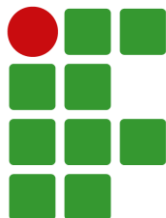


INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO



**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA AQUISIÇÃO
DE DADOS E MONITORAMENTO WEB DE USINAS FOTOVOLTAICAS**

IGOR AUGUSTO TASSE ANDRADE

ITUMBIARA – GO

2022



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Igor Augusto Tasse Andrade

Matrícula: 20151040100081

Título do Trabalho: DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA AQUISIÇÃO DE DADOS E MONITORAMENTO WEB DE USINAS FOTOVOLTAICAS

Autorização - Marque uma das opções

1. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Itumbiara-GO, 10 / 08 / 2022.
Local Data

Igor Augusto Tasse Andrade

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA AQUISIÇÃO
DE DADOS E MONITORAMENTO WEB DE USINAS FOTOVOLTAICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
por **Igor Augusto Tasse Andrade** ao Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Goiás para a **obtenção do título de
Engenheiro de Controle e Automação**,
realizado em 11/07/2022 pela Banca
Examinadora:

Prof. **Ghunter Paulo Viajante**, Dr. (IFG) –
Orientador

Prof. **Marcos Antônio Arantes de Freitas**, Dr.
(IFG)

Prof. **Cássio Xavier Rocha**, Dr. (IFG)

ITUMBIARA – GO

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A554d Andrade, Igor Augusto Tasse
Desenvolvimento de um sistema de baixo custo para aquisição de dados e monitoramento web de usinas fotovoltaicas. / Igor Augusto Tasse Andrade. -- Itumbiara, 2022.
84 p. : il. color.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Itumbiara, 2022.

Orientador: Prof. Dr. Ghunter Paulo Viajante.

1. Energia solar 2. Geração de energia fotovoltaica 3. Energia - Fontes alternativas. I. Título. II. Viajante, Ghunter Paulo. III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

CDD 621.47

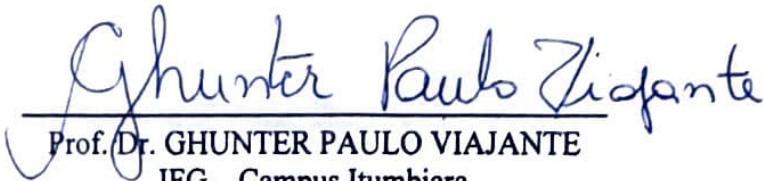
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Biblioteca Maria Gabriela Pacheco Pardey / Câmpus Itumbiara
Bibliotecário: Eduardo Pereira Resende CRB1/3266

IGOR AUGUSTO TASSE ANDRADE

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA AQUISIÇÃO DE DADOS E MONITORAMENTO WEB DE USINAS FOTOVOLTAICAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca avaliadora, parte dos requisitos para a obtenção do título de bacharel em Engenharia de Controle e Automação junto ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG), Câmpus Itumbiara.

Aprovado em 11 de julho de 2022.



Prof. Dr. GHUNTER PAULO VIAJANTE
IFG – Câmpus Itumbiara
Orientador



Prof. Dr. MARCOS ANTÔNIO ARANTES DE FREITAS
IFG – Câmpus Itumbiara
Avaliador



Prof. Dr. CASSIO XAVIER ROCHA
IFG – Câmpus Itumbiara
Avaliador

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Cleidinaldo Faria Andrade e Elza Aparecida Tasse que nunca mediram esforços para realização desta conquista, ao meu irmão Josafá Andrade que sempre esteve me dando auxílio para não desistir.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me proporcionar a oportunidade de chegar à onde estou.

Aos meus pais e irmão que sempre incentivaram e colaboraram com suas orações para minha formação.

Ao professor e orientador Ghunter Paulo Viajante pela atenção e dedicação na realização de todo o curso.

A todos os meus amigos, em especial a Heitor Lopes, Matheus Aguiar, João Eduardo, Matheus Terra e Ana Clara por toda ajuda e companheirismo ao longo de todo o curso.

Aos núcleos de pesquisa do IFG – Itumbiara, NUPSE e NUPSOL por toda colaboração para realização do trabalho.

“O ponto de partida de qualquer conquista é o desejo.”

Napoleon Hill

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo do sistema de geração solar fotovoltaico, utilizando um módulo solar como base para o monitoramento de uma usina solar fotovoltaica do Instituto Federal de Goiás – Câmpus Itumbiara. O objetivo principal é o desenvolvimento de um dispositivo de baixo custo para aquisição de dados e monitoramento de usinas solares fotovoltaicas que não dependa do fabricante do inversor. Para que seja possível monitorar as usinas é necessário obter os dados e enviá-los para um sistema web, onde é possível realizar análises do comportamento da geração de uma usina solar instalada no Instituto Federal de Goiás – Câmpus Itumbiara. Inicialmente é evidenciado alguns dos sistemas fotovoltaicos instalados na instituição, onde são demonstrados a quantidade de sistemas, módulos, inversores, ângulo, local e potência total que cada sistema é capaz de gerar. Posteriormente são apresentados todos os dispositivos utilizados para o desenvolvimento do hardware do sistema, como sensores, microcontrolador, fonte de alimentação e um circuito de condicionamento de sinais elétricos. Em seguida são apresentadas algumas estratégias comumente utilizadas para o monitoramento da potência elétrica gerada por um dos módulos da usina solar, a temperatura ambiente e a temperatura do módulo solar por meio da utilização de um sistema web conectado a um banco de dados que recebe as informações do microcontrolador através de um protocolo de comunicação. Por fim construiu-se em laboratório um sistema de baixo custo para aquisição de dados e monitoramento web da usina solar, visando monitorar a usina solar por meio de gráficos e tabela que são apresentados no sistema web. Por meio dos gráficos do sistema web realizou-se análises sobre a influência da variação da temperatura de operação do módulo na potência elétrica gerada. Por sua vez, o sistema de baixo custo permitiu análises da geração do módulo durante os dias em que esteve ligado, permitindo concluir a predominante influência da temperatura e radiação solar na potência gerada pelo módulo, verificando a grande perda de eficiência com a redução de ambos, normalmente ocorrida em dias nublados.

Palavras Chaves: Energia Solar, Monitoramento Web e Sistemas Microcontrolados.

ABSTRACT

This work presents a study of the photovoltaic solar generation system, using a solar module as a basis for monitoring a photovoltaic solar plant at the Federal Institute of Goiás - Campus Itumbiara. The main objective is the development of a low cost device for data acquisition and monitoring of photovoltaic solar plants that does not depend on the inverter manufacturer. In order to monitor the plants, it is necessary to obtain the data and send them to a web system, where it is possible to carry out analyzes of the behavior of the generation of a solar plant installed at the Federal Institute of Goiás - Campus Itumbiara. Initially, some of the photovoltaic systems installed in the institution are highlighted, where the number of systems, modules, inverters, angle, location and total power that each system is capable of generating are demonstrated. Subsequently, all the devices used for the development of the system's hardware are presented, such as sensors, microcontroller, power supply and an electrical signal conditioning circuit. Next, some strategies commonly used for monitoring the electrical power generated by one of the modules of the solar plant, the ambient temperature and the temperature of the solar module are presented through the use of a web system connected to a database that receives the information. of the microcontroller through a communication protocol. Finally, a low-cost system for data acquisition and web monitoring of the solar plant was built in the laboratory, aiming to monitor the solar plant through graphs and tables that are presented in the web system. Through the graphics of the web system, analyzes were carried out on the influence of the variation of the module's operating temperature on the electrical power generated. In turn, the low-cost system allowed analysis of the module generation during the days it was connected, allowing to conclude the predominant influence of temperature and solar radiation on the power generated by the module, verifying the great loss of efficiency with the reduction of both, usually on cloudy days.

Keywords: Solar Energy, Web Monitoring and Microcontrolled Systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Usinas Fotovoltaicas referentes a Tabela 2	24
Figura 2 – Usina Fotovoltaica em formato de árvore	24
Figura 3 – Usina solar responsável por fornecer energia ao laboratório de Fontes Renováveis.....	25
Figura 4 - Componentes de um microcontrolador	26
Figura 5 – Diagrama de blocos dos componentes internos do dispositivo ESP32 [7]	28
Figura 6 – Pinagem correspondente ao dispositivo ESP32.....	29
Figura 7 - Projeto da fonte simétrica	29
Figura 8 - Transdutor de tensão LV 20-P.....	30
Figura 9 - Transdutor de corrente LA 55-P [11].....	31
Figura 10 - Termômetro Digital DS18B20.....	31
Figura 11 - Diagrama de blocos do termômetro DS18B20.....	32
Figura 12 - Termômetro DS18B20 fora do encapsulamento metálico a prova d'água	33
Figura 13 – Visual do módulo de condicionamento de sinais elétricos	33
Figura 14 - Módulo de condicionamento de sinais elétricos montado	34
Figura 15 – Circuito completo do módulo de aquisição e condicionamento de sinais elétricos.....	34
Figura 16 – Primeiro estágio do circuito do módulo de condicionamento de sinais	35
Figura 17 - Circuito divisor de tensão	35
Figura 18 - Estágio de filtro anti-aliasing.....	36
Figura 19 - Estágio somador Nível Lógico.....	36
Figura 20 - Funcionamento de um sistema Web	40
Figura 21 - Funcionamento do protocolo HTTP.....	43
Figura 22 - Funcionamento do protocolo MQTT	44
Figura 23 - Representação completa do sistema de aquisição de dados	47
Figura 24 - Circuito para aquisição das temperaturas	47
Figura 25 - Inclusão das bibliotecas para trabalhar com o sensor DS18B20	48
Figura 26 - Instanciando classes.....	48
Figura 27 - Acionamento e contagem dos sensores DS18B20	48
Figura 28 - Leitura e aquisição das temperaturas	49
Figura 29 - Módulo de condicionamento de sinais elétricos.....	49
Figura 30 - Circuito para aquisição da corrente e tensão da usina solar	50
Figura 31 - Biblioteca para realizar a comunicação RX TX	50
Figura 32 - Declarando os pinos RX e TX da porta serial	50
Figura 33 - Inicializando a porta serial	51
Figura 34 - Função responsável por enviar os dados para o ESP Receptor	51
Figura 35 - Biblioteca para realizar a comunicação RX TX	51
Figura 36 - Inicializando a porta serial	51
Figura 37 – Recebendo, particionando e armazenando os dados recebidos na porta serial.....	52
Figura 38 - Conexão do ESP Receptor com o WiFi	52
Figura 39 - Realizando conexão com o Banco de Dados.....	53
Figura 40 - URL criada para salvar os dados obtidos no Banco de Dados	54
Figura 41 - Arquivo criado para realizar o armazenamento dos dados no Banco de Dados	54
Figura 42 - Inserção de dados apresentadas pela porta serial da IDE Arduino	55
Figura 43 - Painel de Controle do pacote XAMPP.....	56
Figura 44 - Servidor trocando informações do Banco de Dados	57

Figura 45 - Interface do Banco de Dados MySQL	57
Figura 46 - Fluxograma de funcionamento do sistema web	58
Figura 47 - Painel de Controle do sistema web	59
Figura 48 - Modelo de consulta de dados utilizando o sistema web	60
Figura 49 - Menu de navegação do sistema web	60
Figura 50 - Página inicial do sistema web	61
Figura 51 - Tabela de dados do sistema web	61
Figura 52 - Gráfico de potência do sistema web.....	63
Figura 53 - Gráfico de temperaturas do sistema web.....	63
Figura 54 – Usina Fotovoltaica monitorada no presente trabalho.....	64
Figura 55 - Inversor utilizado na usina solar monitorada	65
Figura 56 – Banco de baterias utilizado no sistema monitorado.....	65
Figura 57 - Calibração do sistema de baixo custo em laboratório	66
Figura 58 - Circuito para calibração do sistema de baixo custo.....	66
Figura 59 - Relação das amostras da entrada AD do ESP32 correspondentes aos valores de corrente da fonte	66
Figura 60 - Relação das amostras da entrada AD do ESP32 correspondentes aos valores de tensão da fonte	67
Figura 61 - Relação das amostras da entrada AD do ESP32 correspondentes aos valores de corrente do osciloscópio.....	68
Figura 62 - Conexão da plataforma no sistema de geração.....	69
Figura 63 – Resultados experimentais correspondentes ao dia 04/05/2022 (dia nublado)	70
Figura 64 – Resultados experimentais correspondentes ao dia 09/05/2022 (dia de sol)	70
Figura 65 – Resultados experimentais correspondentes ao dia 11/05/2022 (dia de sol)	71
Figura 66 – Resultados experimentais correspondentes ao dia 12/05/2022 (dia de sol)	71
Figura 67 – Resultados experimentais correspondentes ao dia 13/05/2022 (dia de sol)	72
Figura 68 – Resultados experimentais correspondentes ao dia 07/06/2022 (dia de sol)	73
Figura 69 – Resultados da estação solarimétrica correspondente ao dia 07/06/2022	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Condições padrões para teste de eficiência dos módulos solares	17
Tabela 2 – Informações das Usinas Fotovoltaicas do IFG – Câmpus Itumbiara.....	23
Tabela 3 – Comparação entre os sistemas operacionais do ESP8266 e ESP32 [7].....	28
Tabela 4 – Comparação entre os protocolos HTTP e MQTT	44
Tabela 5 – Informações dos módulos fotovoltaicos correspondentes ao sistema monitorado	64
Tabela A.1 - Código desenvolvido para aquisição dos dados dos sensores conectados.....	77
Tabela A.2 - Código desenvolvido para armazenar os dados obtidos ao Banco de Dados	79

LISTA DE ABREVIATURA E SÍMBOLOS

m ²	Metro quadrado (unidade de medida de tamanho)
A	Ampere (unidade de corrente elétrica)
UART	Circuito integrado utilizado para comunicações seriais
I2C	Protocolo de comunicação de quatro fios
SPI	Protocolo de comunicação de dois fios
I-V	Comportamento da corrente em função da tensão gerada
P-V	Comportamento da potência em função da tensão gerada
STC	Condição padrão de teste do módulo solar
A/D	Conversão de analógico para digital
TX	Transmissor de dados
RX	Receptor de dados
AO's	Amplificadores Operacionais
IoT	Internet das Coisas
JSON	Formato leve de troca de informações entre sistemas
DBMS	Sistemas de software para armazenar, recuperar e executar consultas em dados
CO ₂	Gás carbônico
DC	Corrente Contínua
DSP	Processamento de Sinal Digital
IFG	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
μF	Micro Farad (submúltiplo da unidade de capacitância)
Ω	Ohm (unidade de resistência elétrica)
V	Volt (unidade de tensão elétrica)
W	Watt (unidade de potência elétrica)

