da análise de dados, percebeu-se que vários dias no decorrer do ano, o inversor apresentou um grande aquecimento, causando alerta na equipe técnica da universidade para encontrar o problema. No Gráfico a seguir, expõe o dia 29/12/2023 onde o inversor chegou a valores extremos. Sabendo que a temperatura de trabalho desses equipamentos não podem ser superior a 40°C.



## **5 CONCLUSÕES**

Neste trabalho, foi desenvolvido um protótipo de aquisição de dados. Permitindo que pequenas empresas e consumidores finais tenham a possibilidade de monitorar suas usinas fotovoltaicas, visto que a usabilidade do protótipo é pertinente.

Para trabalhos futuros, pretende-se realizar o desenvolvimento de servidor privado e direcionado para o projeto, com o objetivo de manter a estabilidade do sistema e o desenvolvimento de uma interface WEB de controle para resetar o protótipo remotamente.

## REFERÊNCIAS

- ABDALA, C. R. D. M. e. M. C. S. B. S. Desenvolvimento de datalogger e servidor de banco de dados via embarcados: um estudo de coleta de dados de transectos móveis georreferenciados. **Rev. Cienc. Exatas Technol**, 2021.
- BATISTA, B. C. da Cunha e D. M. Avaliação da integração do protocolo mqtt em uma plataforma de cidades inteligentes. 2022.
- BESSO, R. Sistema solar fotovoltaico conectado à rede – estudo de caso no centro de tecnologia da ufrj. **Pantheon**, 2017.
- CCM. **Smart grid: saiba como funciona a rede elétrica inteligente - Blog da CCM - O melhor conteúdo para profissionais de TI**. [S.l.]: Blog da CCM, 2024. <<https://blog.ccmtecnologia.com.br/post/smart-grid-como-funciona-a-rede-eletrica-inteligente>>.
- CHAVES M. DE P., D. I. M. C. P. C. M. d. e. A. D. N. Estudo sobre sombreamento em planta fotovoltaica localizada em zona urbana de fortaleza-ce. **Revista Tecnologia**, v. 40, 2019. ISSN 1364-0321.
- CORREA, R. P. d. S. Solução de monitoramento de usinas fotovoltaicas utilizando gateway modbus/mqtt. **UFU**, 2019.
- GS1. **Índice de Automação da Indústria registra crescimento em 2020**. [S.l.]: GS1 Brasil, 2020. <<https://noticias.gs1br.org/indice-de-automacao-da-industria-registra-crescimento-em-2020>>.
- LACERDA, J. K. T. Avaliação de desempenho de bancos de dados para armazenamento de séries temporais. 2020.
- MQTT. [S.l.]: OASIS, 2022. <<http://docs.oasisopen.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.pdf>>.
- NEOENERGIA. **Smart Grids O que é e como funciona essa inovação em distribuição de energia elétrica**. [S.l.]: Neoenergia, 2024. <<https://www.neoenergia.com/w/smart-grids-o-que-e-e-como-funciona-essa-inovacao-em-distribuicao-de-energia-eletrica>>.
- PONTES, W. M. C. S. Implantação de estação solarimétrica e de sistema supervisorio com scadabr e plataforma iot em usina fotovoltaica na unilab-ce. 2021.
- SOUZA A. P. GARCIA OLIVEIRA, F. A. V. D. S. R. e. G. O. L. M. A. D. Efeitos da temperatura ambiente e da velocidade do vento no desempenho de módulos solares fotovoltaicos. **InterEspaco**, v. 4, p. 362, 2019. ISSN 1364-0321.