SUMÁRIO

1. Introdução Geral.....	16
1.1. Considerações Iniciais	16
1.2. Objetivos do Trabalho	18
1.3. Apresentação do Conteúdo do Trabalho.....	19
2. Usinas Fotovoltaicas do Instituto Federal de Goiás – Câmpus Itumbiara.....	21
2.1. Introdução	21
2.2. Usinas Fotovoltaicas.....	21
2.3. Usinas Fotovoltaicas presentes no IFG - Câmpus Itumbiara	22
2.4. Conclusão.....	25
3. Hardware.....	26
3.1. Introdução	26
3.2. Microcontrolador.....	26
3.3. ESP32.....	27
3.4. Fonte Simétrica de Alimentação.....	29
3.5. Sensor de Tensão.....	30
3.6. Sensor de Corrente	30
3.7. Sensor de Temperatura	31
3.8. Circuito de Condicionamento de Sinais Elétricos.....	33
3.9. Conclusão.....	37
4. Software	39
4.1. Introdução	39
4.2. Sistemas Embarcados	39
4.3. Sistema Web.....	39
4.4. Banco de Dados.....	40
4.4.1. Oracle	41
4.4.2. SQL Server	41
4.4.3. MySQL.....	42
4.4.4. PostgreSQL.....	42
4.4.5. MongoDB.....	42
4.4.6. NoSQL	42
4.5. Protocolos de Comunicação	43
4.6. Conclusão.....	45
5. Implementação do dispositivo de Baixo Custo.....	46

5.1.	Introdução	46
5.2.	Aquisição e Envio de Dados.....	46
5.3.	Armazenamento de Dados.....	55
5.4.	Sistema Web.....	58
5.4.1.	Menu de Navegação	60
5.4.2.	Home	61
5.4.3.	Tabela.....	61
5.4.4.	Gráficos	62
5.4.5.	Sair	63
5.5.	Sistema de Monitoramento Experimental.....	63
5.6.	Resultados Experimentais.....	69
5.7.	Conclusão.....	74
	Considerações Finais.....	75
5.8.	Conclusão.....	75
5.9.	Sugestões para Trabalhos Futuros	75
A.	Apêndice A	77
	Introdução	77
	Código do Sistema para aquisição dos dados dos sensores conectados a usina fotovoltaica	77
	Código do Sistema de armazenamento de dados no Banco de Dados	79
	Referências.....	81

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO GERAL

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Durante o século XX, a geração de energia era obtida em maior parte por meio de combustíveis fósseis, como petróleo e carvão mineral que deram suporte ao crescimento da economia mundial. O acentuado crescimento econômico neste período demandava aumento proporcional na geração de energia elétrica. Os recursos naturais oriundos de combustíveis fósseis além de poluir o meio ambiente, não poderiam ser vistos como a única solução, pois os mesmos não são renováveis [1].

Devido à escassez de energias derivadas dos recursos fósseis e das alterações climáticas que o uso destas energias provoca, torna-se necessário recorrer a novas fontes de energia não poluentes, de forma a diminuir a dependência dos combustíveis fósseis. A energia solar é uma das opções na busca por alternativas que não agredam o meio ambiente, devido ser uma fonte não poluente e inesgotável [2].

Define-se energia solar como a energia gerada através da conversão da luz solar em eletricidade, desenvolvendo-se o efeito fotoelétrico, através de uma célula ou conjunto de células solares, construídas a partir de materiais semicondutores. Acredita-se que o principal desafio dos sistemas fotovoltaicos se refere a eficiência do processo de conversão de energia, normalmente inferior a 30% em condições normais de operação [3].

O aproveitamento dessa forma de energia está aumentando significativamente, onde a radiação solar vem sendo utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e também para geração de energia elétrica. O aproveitamento da iluminação natural e do calor para aquecimento de ambientes, denominado aquecimento solar passivo, decorre da penetração ou absorção da radiação solar nas edificações, reduzindo-se, com isso, as necessidades de iluminação e aquecimento. Assim, um melhor aproveitamento da radiação solar pode ser feito com o auxílio de técnicas mais sofisticadas de arquitetura e construção [2].

De acordo com [4] a eficiência de um módulo fotovoltaico representa o seu potencial de conversão de luz solar em energia elétrica por metro quadrado, logo quanto maior sua eficiência, maior será a quantidade de energia elétrica produzida por m^2 com a mesma

quantidade de luz incidente. É necessário entender que a eficiência dos painéis solares informada por seu fabricante é medida em laboratório por meio de um teste que utiliza um conjunto de valores reconhecido e adotado internacionalmente, conhecido como STC. O STC trata-se dos padrões definidos pela indústria solar para atestar a qualidade e eficiência dos equipamentos. São utilizadas três condições padrões de testes, possibilitando que todos os painéis solares possam ser comparados e avaliados de forma mais precisa. A Tabela 1 evidencia as condições padrões utilizadas para realizar o teste de eficiência dos módulos solares.

Tabela 1 – Condições padrões para teste de eficiência dos módulos solares

Condições	Valor	Descrição
Temperatura	25°C	O painel solar durante o teste deve estar em 25°C.
Irradiação Solar	1000W/m ²	Esse número refere-se à quantidade de energia que incide sobre uma determinada área em um determinado momento. Trata-se de uma média de quantidade de luz solar que incide na superfície terrestre.
Massa de Ar	1,5	Esse número é difícil de medir, uma vez que se refere à quantidade (extensão) de atmosfera terrestre que a luz precisa passar antes de chegar ao solo. Está relacionado, principalmente, com o ângulo do sol em relação ao ponto de referência sobre a terra.

Entretanto, as condições ideais são muito diferentes das encontradas diariamente, pois estas dependem das condições climáticas. A fim de garantir uma operação confiável e estável de qualquer sistema fotovoltaico, faz-se necessário o uso de um sistema de monitoramento eficiente que avalie em tempo real as características do painel, como, as curvas correntes x tensão (I-V), potência x tensão (P-V) e energia gerada. Atualmente os próprios inversores fotovoltaicos possuem sistemas de monitoramento da energia gerada e injetada na rede elétrica, mas estes sistemas são proprietários e existe uma dificuldade de integrar sistemas com inversores de diferentes fabricantes.

No caso de inversores que não possuem sistemas de monitoramento, existe a possibilidade de utilização de datalogger, que é um dispositivo eletrônico que faz o registro de dados ao longo do tempo. Ele se comunica com os inversores fotovoltaicos, captando dados que são utilizados no monitoramento de usinas. Esses equipamentos buscam apenas as informações internas do inversor.

Uma alternativa é o desenvolvimento de sistemas embarcados baseados em microcontroladores e sensores para aquisição de dados meteorológicos, energia gerada e consumida. Os sistemas embarcados revolucionam o mundo continuamente melhorando a vida das pessoas. Um sistema embarcado salva vidas em marcapassos, garante a segurança dos transportes em computadores aviônicos e freios ABS, também aproxima as pessoas através de satélites e equipamentos de telecomunicações, agrega conforto ao dia a dia com impressoras, TVs e players de mídia. Os sistemas embarcados também são aplicados em sistemas de rede elétrica, em sistemas bélicos, em reatores nucleares, entre outros eletrônicos.

Por meio dos sistemas de monitoramento é possível realizar medições de uma instalação fotovoltaica. Em seguida, esses dados são sistematizados e apresentados em formato de gráficos, podendo ser exibidos de acordo com o período desejado e de forma independente do modelo de inversores.

Tendo em vista o que foi apresentado anteriormente, estabelece-se conceitos construtivos na fundamentação teórica, uma vez que desenvolveu-se neste trabalho um protótipo que contribua para o reconhecimento das informações de uma usina solar fotovoltaica presente no Instituto Federal de Goiás – Campus Itumbiara. Por meio deste protótipo foi possível obter um sistema de monitoramento de forma independente do modelo de inversores. As informações obtidas por meio de sensores conectados a usina fotovoltaica são armazenadas em um banco de dados e dispostas em um sistema web por meio da utilização de um servidor local, sendo possível realizar consultas por meio de tabela ou de forma gráfica em um intervalo de datas específico.

1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO

Este trabalho tem como objetivo criar um sistema capaz de receber, processar e computar dados de uma usina solar fotovoltaica instalada no Instituto Federal de Goiás – Câmpus Itumbiara. O intuito é proporcionar facilidade no monitoramento dos rendimentos de usinas solares. Para alcançar os objetivos propostos foram delineadas as seguintes metas:

- I. Estudar e analisar tecnologias, técnicas e modelos que possam auxiliar na aquisição dos dados de temperatura, tensão e corrente elétrica;
 - II. Estudar e analisar modelos de como realizar o armazenamento de dados em um Banco de Dados;
 - III. Estudar e analisar os protocolos de comunicação e de transferência de dados para utilizar neste projeto;
-

- IV. Estudar e analisar tecnologias e modelos que possibilitem a criação de um sistema web de baixo custo;
- V. Desenvolver um hardware protótipo de baixo custo, capaz de realizar a aquisição de dados de temperatura, tensão e corrente elétrica por meio da plataforma IDE Arduino;
- VI. Desenvolver um software capaz de receber e enviar dados computados pelo hardware para um Banco de Dados;
- VII. Desenvolver um sistema web que forneça todos os dados contidos dentro do Banco de Dados, em formato de tabela ou em formato de gráficos, de modo a possíveis análises pelo usuário do sistema web.

1.3. APRESENTAÇÃO DO CONTEÚDO DO TRABALHO

O trabalho foi organizado da seguinte forma:

O Capítulo 2 discorre sobre as usinas fotovoltaicas instaladas no Instituto Federal de Goiás – Câmpus Itumbiara, demonstrando a capacidade instalada e os locais onde as usinas estão localizadas.

O Capítulo 3 apresenta detalhadamente os dispositivos utilizados na elaboração do sistema de baixo custo para aquisição de dados, exibindo os sensores utilizados para o monitoramento da temperatura ambiente e temperatura do módulo fotovoltaico, bem como os transdutores de efeito hall destinados ao monitoramento da potência elétrica gerada pela usina solar fotovoltaica, o módulo de condicionamento de sinais elétricos, a fonte de alimentação simétrica utilizada para alimentação dos transdutores e o microcontrolador utilizado para realizar a aquisição dos dados da usina para o armazenamento em um banco de dados.

No Capítulo 4 é apresentado o que são sistemas embarcados, o que é e como funciona um sistema web, armazenamento de dados utilizando banco de dados, bem como os tipos de banco de dados existentes e quais suas finalidades, finalizando com uma abordagem sobre os protocolos HTTP e MQTT, onde também é evidenciado qual foi utilizado neste trabalho e o que motivou a utilização de tal protocolo.

O Capítulo 5 apresenta detalhadamente como o sistema de baixo custo foi implementado.

No Capítulo 6 é apresentado a conclusão deste trabalho e algumas sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

USINAS FOTOVOLTAICAS DO INSTITUTO FEDERAL DE GOIÁS – CÂMPUS ITUMBIARA

2.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta uma breve abordagem sobre usinas fotovoltaicas. Durante este capítulo, serão apresentadas as usinas fotovoltaicas presentes no Instituto Federal de Goiás – Câmpus Itumbiara. Serão evidenciadas algumas informações com relação aos sistemas instalados nesta instituição, como a quantidade de módulos e sistemas contidos nela, bem como seus locais de instalações e a quantidade de energia produzida por esses sistemas.

2.2. USINAS FOTOVOLTAICAS

A energia solar fotovoltaica é uma energia de fonte renovável inesgotável, que não traz danos ao meio ambiente devido não depender de uma grande área de instalação. Além disso, seus resíduos são eliminados de modo a evitar a poluição ambiental, evitando também o desmatamento e outros impactos negativos.

De acordo com [4] a importância da energia solar pode ser avaliada a partir do seu impacto social e ambiental. A importância social da energia solar se deve ao fato de que a sua utilização contribui para que as comunidades de baixa renda possuam acesso a energia elétrica, incentivando a melhoria do saneamento básico e outros serviços essenciais, de modo a colaborar para que moradores de locais inferiores possam ter acesso à informação e sistema simples que podem salvar vidas. Do ponto de vista ambiental, a energia solar é importante devido ser gerada sem emitir gases responsáveis pelo efeito estufa, sendo uma energia alternativa, limpa e renovável. Logo, é fundamental a população incentivar a utilização deste tipo de tecnologia a fim de melhorar sua relação com a natureza favorecendo populações não abastecidas pela energia elétrica convencional.

A seguir são listadas algumas das vantagens ao utilizar a energia solar:

- I. A energia solar não traz danos ao meio ambiente;
 - II. Ela é totalmente gratuita e renovável;
 - III. Não emite ruídos;
-

- IV. Necessita de uma mínima manutenção, que é a limpeza dos painéis, podendo ser realizada de uma a duas vezes por ano dependendo do local instalado;
- V. Possui baixo custo em relação a sua vida útil, pois normalmente a garantia dos módulos são de até 25 anos;
- VI. Painéis fotovoltaicos são fáceis de instalar;
- VII. Economia na conta de energia;
- VIII. Pode ser utilizada em áreas isoladas de energia elétrica.

2.3. USINAS FOTOVOLTAICAS PRESENTES NO IFG - CÂMPUS ITUMBIARA

Em 2017 o IFG Câmpus Itumbiara submeteu o Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), em atendimento ao edital da ANEEL, Chamada 001/2016 do Projeto Prioritário de Eficiência Energética e Estratégico de P&D: ***“Eficiência Energética e Minigeração em Instituições Públicas de Educação Superior”*** do qual originou o ***“Projeto Prioritário de Eficiência Energética e Minigeração no IFG”***. O projeto foi aprovado pela ANEEL conforme despacho nº. 1.758, de 20 de junho de 2017.

Neste projeto foram contemplados todos os Câmpus do IFG que possuíam sede própria, entre eles, o Câmpus Itumbiara. Dentre as ações realizadas pelo projeto através da Eficiência Energética foram implementadas as seguintes frentes de atuação:

- I. Realização de melhoria no sistema de iluminação atual, no Câmpus do interior com sede própria, substituindo-os por sistema de iluminação com tecnologia LED (resultando em 18.377 lâmpadas substituídas);
- II. Realização de processo de etiquetagem do nível de eficiência energética através do PBE Edifica (resultando em uma edificação etiquetada);
- III. O projeto também contemplou instalações de micro e minigeração solar fotovoltaica, aqui denominado de Fonte Incentivada de Energia, para redução do consumo de energia, com potência total de 1 MWp.

Especificamente no Câmpus Itumbiara houve a instalação de nove sistemas de geração de energia elétrica por meio da tecnologia solar fotovoltaica. Ao todo foram instalados 815 módulos fotovoltaicos policristalinos, com capacidade de 253.35 kWp, o que equivale aproximadamente ao abastecimento de 253 casas populares.

Com a instalação desses sistemas fotovoltaicos está sendo possível a redução nos valores pagos na conta de energia elétrica mensal do Câmpus, além de beneficiar a instituição proporcionando a formação de mão de obra especializada, onde serão ofertados cursos de curta

duração na área de sistemas fotovoltaicos e o fortalecimento do processo de ensino e aprendizagem através de aulas práticas.

Esses sistemas foram instalados em diversos locais do Câmpus, tanto no solo quanto nos telhados dos blocos de salas de aulas da instituição, visando facilitar o desenvolvimento de aulas práticas e pesquisas científicas com a participação de alunos, comunidade e pesquisadores. Vale ressaltar também que o sistema ainda conta com uma estação meteorológica para o registro de dados de radiação solar, velocidade do vento e temperaturas ambiente e dos módulos fotovoltaicos para subsidiar os estudos que alunos e professores irão realizar ao longo do tempo. A Tabela 2 evidencia as informações das Usinas Fotovoltaicas presentes no Instituto Federal de Goiás – Câmpus Itumbiara.

Tabela 2 – Informações das Usinas Fotovoltaicas do IFG – Câmpus Itumbiara

Itumbiara		Quant. Módulos	Potência (Wp)	Total (kWp)	Potência Inversor (kW)	Azimute (o.)	Inclinação (°)
Bloco 300	Sistema 01	80	270	21,6	20	50 Oeste	7
Bloco 400	Sistema 02	80	270	21,6	20	50 Oeste	7
Bloco 500	Sistema 03	80	270	21,6	20	50 Oeste	7
Solo 01	Sistema 04	20	270	5,4	5	Norte	18
Solo 02	Sistema 05	144	330	47,52	40	Norte	18
Bloco 300	Sistema 06	72	330	23,76	20	130 Leste	7
Bloco 400	Sistema 07	72	330	23,76	20	130 Leste	7
Bloco 500	Sistema 08	72	330	23,76	20	130 Leste	7
Bloco 200	Sistema 09	99	330	32,67	60	50 Oeste	7
		96	330	31,68		130 Leste	7

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Na Figura 1 será evidenciado as usinas apresentadas na Tabela 2, onde cada uma delas contará com uma seta apontada com sua respectiva descrição.

Figura 1 – Usinas Fotovoltaicas referentes a Tabela 2



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Além das usinas fotovoltaicas destacadas anteriormente, ainda existe mais duas usinas que não foram mencionadas. A Figura 2 e Figura 3 evidenciam essas outras usinas fotovoltaicas que também estão inseridas no IFG – Câmpus Itumbiara.

Figura 2 – Usina Fotovoltaica em formato de árvore



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Figura 3 – Usina solar responsável por fornecer energia ao laboratório de Fontes Renováveis



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

2.4. CONCLUSÃO

Este capítulo apresentou uma breve explicação sobre usinas solares fotovoltaicas, seus benefícios com relação a parte social e ambiental, além de demonstrar as vantagens de se ter um sistema solar fotovoltaico instalado. Além disso, houve uma breve explicação sobre as usinas solares fotovoltaicas instaladas no Instituto Federal de Goiás – Campus Itumbiara, contendo informações sobre os sistemas instalados na instituição e os benefícios que essas instalações trazem e irão trazer a instituição.

CAPÍTULO 3

HARDWARE

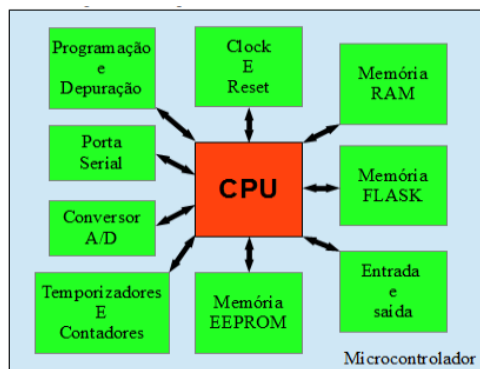
3.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta uma abordagem teórica sobre o hardware da plataforma de baixo custo para aquisição de dados da usina solar fotovoltaica. De acordo com [5] hardware é todo componente físico, interno ou externo de um equipamento que determina do que um dispositivo é capaz e como você pode utilizá-lo.

3.2. MICROCONTROLADOR

Microcontroladores são circuitos integrados que possuem em seu interior todos os componentes necessários ao seu funcionamento dependendo unicamente da fonte de alimentação externa. Pode-se dizer que os microcontroladores são computadores de um único chip [6]. Na Figura 4 será apresentado os componentes de um microcontrolador típico.

Figura 4 - Componentes de um microcontrolador



Fonte: Elaborado por [6]

Um sistema microprocessado é composto por uma unidade central de processamento e um conjunto de periféricos necessários para seu funcionamento, dentre eles pode-se destacar a memória de dados, a memória programável e o circuito de clock. A integração dos componentes é uma das principais vantagens dos microcontroladores, pois contendo todos os periféricos no mesmo componente torna-se a sua utilização mais fácil e mais barata.

Os microcontroladores são muito utilizados pela sua versatilidade devido ao seu comportamento depender principalmente do software que é gravado nele. Logo, um

microcontrolador pode ser utilizado para diversas aplicações, sendo necessário somente alterar o software gravado. São utilizados em praticamente todos os dispositivos eletrônicos digitais que nos cercam, como por exemplo, centrais de alarme, teclados do computador, monitores, discos rígidos de computador, relógio de pulso, máquinas de lavar, forno de micro-ondas, telefones, rádios, televisores, automóveis, aviões, impressoras, marca passos, calculadores, entre outros [6].

3.3. ESP32

De acordo com [7] o dispositivo ESP8266 fabricado pela empresa Espressif Systems foi um divisor de águas no mundo dos Embarcados e de IoT por ser dotado de um poderoso microcontrolador de 32 bits e conter WiFi integrado. Tornou-se famoso por ser uma placa barata e de fácil acesso além de ter integração com Arduino IDE e assim ter suporte a muitas bibliotecas compatíveis, contando com a facilidade de programação carregada pela interface do Arduino.

A mesma empresa responsável por criar o dispositivo ESP8266 resolveu criar o dispositivo ESP32, onde este seria mais eficiente e contaria com uma quantidade de recursos maiores. O ESP32 possui tudo o que o ESP8266 e muito mais.

O dispositivo ESP32 reúne um apanhado de recursos que tornam seu uso em IoT (Internet das Coisas) algo bem interessante, dado que agora a presença de mais periféricos permite a sua integração com mais dispositivos e componentes diversos. Dentre as interfaces de comunicação, ele possui suporte a SPI, UART e I2C (protocolos relativamente comuns), como também tem suporte a Infravermelho (IR) e SDIO (para interface com cartão de memória), e começa a se diferenciar, tendo CAN, Ethernet, DAC, Sensor de Toque, e I2S, que é uma interface de comunicação útil para comunicar com dispositivos de áudio. Vale ressaltar também que o ESP32 também conta com suporte no Arduino IDE, tal como há para o ESP8266.

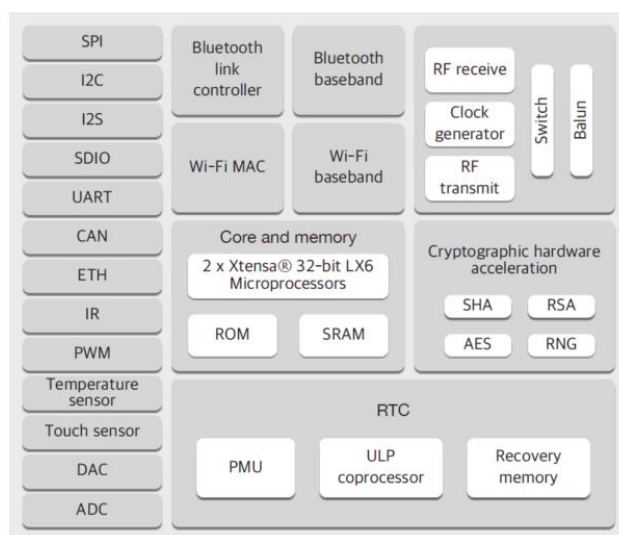
A Tabela 3 evidencia uma comparação dos recursos que os dispositivos ESP8266 e ESP32 contém.

Tabela 3 – Comparação entre os sistemas operacionais do ESP8266 e ESP32 [7]

Especificações	ESP8266	ESP32
MCU	xtensa ® single 32-bit 1106	xtensa ® dual-core 32-bit 1x6 600 DMIPS
802.11 b/g/n Wi-Fi	HT20	HT40
Bluetooth	Não	Bluetooth 4.2 Le
Frequência	80 MHz	160 MHz
SRAM	160 Kbytes	512 Kbytes
Flash	SPI Flash, 16 Mbytes	SPI Flash, 16 Mbytes
GPIO	17	36
Hardware/Software PWM	Não / 8 canais	1 /16 canais
SPI/I2C/I2S/UART	2/1/2/2	4/2/2/2
ADC	10-bit	12-bit
CAN	Não	1
Interface Ethernet Mac	Não	1
Sensor Capacitivo	Não	Sim
Sensor de Temperatura	Não	Sim
Temperatura de Trabalho	-40 a 125°C	-40 a 125°C

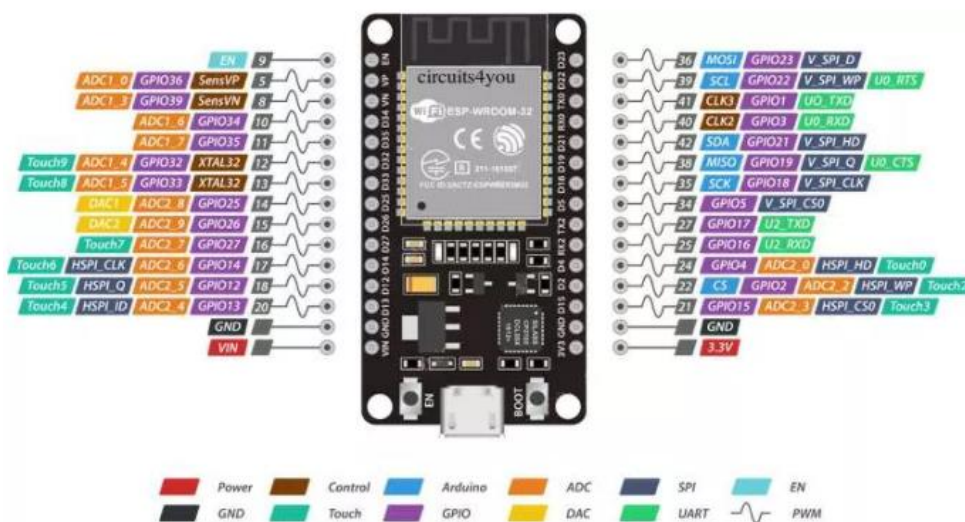
Através da Figura 5 e Figura 6 é possível observar o diagrama de blocos dos componentes internos do ESP32 e a pinagem do dispositivo.

Figura 5 – Diagrama de blocos dos componentes internos do dispositivo ESP32 [7]



Fonte: Elaborado por [7].

Figura 6 – Pinagem correspondente ao dispositivo ESP32



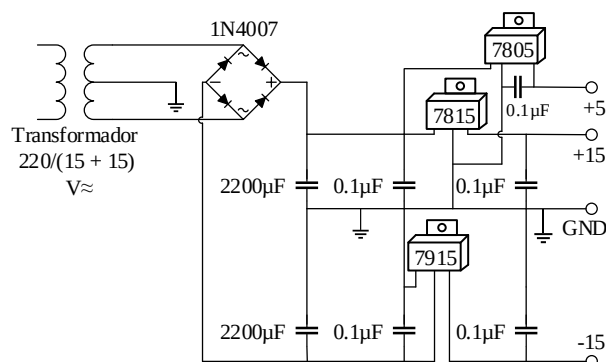
Fonte: Elaborado por [8].

3.4. FONTE SIMÉTRICA DE ALIMENTAÇÃO

Como diversos dispositivos de medição de grandezas elétrica necessitam de uma alimentação contínua e simétrica, devido aos componentes que estão envolvidos em seu sistema interno, utilizou-se uma fonte simétrica que atenda as necessidades dos sensores de medição de corrente e tensão elétrica deste trabalho.

Os dispositivos de medição de corrente e tensão elétrica utilizados neste trabalho, consistem-se no efeito hall, cuja variação da corrente no enrolamento primário produz uma corrente diretamente proporcional no enrolamento secundário do dispositivo. De modo a atender as orientações do fabricante, utilizou-se uma fonte simétrica de [9] conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7 - Projeto da fonte simétrica



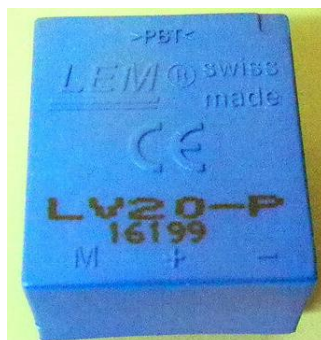
Fonte: Elaborado por [9].

De acordo com [9] o projeto da fonte de alimentação +15 e -15V, iniciou-se com base na redução do nível de tensão da rede elétrica disponível por um transformador de 220/15V e 2A, retificando-o através de uma ponte de diodos da série 1N4007. Após a retificação da tensão, este sinal é filtrado utilizando capacitores eletrolíticos e cerâmicos, de 200 μ F respectivamente, com a finalidade de reduzir a ondulação do sinal retificado. Após isso, os níveis de tensão são fixados em +5, +15 e -15V por meio dos reguladores da série LM7805, LM7815 e LM7915. Por fim é realizado uma filtragem do sinal de saída novamente com capacitores cerâmicos de 0.1 μ F.

3.5. SENSOR DE TENSÃO

De modo a realizar o monitoramento da tensão elétrica gerada pelo módulo solar, optou-se na utilização do transdutor de tensão LV 20-P, fabricado pela empresa LEM, utilizado em [9] com o mesmo objetivo. Este transdutor apresenta faixa de medição de 0 a 500V, admitindo-se uma corrente máxima no enrolamento primário de 10mA e fator de conversão fixo proporcional de 2500:1000. De acordo [10] este transdutor possui boa precisão e desempenho quando utilizado entre as temperaturas de -25°C a 85°C. A Figura 8 evidencia o transdutor LV 20-P utilizado neste trabalho.

Figura 8 - Transdutor de tensão LV 20-P



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

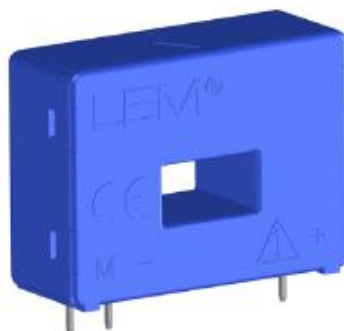
3.6. SENSOR DE CORRENTE

Para realizar o monitoramento da corrente elétrica gerada pelo módulo solar, optou-se pela utilização de um transdutor de efeito hall de corrente LA 55-P, fabricado pela empresa LEM, que também foi utilizado em [9] com o mesmo objetivo. Este transdutor apresenta faixa de medição de 0 a 50A, contando com isolamento galvânica entre os circuitos primário e

secundário. De acordo com [11] este transdutor possui boa precisão e desempenho quando utilizado entre as temperaturas de -40°C e 85°C .

Este transdutor de corrente necessita de alimentação simétrica entre a faixa de ± 12 a $\pm 15\text{V}$, admitindo-se corrente máxima secundária de 50mA . A Figura 9 evidencia o transdutor de efeito hall utilizado no projeto.

Figura 9 - Transdutor de corrente LA 55-P [11]



Fonte: Elaborado por [11].

3.7. SENSOR DE TEMPERATURA

Para realizar o monitoramento da temperatura deste projeto, sendo elas temperatura do ambiente e temperatura do módulo fotovoltaico, optou-se pela utilização do sensor DS18B20, fabricado pela empresa Maxim Integrated. De acordo com [12] este sensor de temperatura do tipo sonda é comumente utilizado em projetos que envolva medir temperatura ambiente ou de recipientes com líquido. Este sensor possui baixo custo para aquisição apesar de sua grande precisão e faixa de operação aceitável para monitoramento de módulos solares. A Figura 10 evidencia o termômetro digital DS18B20 utilizado neste projeto.

Figura 10 - Termômetro Digital DS18B20



Fonte: Elaborado por [13].

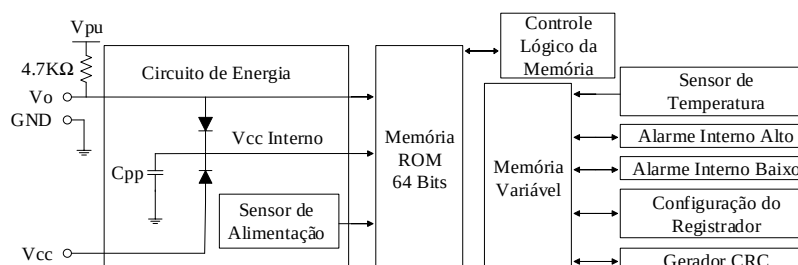
Com grande aplicação no monitoramento de temperaturas de ambientes, equipamentos e máquinas em geral, sua faixa de operação ideal de trabalho situa-se entre -55°C a 125°C ,

apresentando garantia de fabricação de precisão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ para faixas de operação entre -10°C a 85°C [13].

Cada sensor DS18B20 possui um endereço físico exclusivo de 64 bits, de modo que seja possível trabalhar com vários sensores em um mesmo barramento, utilizando apenas uma única porta do microcontrolador e obter os valores de temperatura de cada sensor separadamente [14].

A metodologia de comunicação deste dispositivo está baseada na troca de informações mestre e escravo. Esta metodologia define um dispositivo cuja função se concentra no gerenciamento, requerimento, processamento e apresentação de dados, e um dispositivo cuja função seja enviar uma informação quando devidamente solicitado. Logo, este sensor se encontra em constante estado de espera, enviando dados apenas quando solicitado pelo microcontrolador [13]. A Figura 11 evidencia um diagrama de blocos do sensor DS18B20 e seus componentes internos.

Figura 11 - Diagrama de blocos do termômetro DS18B20



Fonte: Elaborado por [14].

Este sensor é produzido com encapsulamento TO-92, que é o mesmo formato do sensor LM35, no entanto é muito comum encontra-lo com proteção à prova d'água. É o mesmo sensor de temperatura, a única mudança é que os fios são soldados nas pernas do sensor DS18B20 e depois colocados dentro de uma capsula metálica. A Figura 12 apresenta como é o sensor DS18B20 em seu formato original.

Figura 12 - Termômetro DS18B20 fora do encapsulamento metálico a prova d'água



Fonte: Elaborado por [14].

3.8. CIRCUITO DE CONDICIONAMENTO DE SINAIS ELÉTRICOS

Para realizar a aquisição da potência elétrica dos módulos solares, utilizou-se o módulo de aquisição e condicionamento de sinais de corrente e tensão elétrica. A Figura 13 evidencia o visual deste módulo.

Figura 13 – Visual do módulo de condicionamento de sinais elétricos

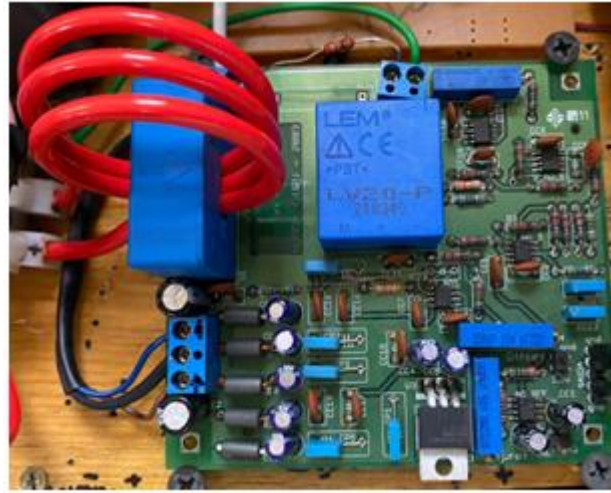


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

De acordo com [15], este módulo tem por função a leitura e tratamento de sinais de tensão e corrente para que estes possam ser interpretados por um DSP. Estes módulos tem em seu corpo basicamente 2 sensores hall, um de tensão e outro de corrente, os mesmos apresentados no Capítulo 3.5 e no Capítulo 3.6. Além disso, estes módulos também contam

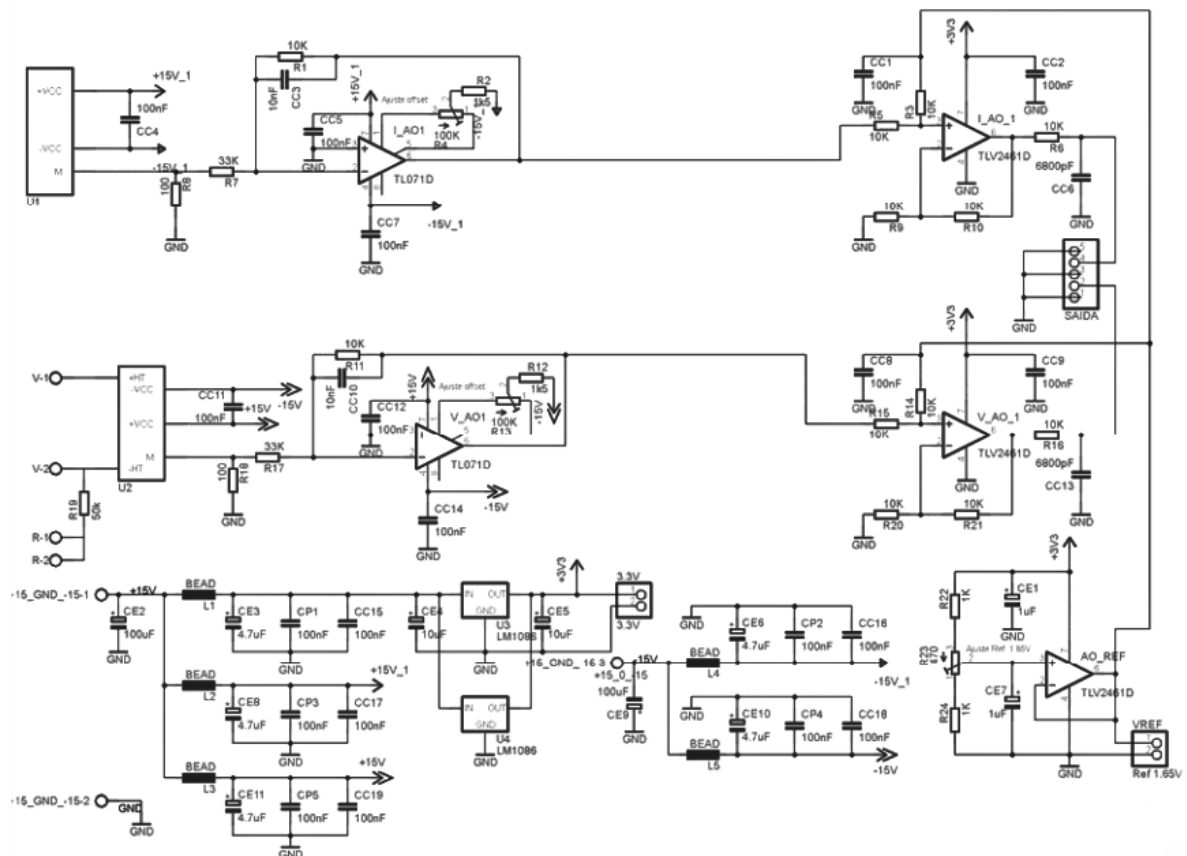
com 5 AO's, 1 regulador de tensão e outros componentes simples (“conectores, beads, resistores, trimpots e capacitores”). A Figura 14 evidencia o módulo físico de condicionamento de sinais de tensão e corrente elétrica. A Figura 15 apresenta o circuito de projeto completo do módulo de aquisição de condicionamento de sinais de corrente e tensão elétrica.

Figura 14 - Módulo de condicionamento de sinais elétricos montado



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

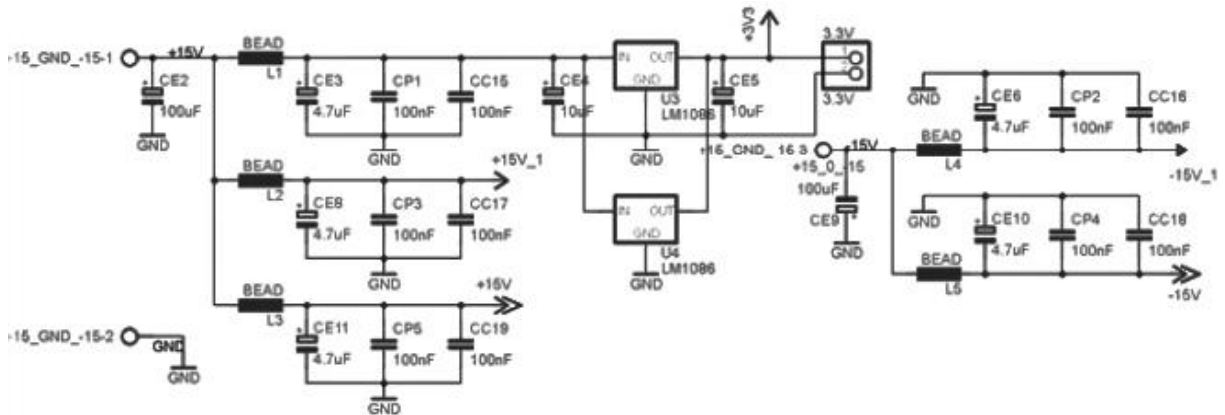
Figura 15 – Circuito completo do módulo de aquisição e condicionamento de sinais elétricos



Fonte: Elaborado por [15].

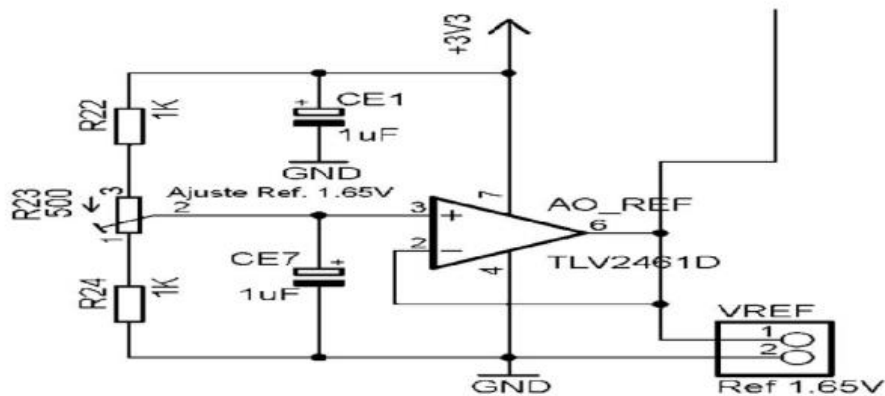
Ainda como uma parte anexa ao primeiro estágio, evidenciado na Figura 16, há um divisor de tensão responsável por dar um nível de tensão, que posteriormente será somado ao sinal, para criar um offset e elevar o sinal ao “zero” do DSP. A Figura 17 apresenta o circuito divisor de tensão.

Figura 16 – Primeiro estágio do circuito do módulo de condicionamento de sinais



Fonte: Elaborado por [15].

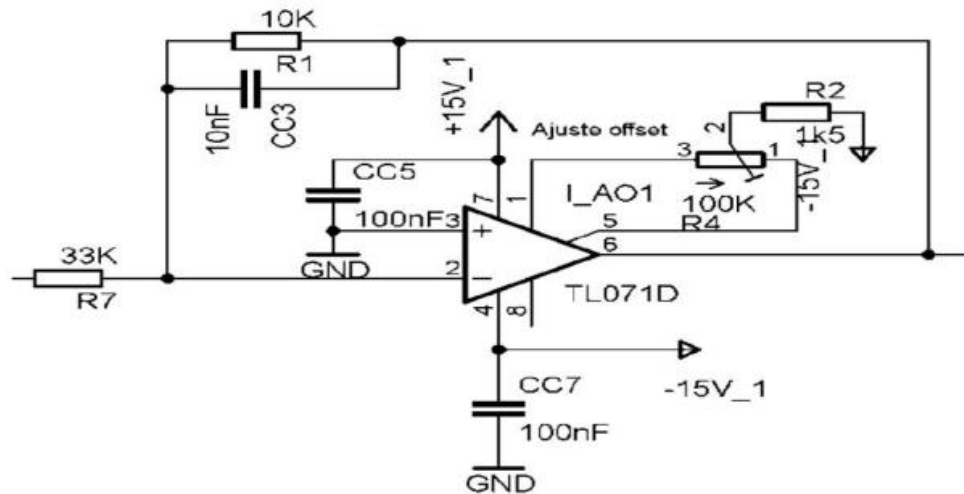
Figura 17 - Circuito divisor de tensão



Fonte: Elaborado por [15].

O segundo estágio é efetivamente responsável pelo tratamento inicial do sinal, sendo que existem dois estágios idênticos, um para o sinal de tensão e outro para o sinal de corrente, sendo este circuito um filtro anti-aliasing responsável por limitar a frequência de sinal amostrado, devendo este ter seus valores redimensionados de acordo com a frequência do sinal de interesse. A Figura 18 a seguir evidencia este filtro anti-aliasing.

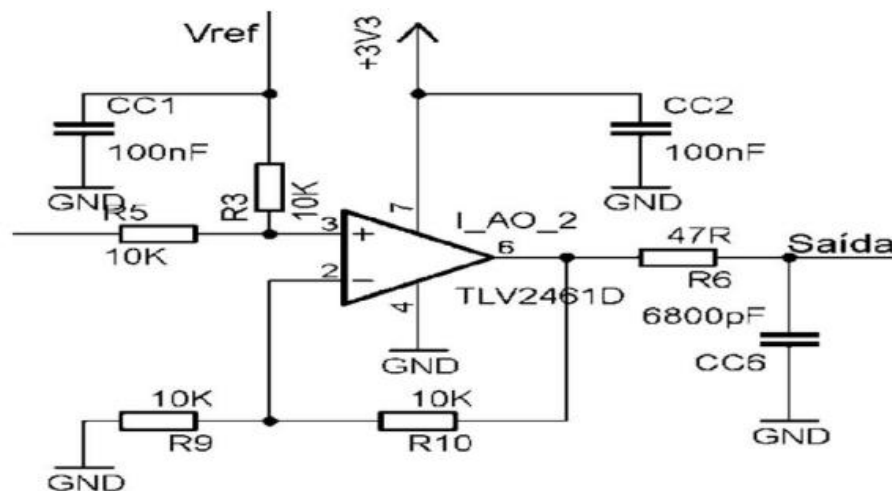
Figura 18 - Estágio de filtro anti-aliasing



Fonte: Elaborado por [15].

A terceira parte do circuito é por final um circuito somador que soma o sinal vindo do estágio anterior a um nível DC de aproximadamente 1,5V de forma que o sinal agora possui o nível zero neste valor, forma usada pelo DSP para aquisição do sinal. A Figura 19 apresenta este circuito somador.

Figura 19 - Estágio somador Nível Lógico



Fonte: Elaborado por [15].

De modo a realizar a alimentação deste módulo, utilizou-se a fonte simétrica de alimentação apresentada no Capítulo 3.4 , conectando os três fios em um conector do tipo mox, que possui escrito +15 GND -15, como mostrado na Figura 15.

Cada módulo possui 3 trimpots, para que se possa fazer uma calibração do módulo, sendo dois para regular o offset dos sinais de saída e um para regular a “Vref”, este “Vref” é o meio logico que o DSP interpreta. Os passos a se realizar a calibração das placas são:

1. Alimentar devidamente a placa, com fonte simétrica +15/-15V.

2. Medir se os pinos “Vref” e “GND” apresentados há uma tensão estabilizada em 3.3V em relação ao GND;
3. Para a calibração do zero do sinal que será somado em ambos os canais, deve-se fazer a leitura da tensão no pino “Vref” em relação ao “GND” e ajustar saída para o valor desejado, sendo que girando no sentido horário aumenta a tensão e no sentido anti-horário, diminui. Sendo então o valor convencional igual a 1,5V;
4. Para a calibração do offset em ambos os canais (tensão e corrente), primeiramente “Vref” já deve ter sido previamente calibrada e seu valor anotado, então sem nenhuma entrada de tensão ou corrente a saída dos sinais devem ser calibradas para o mesmo valor colocado no “Vref”;
5. Para ajustar os valores, gira-se o trimpot correspondente a sua saída no sentido anti-horário para aumentar a tensão e no sentido horário para diminuir;

O resistor de medição de tensão, na verdade converte a tensão aplicada em seus terminais em corrente, pois o sensor de efeito hall de tensão, também é um sensor de corrente. Após a queda de tensão sobre o resistor, o valor máximo RMS de corrente que deve chegar ao sensor é de 10mA, com range de medição de 0 à $\pm 14\text{mA}$. Logo:

$$\text{Se } I = \frac{V}{R} \text{ exemplificando em } 500V, \quad I = \frac{500V}{50k\Omega} = 10mA$$

Consequentemente, para até 200V deve-se usar resistor de $20k\Omega$, para 100V usar resistor de $10k\Omega$ e assim sucessivamente.

3.9. CONCLUSÃO

Este capítulo apresentou uma breve explicação sobre o que são e para o que servem os microcontroladores, citando também o microcontrolador utilizado neste projeto para realizar a leitura dos dispositivos conectados ao módulo solar. Além disso, foi feita uma breve comparação entre os microcontroladores ESP32 e o ESP8266, mostrando as vantagens do uso do ESP32 com relação a seu antecessor ESP8266.

Relatou-se também sobre a fonte simétrica utilizada para realizar a alimentação dos dispositivos de medição de grandezas elétricas. Além disso, foram feitas breves explicações com relação aos dispositivos de medição utilizados neste projeto para realizar a aquisição de dados de potência elétrica, temperatura do módulo e temperatura ambiente. Por fim, explicou-se o funcionamento do módulo de condicionamento de sinais elétricos, bem como deve ser feita a sua calibração e o dimensionamento do resistor utilizado para medição de tensão.

CAPÍTULO 4

SOFTWARE

4.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta uma abordagem teórica sobre o software da plataforma de baixo custo para aquisição de dados da usina solar fotovoltaica. Um software é um serviço computacional utilizado para realizar ações nos sistemas de computadores. Todo software pode ser utilizado para realizar uma ou várias tarefas, dependendo da sua complexidade e construção. Sem um software é impossível fazer com que um hardware funcione, da mesma forma que não é possível usar um software sem o hardware adequado para o qual ele foi desenvolvido.

4.2. SISTEMAS EMBARCADOS

Sistemas embarcados, são também chamados de sistemas embutido. Trata-se de um sistema microprocessado anexado ao sistema que ele controla, podendo realizar um conjunto de tarefas específicas que foram predefinidas [16].

Estes sistemas são completos e independentes, preparados para realizar apenas uma determinada tarefa, onde o usuário final não possui acesso ao programa que foi embutido no dispositivo. No entanto, é possível interagir com o equipamento através de interfaces como teclados, displays, desde que o sistema tenha sido projetado para isso. Estes sistemas estão cada vez mais baratos e acessíveis, devido serem mais compactos, possuir um grande poder de processamento e demandando menor consumo de energia.

Sistemas embarcados operam em máquinas que podem trabalhar por vários anos sem parar, e ainda em alguns casos, possuem a capacidade de autocorreção. Um excelente exemplo de itens que usam sistemas embarcados são os famosos smartphones, que desempenham funções específicas, e que contam com mecanismos mais limitados que os computadores.

4.3. SISTEMA WEB

Um sistema web nada mais é do que a utilização de software nas nuvens, ou seja, um software hospedado em um servidor onde qualquer usuário cadastrado pode acessá-lo

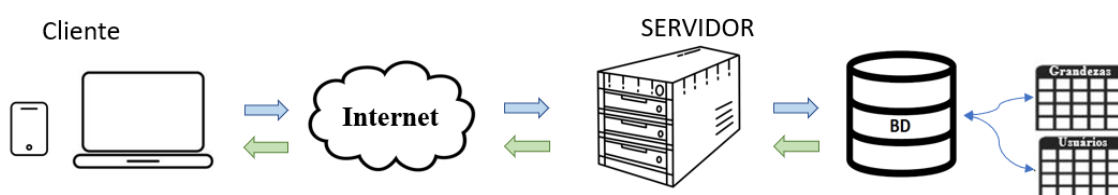
utilizando um navegador, o que permite ser acessado de qualquer local que tenha ponto de internet, além de não depender da configuração do seu dispositivo, seja ele um celular ou um computador.

Este conceito permite que usuários de sistemas compartilhem informações em tempo real, mesmo que estejam distantes um dos outros, facilitando o acesso à informação. Por meio dele é possível centralizar as informações mais importantes, como vendas, arquivos, balanços, salários, estoques ou qualquer outra informação importante.

Como os softwares são hospedados na nuvem, acaba evitando a necessidade da compra de computadores robustos e máquinas específicas para executarem o sistema. As atualizações e melhorias ocorrem de acordo com o aumento da demanda de armazenamento de dados, o que é facilmente implementado através de um suporte técnico, sem a necessidade de novos recursos ou substituir componentes. Vale ressaltar que nenhuma instalação local ou atualizações por download são necessárias, pois apenas as atualizações necessárias são feitas no servidor de hospedagem.

Em um software remoto, é possível evitar a perda de informações caso aconteça algum imprevisto, pois as informações são armazenadas em Bancos de Dados. Além disso, a segurança dessas informações é garantida através da restrição de usuários e permissões concedidas de acordo com as preferencias do projeto. A Figura 20 evidencia o funcionamento de um sistema web.

Figura 20 - Funcionamento de um sistema Web



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Quando o cliente faz uma requisição de informação por meio da URL em um navegador, este vai até o servidor, que irá analisar a requisição e realizará uma busca dentro do banco de dados, onde estão armazenadas as informações. Após a busca, o servidor emite uma cópia das informações e retorna ao usuário que consegue ter acesso pelo navegador.

4.4. BANCO DE DADOS

Os bancos de dados podem ser utilizados em diversos contextos, desde o controle de informações do RH, até o armazenamento e gestão da informação de sites e blogs. De maneira

simples, o banco de dados é uma coleção organizada de informações/dados estruturadas, normalmente armazenadas eletronicamente em um sistema de computador.

De acordo com [17] um banco de dados é geralmente controlado por um sistema de gerenciamento de dados (DBMS). Juntos, os dados e o DBMS, juntamente com os aplicativos associados a eles, são chamados de sistema de banco de dados, geralmente abreviados para apenas banco de dados. Os dados nos tipos mais comuns de bancos de dados em operação atualmente são modelados em linhas e colunas em uma série de tabelas para tornar o processamento e a consulta de dados eficientes. Os dados podem ser facilmente acessados, gerenciados, modificados, atualizados, controlados e organizados.

A maioria dos bancos de dados usa a linguagem de consulta estruturada (SQL) para escrever e consultar dados. O SQL é uma linguagem de programação utilizada por quase todos os bancos de dados relacionais para consultar, manipular e definir dados e fornecer controle de acesso. A seguir estão alguns exemplos de Bancos de Dados.

4.4.1. ORACLE

Foi criado entre os anos 70 e 80 e tem como sua linguagem principal o PS/SQL. Este é repleto de funcionalidades, uma das características mais marcantes do Oracle é sua alta escalabilidade, além de ser extremamente flexível, rodando em diferentes plataformas como Windows e Linux. Esse tipo de SGBD é um dos tipos de bancos de dados mais utilizados no mercado [18].

4.4.2. SQL SERVER

O SQL Server foi criado pela Microsoft em 1989 e conquistou rápida popularidade no mercado, sendo comumente utilizado em instituições governamentais, lojas online, bancos, indústrias e outros tipos de comércios. A linguagem por ele utilizada é o T-SQL. Seus dados são criptografados, o que aumenta os níveis de segurança quando comparamos com os demais do mercado, já que os dados podem ser administrados e manipulados por pessoas específicas [18].

4.4.3. MySQL

O MySQL é um SGBD da categoria relacional e também faz parte do grupo da Oracle. Sua principal característica é ser open source, ou seja, ele contém um código aberto para a modificação de programação e desenvolvimento de aplicativos. Em decorrência do seu foco online, conquistou popularidade e está presente em grandes plataformas como Facebook e Instagram. O sistema de linguagem PHP roda em sistemas como Windows, Linux, MacOS, Solaris etc [18].

4.4.4. PostgreSQL

Assim como o modelo anterior, este também é open source e é considerado um dos bancos de dados relacionais mais utilizados no mundo, como Apple e Skype. Foi lançado em 1986, está em sua 12ª versão e tem como foco plataformas online. Uma das maiores vantagens está ligada a não exigir um sistema hardware avançado, além de recursos avançados como consultas complexas, facilidade de acesso, chaves estrangeiras, entre outras [18].

4.4.5. MongoDB

Lançado em 2009, o MongoDB é um dos bancos de dados não-relacionais mais comuns do mercado. Ele tem como linguagem C++ e utiliza o Java Script para facilitar os recursos de pesquisas. Ele também é open source e orientado por documentos (document database) em formato JSON. Por ser não relacional, não demanda a utilização de tabelas com colunas e linhas para fazer a armazenagem de dados. O MongoDB funciona em Windows, Linux e OSX [18].

4.4.6. NoSQL

O banco de dados não-relacional de código aberto foi criado em 1998. Graças a popularidade dos dispositivos móveis e as redes sociais, o NoSQL ganhou bastante utilização no mercado. O armazenamento de dados com o objetivo de utilizá-los em ferramentas analíticas passou a acarretar em maiores custos [18].

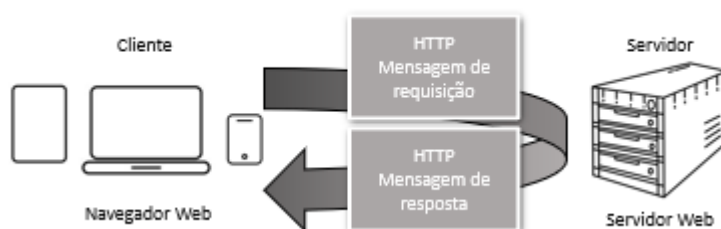
4.5. PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO

De acordo com [19] o HTTP surgiu na década de 1990 com a necessidade de se padronizar a troca de informações pela internet, de uma maneira que fosse leve, rápida e compreendida por todos os computadores conectados à rede. O HTTP é um protocolo de comunicação, ou seja, uma convenção de regras e padrões que controla e possibilita uma conexão e troca de dados entre dos sistemas computacionais. Este é baseado no modelo de cliente-servidor, onde um navegador requisita um determinado dado (cliente) e o outro retorna as informações desejadas caso ela exista (servidor).

Por meio da internet clientes e servidores se comunicam trocando mensagens individuais. Estas mensagens que são enviadas pelo cliente, normalmente por meio de navegadores web, são chamados de requisições (requests). Quando o servidor recebe a mensagem, este fornece réplicas do que foi solicitado pelo cliente, chamado de respostas (responses), podendo conter algum conteúdo (como arquivos HTML) além de informações sobre o status da requisição. Essas mensagens são executadas e tratadas por navegadores, programas ou servidores proxy e web.

Para que a transferência de dados na internet seja realizada, o protocolo HTTP necessita estar associado a outros dois protocolos TCP (Transmission Control Protocol) e IP (Internet Protocol). Estes dois últimos protocolos foram o modelo TCP/IP, necessário para a conexão entre computadores clientes-servidores. A Figura 21 evidencia o princípio de funcionamento do protocolo HTTP.

Figura 21 - Funcionamento do protocolo HTTP

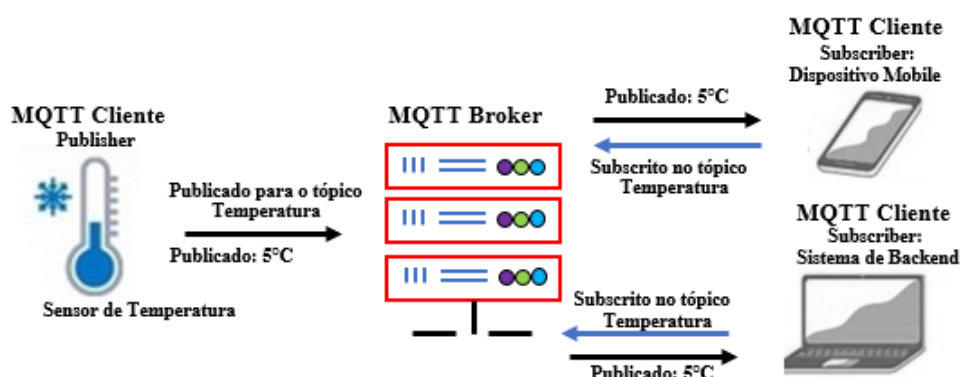


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Além do protocolo HTTP existe também outro protocolo de comunicação que tem se popularizado cada vez mais, sendo ele o protocolo MQTT. De acordo com [20] o MQTT foi projetado pelos engenheiros Andy Stanford-Clark e Arlen Nipper em 1999 com o intuito de conectar sistema de telemetria de oleodutos por satélite. No início este era um protocolo particular, no entanto em 2010, foi lançado em royalties e se tornou um padrão OASIS em 2014.

Este protocolo foi projetado para passar apenas os dados solicitados e permite o envio de mensagens e comandos entre dispositivos que falam MQTT por meio do TCP/IP. Além disso é importante ressaltar que é de simples codificação, facilitando que o MQTT funcione em sistemas não tão modernos ou com problemas de armazenamento. Na Figura 22 é apresentado o funcionamento do protocolo MQTT.

Figura 22 - Funcionamento do protocolo MQTT



Fonte: Elaborado por [20].

O MQTT Broker apresentado na figura acima é um dos elementos fundamentais para o funcionamento do MQTT, este é um servidor que gera as informações aos inscritos, funcionando como um intermediador entre Subscribed e Publishers. Um dispositivo pode ser Subscribed (inscrito) ou Publish (publicação). Quando tal dispositivo é um Publish, ele publica informações pré-estabelecidas, já o dispositivo Subscribe recebe todas essas informações que estão sendo publicadas. A Tabela 4 evidencia uma comparação entre os protocolos.

Tabela 4 – Comparação entre os protocolos HTTP e MQTT

Parâmetro	MQTT	HTTP
Abreviação	Transporte de telemetria de enfileiramento de mensagens	Protocolo de Transferência de Hipertexto
Arquitetura	Ele funciona no modelo de publicação/assinatura	Funciona no modelo de solicitação/resposta
Complexidade	Menor complexidade	Maior complexidade
Atropela	Ele roda sobre o protocolo de controle de transmissão	Ele roda sobre o protocolo de datagrama do usuário
Projeto de Protocolo	O design deste protocolo é centrado em dados	O design deste protocolo é centrado no documento
Tamanho da Mensagem	O tamanho da mensagem gerada é menor, pois usa o formato binário	O tamanho da mensagem gerada é maior, pois usa o formato ASCII
Tamanho do cabeçalho	Tem 2 bytes	É de 8 bytes
Número da porta	Funciona na porta de 1883	Funciona nas portas 80 ou 8080
Segurança de dados	Fornecer segurança de dados com SSL/TLS	Não fornece segurança, porém o HTTPS foi desenvolvido para isso

Fonte: Elaborado por [21].

Após uma breve explicação sobre os protocolos HTTP e MQTT, optou-se por utilizar o protocolo HTTP para o desenvolvimento deste trabalho, tendo como motivação o uso de um servidor local, onde é possível simular um sistema web sem a necessidade de pagar por um servidor para hospedar a aplicação.

4.6. CONCLUSÃO

Este capítulo apresentou uma breve explicação sobre o que são os sistemas embarcados, onde estão presentes e quais suas importâncias. Além disso também houve uma explicação mais detalhada sobre o sistema web, seu funcionamento e suas vantagens.

Após a explicação do sistema web, foi feita uma breve explicação sobre os bancos de dados, como funcionam, a sua importância e quais os tipos de bancos de dados são utilizados atualmente, incluindo o que será utilizado neste trabalho. Por fim houve a necessidade de realizar uma explicação sobre os protocolos de comunicação HTTP e MQTT, além de realizar uma comparação entre os dois e decidir qual deles seria utilizado neste trabalho e qual a justificativa para tal decisão.

CAPÍTULO 5

IMPLEMENTAÇÃO DO DISPOSITIVO DE BAIXO CUSTO

5.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta os procedimentos realizados para o desenvolvimento do sistema de aquisição de dados de baixo custo, explicando-se as diversas formas de aquisição e armazenamento dos dados envolvidos no monitoramento da geração de energia elétrica por um módulo solar instalado no sistema de geração fotovoltaico do IFG – Campus Itumbiara.

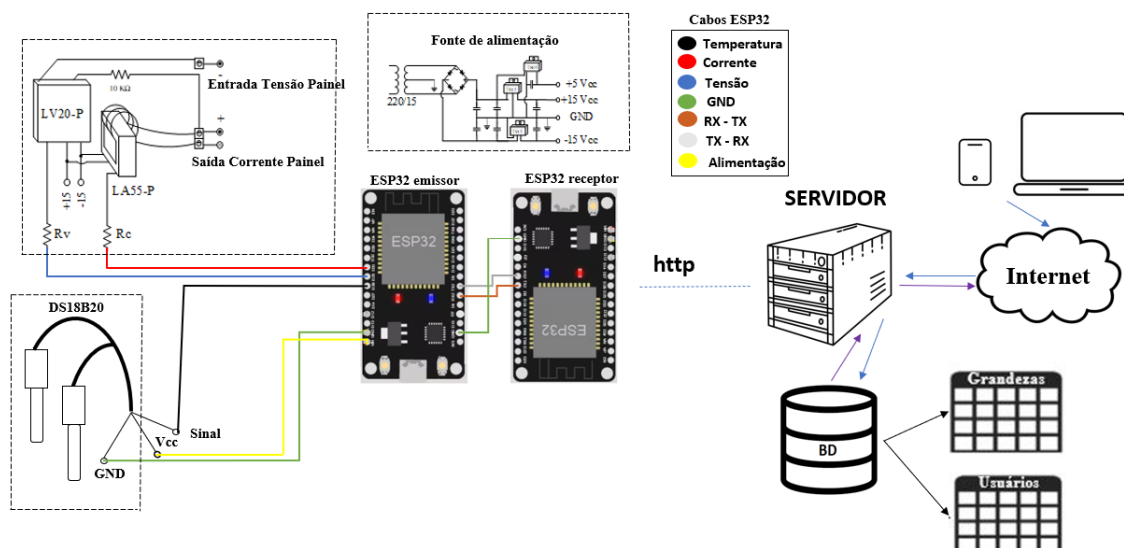
5.2. AQUISIÇÃO E ENVIO DE DADOS

Conforme apresentado no Capítulo 3, o microcontrolador utilizado neste projeto foi o microcontrolador ESP32. Por meio das portas A/D realizou-se a leitura das grandezas dos sensores de temperatura e do circuito de condicionamento de sinais da potência elétrica.

Optou-se pela utilização de dois microcontroladores ESP32, um para receber as informações dos sensores e outro para enviar essas informações para o Banco de Dados. Os motivos para usar o ESP32 são: primeiro, por se tratar de um hardware e software open source, possibilitando a sua utilização livre para todos os fins; segundo, por atender a necessidade das entradas analógicas necessárias para leitura dos dados de tensão, corrente, temperatura e irradiância; terceiro, por obter WiFi, possibilitando realizar armazenamento de dados utilizando http; quarto, por ter maior facilidade de acesso ao mesmo e quinto, por atender a demanda de memória necessária para realização dos procedimentos descritos no software.

A Figura 23 evidencia uma visão do esquema de ligação completo dos componentes constituintes no sistema de aquisição de dados da plataforma de baixo custo.

Figura 23 - Representação completa do sistema de aquisição de dados

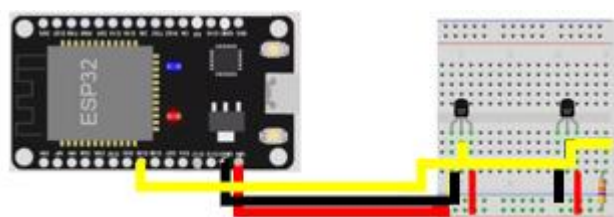


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

O microcontrolador responsável por realizar a leitura dos sensores é o ESP Emissor, já o microcontrolador responsável por enviar os dados para o banco de dados é o ESP Receptor, conforme evidenciado na Figura 23.

Para o monitoramento da temperatura ambiente e do módulo solar, optou-se pela utilização de dois sensores DS18B20 conectados a um mesmo barramento, possibilitando a utilização de apenas um pino no microcontrolador ESP32. Na Figura 24 é apresentado o exemplo do circuito de aquisição das temperaturas.

Figura 24 - Circuito para aquisição das temperaturas



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A conexão para utilização dos sensores DS18B20 é bem simples. Nota-se na figura acima três cabos de cores diferentes, onde o vermelho representa o cabo de alimentação dos sensores, o preto representa o GND e o cabo amarelo representa o barramento para obter-se a leitura das temperaturas que está conectado à porta 26 do microcontrolador ESP32. Faz-se necessário a inserção de um resistor de $4,7K\Omega$ a $10K\Omega$ entre o barramento e o pino de alimentação para que a transferência dos dados se mantenha estável.

Como o protocolo de comunicação One-Wire é muito complexo e necessita de uma grande quantidade de variáveis para funcionar adequadamente, optou-se por utilizar a biblioteca

na IDE Arduino DallasTemperature.h criada pela empresa Dallas, fabricante do sensor de temperatura DS18B20 para facilitar o desenvolvimento do projeto. Também se utilizou a biblioteca auxiliar OneWire.h, responsável por assegurar a comunicação dos sensores DS18B20 em um único fio. A Figura 25 apresenta a inclusão das bibliotecas para utilização dos sensores DS18B20.

Figura 25 - Inclusão das bibliotecas para trabalhar com o sensor DS18B20

```
#include<OneWire.h> // Biblioteca para acessar sensores de temperatura de 1 fio
#include<DallasTemperature.h> // Biblioteca para trabalhar com o sensor DS18B20
```

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Com a inclusão das bibliotecas, é necessário instanciar as classes OneWire e DallasTemperature, conforme é evidenciado na Figura 26.

Figura 26 - Instanciando classes

```
OneWire oneWire(pT); // Mesmo barramento (cabo preto)
DallasTemperature temp(&oneWire); // Os sensores irão utilizar o mesmo barramento
```

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Onde oneWire é o objeto da classe OneWire e temp é o objeto da classe DallasTemperature, onde serão passados os parâmetros oneWire como referência. Nota-se que há uma variável “pT”, que é responsável por receber qual porta do microcontrolador está sendo utilizada.

Dentro da estrutura void setup(), é feito o acionamento desses sensores e também é obtido a quantidade de sensores presentes no barramento conectado ao microcontrolador, como é evidenciado na Figura 27 **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

Figura 27 - Acionamento e contagem dos sensores DS18B20

```
//=====Temperaturas=====
temp.begin();
ndisp = temp.getDeviceCount(); //Número de sensores DS18B20
//=====
```

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Dentro da estrutura void loop() é feita a requisição dos dados de temperatura por meio do endereçamento contido no índice da função requestTemperatureByIndex() e então a variável responsável por receber o valor da temperatura a recebe por meio da função getTempByIndex(), como evidenciado na Figura 28. Vale ressaltar que o valor contido dentro do índice, corresponde ao endereço do dispositivo no barramento.

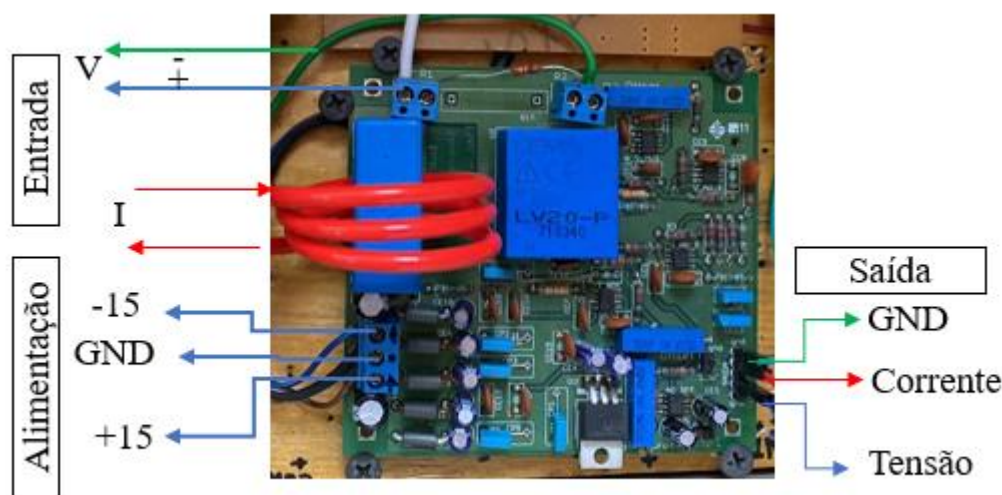
Figura 28 - Leitura e aquisição das temperaturas

```
//=====Temperatura Ambiente=====
temp.requestTemperaturesByIndex(0);
sensor4 = temp.getTempCByIndex(0);
//=====
//=====Temperatura da Placa=====
temp.requestTemperaturesByIndex(1);
sensor3 = temp.getTempCByIndex(1);
//=====
```

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Para realizar o monitoramento da potência elétrica do módulo da usina solar, utilizou-se os dispositivos de medição de efeito hall da empresa LEM, apresentados no Hardware, que estão contidos no módulo de aquisição e condicionamento de sinais de tensão e corrente elétricas. A Figura 29 apresenta o módulo de aquisição e condicionamento de sinais elétricos.

Figura 29 - Módulo de condicionamento de sinais elétricos

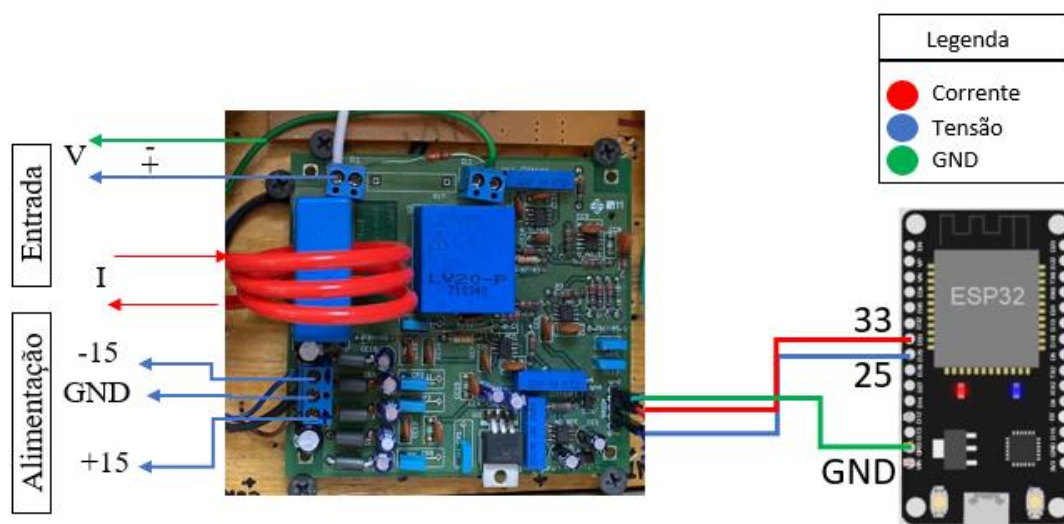


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

De acordo com [9] este circuito gera sinais proporcionais a corrente que circula pelo dispositivo LA 55-P e a tensão aplicada nos terminais de entrada do dispositivo LV 20-P. Ajustando-se para as condições desejadas do projeto da plataforma, definiu-se pela utilização de um resistor de 10k Ω na entrada do sensor de tensão, justificado pela limitação física do sensor, cuja circulação de corrente em seus terminais deve ser necessariamente igual ou inferior a 10mA, garantindo-se o desempenho do mesmo para os níveis de tensão a serem monitorados.

Na Figura 30 está apresentado o esquema de ligação para aquisição dos dados dos sensores LA 55-P e LV 20-P, utilizados para manipular a equação matemática $P = V \times I$.

Figura 30 - Circuito para aquisição da corrente e tensão da usina solar



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Com a potência elétrica obtida, faz-se necessário também realizar outra equação matemática, onde a potência elétrica obtida por um módulo, será utilizada como base para calcular a potência elétrica total gerada pela usina solar fotovoltaica. Logo a potência elétrica do módulo deve ser multiplicada pela quantidade de módulos de cada string e também multiplicado pela quantidade de strings do sistema solar fotovoltaico em questão.

Após obter a leitura das temperaturas e da potência elétrica gerada pela usina solar, essas informações são enviadas ao ESP Receptor por meio da comunicação RX TX, onde RX é o termo usado para representar o pino receptor de uma comunicação serial e TX representa o transmissor. Este é um método de comando centralizado onde apenas o dispositivo mestre pode iniciar uma comunicação, enviando comandos, controlando a taxa de comunicação, etc.

Para que esta comunicação serial seja realizada, foi necessário incluir a biblioteca que será apresentada na Figura 31.

Figura 31 - Biblioteca para realizar a comunicação RX TX

```
#include <SoftwareSerial.h> // Biblioteca para trabalhar com Porta Serial
```

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Após inserida a biblioteca é necessário também incluir os pinos das portas seriais, como está apresentado na Figura 32.

Figura 32 - Declarando os pinos RX e TX da porta serial

```
SoftwareSerial RF(16,17); // Pinos RX e TX
```

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Com isso, na função void setup() é necessário inicializar a porta serial desejada, como evidencia na Figura 33.

Figura 33 - Inicializando a porta serial

```
void setup() {
  //=====Iniciando Portas Seriais=====
  RF.begin(4800);|
```

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Quando as leituras dos sensores forem feitas, essas informações serão enviadas para a função “enviar_dados”, criada para enviar as informações obtidas para o ESP Receptor em forma de pacote. Será adicionado um caractere ao final de cada informação obtida, de modo a facilitar o particionamento deste pacote para que cada dado seja armazenado no seu respectivo local. Na Figura 34 é apresentado como será feita a inserção destes caracteres e como será criado este pacote de informações.

Figura 34 - Função responsável por enviar os dados para o ESP Receptor

```
//=====Enviar Dados=====
enviar_dados(tAMB, "A", tMOD, "B", pTotal, "C"); // Adiciona os caracteres
//=====
}
//=====Função para enviar dados=====
void enviar_dados(float medicaol, String codigol, float medicao2, String codigo2, float medicao3, String codigo3) {
  RF.flush(); // limpa a porta serial
  RF.print(codigol); // Recebe o Caractere A
  RF.print(medicaol); // Leitura do sensor da temperatura Ambiente
  RF.print(codigo2); // Recebe o Caractere B
  RF.print(medicao2); // Leitura do sensor da temperatura do módulo
  RF.print(codigo3); // Recebe o Caractere C
  RF.print(medicao3); // Leitura da potência elétrica do sistema|

  delay(180000);
}
```

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Para que as informações cheguem ao ESP Receptor, faz-se necessário a inserção de uma biblioteca, que será evidenciado na Figura 35.

Figura 35 - Biblioteca para realizar a comunicação RX TX

```
| #include <HardwareSerial.h>
```

Também é necessário inicializar a porta serial na programação do ESP Receptor. A Figura 36 evidencia a inicialização da porta serial.

Figura 36 - Inicializando a porta serial

```
RxSerial.begin(4800, SERIAL_8N1, 16, 17);
```

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Dentro da função void loop(), é utilizado um laço de repetição para que toda vez que chegue uma informação na porta serial, ela seja lida e particionada para que cada variável receba seu respectivo valor que chegou pela mensagem. Na Figura 37 será evidenciado como é feito esse procedimento.

Figura 37 – Recebendo, particionando e armazenando os dados recebidos na porta serial

```
//=====Recebendo Informações Porta Serial=====
while (RxSerial.available()){ // Recebe informação da porta RX
    received = (RxSerial.readString()); // lê uma informação
    //Serial.println("Leitura Serial");
    //Serial.println(received);
    for(int i = 0; i < received.length(); i++){ //Percorre toda informação
        if(received.charAt(i) == 'A'){ // Verifica posição do caracter A
            posA = i; // Salva posição do caracter A
        }
        if(received.charAt(i) == 'B'){ // Verifica posição do caracter B
            posB = i; // Salva posição do caracter B
        }
        if(received.charAt(i) == 'C'){ // Verifica posição do caracter C
            posC = i; // Salva posição do caracter C
        }
    }
    tAMB = received.substring(posA+1,posB); // Extrai informação da Temperatura Ambiente da informação que chega
    tMOD = received.substring(posB+1,posC); // Extrai informação da Temperatura do Módulo da informação que chega
    pMOD = received.substring(posC+1); // Extrai informação da Potência da informação que chega
}
```

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Enquanto as informações estiverem chegando na porta serial, ele irá capturar a posição de cada caractere inserido na mensagem pelo ESP Emissor. Após feita a captura da posição do caractere, ele irá pegar somente aquilo que está entre os caracteres, de modo a facilitar o particionamento da mensagem para que não seja necessário se preocupar com o tamanho de cada dado. Após todas as informações serem particionadas e serem recebidas por cada variável, é necessário envia-las para o Banco de Dados.

Para que seja possível armazenar as informações no Banco de Dados, é necessário realizar a conexão do ESP Receptor com o WiFi. A Figura 38 apresenta como foi feita a conexão com o WiFi.

Figura 38 - Conexão do ESP Receptor com o WiFi

```
#include <WiFi.h>
//=====Informações do WiFi=====
const char* ssid = "IFMAKER"; // Nome da rede
const char* password = "labifmaker"; //Senha da rede
//=====Endereço do Servidor=====
const char* host = "192.168.1.201";// se for site (www.seusite.com)
//=====
```

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Para realizar a conexão com o WiFi é necessário inserir a biblioteca apresentada na imagem acima e as informações da rede local. Na imagem também é apresentado o endereço

do servidor que será utilizado neste trabalho. Como será utilizado um servidor local, basta pegar o endereço IPV4 da máquina.

Na função void setup(), será realizada a conexão com o WiFi utilizando a função WiFi.begin(). Esta função é responsável por inicializar as configurações de rede da biblioteca WiFi e fornecer o status atual.

Dentro do laço de repetição apresentado na Figura 37, está contido também a conexão do ESP Receptor com o Banco de Dados. Para que seja possível se conectar com o Banco de Dados, foi necessário criar um arquivo .php. A Figura 39 evidencia como foi realizada essa conexão.

Figura 39 - Realizando conexão com o Banco de Dados

```
<!-- Realizando a conexão com o Banco de Dados MySQL -->
<?php
session_start(); //Iniciando sessão
$host = "localhost"; //Servidor onde está o Banco de Dados
$usuario = "root"; //Usuário padrão do Banco de Dados
$senha = ""; //Senha padrão do Banco de Dados
$banco = "tcc"; //Base de Dados
global $pdo; //Criando variável global para utilizar nos outros arquivos .php
//Realizando a comunicação com o Banco de Dados

try{
    $pdo = new PDO("mysql:dbname=". $banco ."; host". $host, $usuario, $senha);
    //echo "Conexão bem sucedida!";
}
// Caso a conexão não seja feita, será exibido uma mensagem de erro no navegador
catch(PDOException $erro){ //Responsável por capturar qualquer erro gerado no PDO
    echo "Conexão com o Banco de Dados falhou!";
}
?>
```

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Para realizar a conexão com o Banco de Dados, é necessário informar o tipo de servidor, neste caso servidor local, usuário e senha do banco de dados, que neste caso é padrão do Banco de Dados e pôr fim a base de dados onde as informações serão inseridas e consultadas. Por fim é utilizada a extensão PDO, que fornece uma interface padronizada para trabalhar com bancos de dados, cuja finalidade é abstrair a conexão e interações com os Bancos de Dados.

Após realizada a conexão, é criada uma URL para salvar os valores dentro do Banco de Dados, como será apresentado na Figura 40.

Figura 40 - URL criada para salvar os dados obtidos no Banco de Dados

```
//=====URL para salvar os valores no BD=====
// URL para salvar os valores(como utilizada nos testes antes de usar ESP)
String url = "/tcc/salvar.php?";
url += "temperaturaAmbiente=";
url += tAMB;
url += "&temperaturaPlaca=";
url += tMOD;
url += "&potencia=";
url += pMOD;
```

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Para que essa URL funcione corretamente, foi necessário também criar um arquivo .php, no entanto com o intuito de salvar as informações no Banco de Dados. A Figura 41 evidencia como foi criado este arquivo.

Figura 41 - Arquivo criado para realizar o armazenamento dos dados no Banco de Dados

```
<!-- Arquivo responsável por salvar as informações no Banco de Dados -->
<?php
require_once 'conectar.php'; //Irá conectar ao banco somente para inserir o valor

// Para o envio das informações da usina FV, será utilizado o método GET

$temperaturaAmbiente = $_GET['temperaturaAmbiente']; //Temperatura Placa
$temperaturaPlaca = $_GET['temperaturaPlaca']; // Temperatura Amb
$potencia = $_GET['potencia']; // Potência

// Preparando a variável $sql para inserir as medidas na tabela grandezas do Banco de Dados

$sql = "INSERT INTO medidas(temperaturaAmbiente, temperaturaPlaca, potencia) VALUES (:temperaturaAmbiente,:temperaturaPlaca,:potencia)
";

// Preparando para realizar uma consulta dentro do Banco de Dados

$stmt = $pdo->prepare($sql);

// Inserindo os valores dos sensores no Banco de Dados

$stmt->bindParam(':temperaturaAmbiente',$temperaturaAmbiente);
$stmt->bindParam(':temperaturaPlaca',$temperaturaPlaca);
$stmt->bindParam(':potencia',$potencia);

// Conferindo se os valores foram realmente inseridos no Banco de Dados

if($stmt->execute()){
    echo "Valores inseridos!";
}
else{
    echo "Erro ao inserir os valores!";
}
?>
```

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Primeiro é inserido a conexão com o banco de dados, como evidenciado na figura acima, após isso, são criadas as variáveis que irão receber os dados dos sensores. Depois das variáveis receberem os dados, por meio da variável \$sql serão esses dados na tabela “medidas” criada dentro da base de dados “tcc”. Para isso, será feita uma busca dentro da tabela para que esses dados sejam armazenados na coluna correspondente. Caso todos esses dados sejam inseridos em suas respectivas colunas, ele irá exibir “Valores inseridos com sucesso”, caso não seja, será exibido a mensagem “Erro ao inserir os valores”.

Vale ressaltar que todos os arquivos .php devem estar inseridos dentro da pasta htdocs, que está dentro da pasta do servidor local. Pela porta serial do Arduino, é possível observar todo esse processo de inserção de dados no Banco de Dados, conforme é apresentado na Figura 42.

Figura 42 - Inserção de dados apresentadas pela porta serial da IDE Arduino

```
10:11:56.325 -> Conectando com IFMAKER
10:11:56.934 -> .....
10:11:59.934 -> WiFi conectado!
10:11:59.934 -> Endereço de IP: 192.168.1.217
10:12:26.041 -> Temperatura Ambiente: 23.25
10:12:26.088 -> Temperatura do Módulo: 35.44
10:12:26.088 -> Potência do Módulo: 194.42
10:12:26.135 -> Conectando com: 192.168.1.234
10:12:26.697 -> Requisitando URL: /tcc/salvar.php?temperaturaAmbiente=23.25&temperaturaPlaca=35.44&potencia=194.42
10:12:28.057 ->
10:12:28.057 -> Valores inseridos com sucesso!!
10:12:28.057 ->
```

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Como o protocolo utilizado neste projeto é o HTTP, todas as vezes que forem feitas as aquisições de novos dados será necessário se conectar com o servidor para que os dados contidos na URL sejam inseridos no Banco de Dados. Após inseridas as informações no Banco de Dados, será imprimido a mensagem “Valores inseridos com sucesso!!” na porta serial, onde possibilita identificar se os dados estão sendo salvos ou não no Banco de Dados. Conforme os dados são inseridos no Banco de Dados, torna-se necessário disponibilizá-los por meio de um sistema web, onde será possível analisar todos os dados por meio de tabela ou por meio de gráficos.

5.3. ARMAZENAMENTO DE DADOS

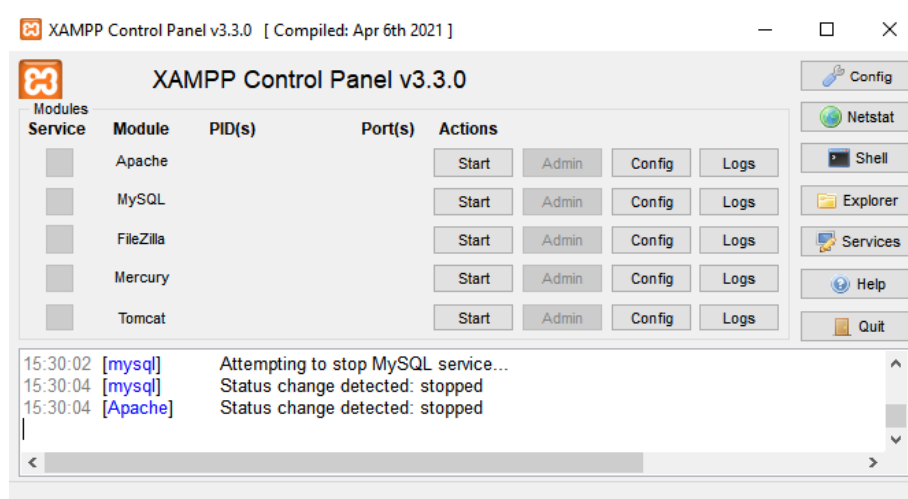
Com os dados obtidos através dos dispositivos de medição e circuitos de aquisição de dados, foi necessário armazená-los em um Banco de Dados para que os mesmos sejam dispostos em um sistema web e possam ser feitas análises de comportamento posteriormente.

Para que as informações fossem armazenadas e disponibilizadas em um sistema web, utilizou-se o pacote XAMPP, uma solução de código aberto utilizada como um servidor local, desenvolvido pela Apache Friends, organização sem fins lucrativos fundada em 2002. Por meio deste pacote é possível simular um servidor web real em uma máquina doméstica.

Este pacote é muito utilizado por estudantes e profissionais de desenvolvimento que não possuem orçamento para alugar um ambiente de testes remotos optam pela utilização deste. Esta é uma solução composta com os principais servidores de código aberto do mercado, incluindo o FTP, Banco de Dados MySQL e Apache, tendo suporte as linguagens PHP e PERL.

Com ele é possível rodar sistemas como WordPress e Dupral localmente. Na Figura 43 é apresentado o painel de controle do pacote XAMPP.

Figura 43 - Painel de Controle do pacote XAMPP



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

O termo XAMPP é uma sigla que na qual cada letra tem um significado relacionado a um de seus recursos, sendo elas:

- X: Representa uma cruz, indicando multiplataforma (compatível com vários sistemas operacionais como Windows, Linux, MAC OS X e Solaris);
- A: Apache http Server, mais conhecido como Apache;
- M: MySQL, o Banco de Dados mais utilizado entre iniciantes;
- P: PHP, linguagem de programação mais popular utilizada no backend e base dos principais CMS, como WordPress;
- P: Perl, uma linguagem de programação de alto nível.

A junção desses componentes forma um ambiente integrado, onde é possível que desenvolvedores executem tarefas como o gerenciamento do servidor das portas associadas, manter um Banco de Dados para armazenar, buscar ou editar os dados relacionados ao usuário, além de possibilitar escrever scripts que permitem a troca de dados entre o site e o Banco de Dados.

Por meio da linguagem SQL (Linguagem de Consulta Estruturada) é possível inserir, acessar e gerenciar conteúdos no Banco de Dados. Os comandos utilizados neste projeto foram:

- CONNECT
Comando utilizado para conectar o servidor com o Banco de Dados.
- SELECT

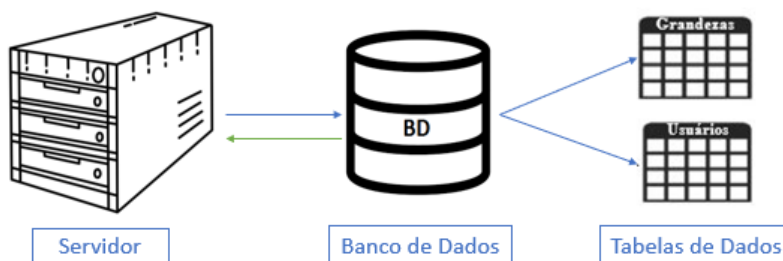
Comando utilizado para selecionar a coluna de dados desejada para realizar consulta.

- **INSERT**

Comando utilizado para inserir dados no Banco de Dados.

A Figura 44 evidencia como o servidor realiza consultas e inserções de dados contidos dentro do Banco de Dados MySQL.

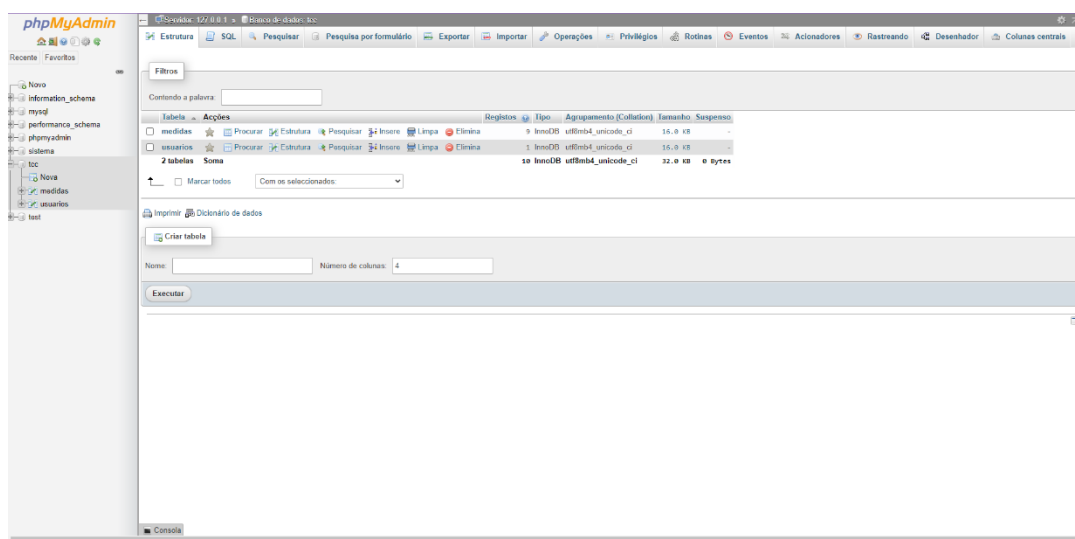
Figura 44 - Servidor trocando informações do Banco de Dados



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Observa-se na figura acima que o servidor (por exemplo o Apache), se comunica com o Banco de Dados MySQL, podendo solicitar consultas, realizar inserções e exclusões de dados dentro das tabelas que estão contidas no Banco de Dados. Por sua vez, o MySQL encaminha esses pedidos e faz toda a gestão interna dos dados. Por fim, o MySQL devolve ao servidor as ações que foram solicitados. A figura a seguir apresenta a interface do Banco de Dados MySQL, com sua base de dados e as tabelas utilizadas para armazenar os dados deste trabalho. A Figura 45 apresenta a interface do Banco de Dados MySQL utilizado neste trabalho.

Figura 45 - Interface do Banco de Dados MySQL



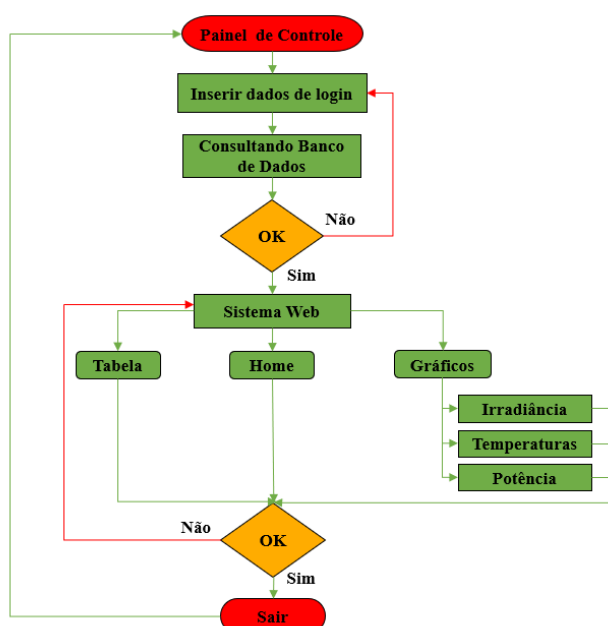
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

5.4. SISTEMA WEB

Para realizar a criação de um sistema Web, foi necessário realizar primeiramente a parte de design, de tal maneira que o sistema fique intuitivo para o usuário e atenda às necessidades do mesmo. Todo o sistema web foi criado utilizando o PHP, uma linguagem de programação muito utilizada no desenvolvimento de sites.

A criação deste sistema web foi particionada com o intuito de facilitar testes e a realização de possíveis alterações. A Figura 46 apresenta o fluxograma de como será o funcionamento do sistema Web.

Figura 46 - Fluxograma de funcionamento do sistema web



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

O painel de controle é utilizado para controlar quem pode ou não acessar este sistema web. A Figura 47 apresenta o Painel de Controle deste sistema web.

Figura 47 - Painel de Controle do sistema web

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Para que seja possível acessar o sistema web, é necessário que o usuário preencha os campos de login e senha, e deverá clicar no botão “Entrar”. Quando o botão “Entrar” for clicado, será feita uma consulta dentro do Banco de Dados, na tabela “usuarios”, responsável por armazenar as informações de login do usuário. Caso essas informações estejam corretas, ele irá redirecionar o usuário para dentro do sistema web, caso não esteja, o usuário irá permanecer na página de painel de controle.

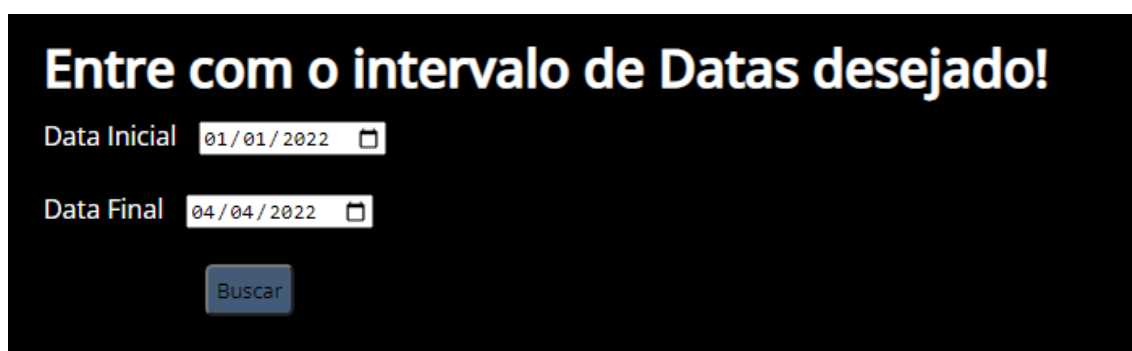
A validação dos dados é feita utilizando o método POST. De acordo com [22] o método POST envia parâmetros no corpo da requisição HTTP, escondendo-os da URL. Para que seja possível realizar a consulta no Banco de Dados e validar essas informações inseridas pelo usuário, foram criados dois arquivos PHP, sendo eles: `logar.php` e `Usuario.php`. O arquivo `logar.php` é responsável por receber as informações utilizando o método POST. Quando as informações são inseridas, é realizado uma conexão com o banco de dados e com o arquivo `Usuario.php`.

O arquivo `Usuario.php` é responsável pela validação das informações de entrada no Painel de Controle. Ele irá receber as informações de login e senha do usuário e irá realizar uma consulta dentro do Banco de Dados. A consulta é realizada na tabela `usuarios`, onde os login e senha são comparados. Caso as informações estejam corretas, será iniciado uma sessão com o ID correspondente ao usuário. Se o login e senha forem verdadeiros e se a sessão iniciada

receber o ID correspondente a esse login e senha, o usuário será redirecionado para dentro do sistema web. Caso alguma dessas informações não estejam corretas, ele fará com que o usuário fique na aba de Painel de Controle, impossibilitando a sua entrada no sistema web.

Quando o usuário for redirecionado para dentro do sistema web, ele será redirecionado para a página Home. No entanto o sistema web conta com um menu de navegação para facilitar a movimentação do usuário dentro do sistema web. Vale ressaltar que neste projeto os dados são consultados por meio de um intervalo de datas, possibilitando realizar consultas diárias, semanais, mensais e até mesmo anuais de maneira simples e rápida. A Figura 48 apresenta um exemplo de como são feitas as consultas utilizando o intervalo de datas.

Figura 48 - Modelo de consulta de dados utilizando o sistema web

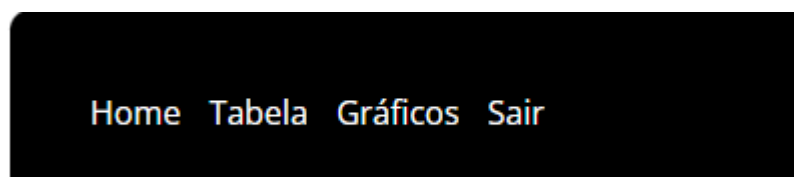


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

5.4.1. MENU DE NAVEGAÇÃO

Quando um usuário entra em um web site, é normal que ele procure um menu para descobrir se o conteúdo que ele está procurando está disponível. Logo, este necessita estar em uma posição de destaque, de tal maneira que o usuário tende a olhar primeiro na página. Os menus de navegação possuem papel importante na estrutura de um web site. Estes são links que possibilitam levar o usuário de uma página a outra dentro de um site de maneira simples e fácil. Na Figura 49 será apresentado o menu de navegação do sistema web projetado.

Figura 49 - Menu de navegação do sistema web

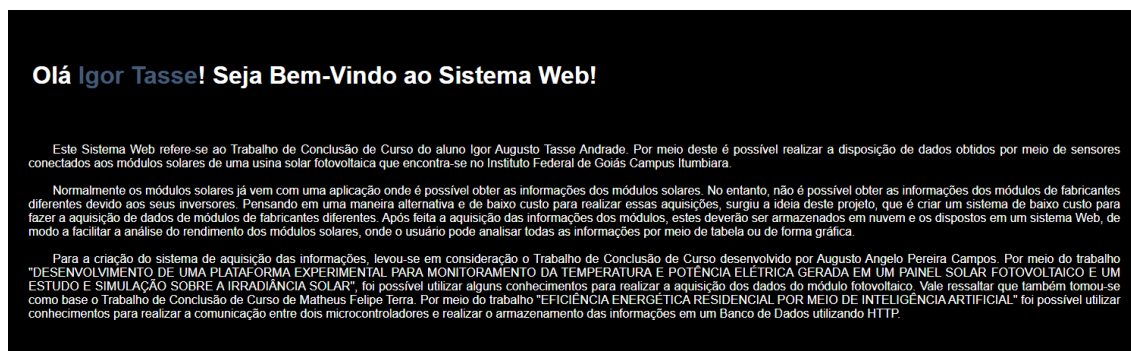


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

5.4.2. HOME

Uma página inicial geralmente é a página da web principal que um usuário acessa um site a partir de um mecanismo. Quando o usuário chegar ao web site, ele irá conseguir ter de maneira imediata uma compreensão bastante clara do que se trata e quem seria o responsável pelo mesmo. A Figura 50 evidencia um exemplo da página de início do web site do projeto.

Figura 50 - Página inicial do sistema web



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

5.4.3. TABELA

O armazenamento de tabelas é um serviço que armazena dados estruturados na nuvem, fornecendo um repositório com um design. Esta é uma maneira fácil de adaptar dados à medida que as necessidades da aplicação evoluem. Neste trabalho a tabela de dados foi criada para dispor um conjunto de dados de uma usina solar fotovoltaica. A Figura 51 evidencia um exemplo da tabela de dados utilizada neste sistema.

Figura 51 - Tabela de dados do sistema web

Entre com o intervalo de datas desejado!

Data Inicial: 04/05/2022

Data Final: 23/05/2022

Buscar

Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura do Módulo (°C)	Potência (W)	Data e Hora
23.62	22.75	220.01	04/05/2022 07:37:00
23.56	22.87	227.70	04/05/2022 07:43:00
23.50	22.81	209.53	04/05/2022 07:46:00
23.44	23.00	212.96	04/05/2022 07:49:00
23.44	23.00	228.01	04/05/2022 07:52:00
23.37	23.06	221.13	04/05/2022 07:55:00
23.31	23.12	258.57	04/05/2022 07:58:00
23.25	23.25	281.86	04/05/2022 08:01:00
23.25	23.19	248.15	04/05/2022 08:04:00
23.25	23.31	249.32	04/05/2022 08:07:00
23.31	23.31	263.26	04/05/2022 08:10:00
23.31	23.25	233.59	04/05/2022 08:14:00
23.25	23.50	304.47	04/05/2022 08:17:00
23.25	23.31	300.97	04/05/2022 08:20:00
23.25	23.44	320.59	04/05/2022 08:23:00
23.25	23.69	349.76	04/05/2022 08:26:00
23.25	23.69	325.32	04/05/2022 08:29:00
23.25	23.81	343.35	04/05/2022 08:32:00
23.19	24.00	437.84	04/05/2022 08:35:00

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Vale ressaltar que como a tabela contém todas as informações correspondentes aos dias que estão neste intervalo de datas, torna-se inviável colocá-la por completo, logo o intuito da figura é demonstrar apenas a maneira que a tabela é estruturada.

Para que seja possível utilizar a disposição de informações no formato de tabela, criou-se um arquivo em PHP, de tal modo que o usuário forneça um intervalo de datas. Quando o usuário colocar o intervalo de datas desejado e apertar o botão “Buscar”, será feita uma busca na tabela medidas do Banco de Dados. Logo essa busca irá selecionar todas as grandezas obtidas por meio dos sensores que estão registradas no Banco de Dados onde as informações desejadas estarão entre o intervalo de datas que o usuário inseriu.

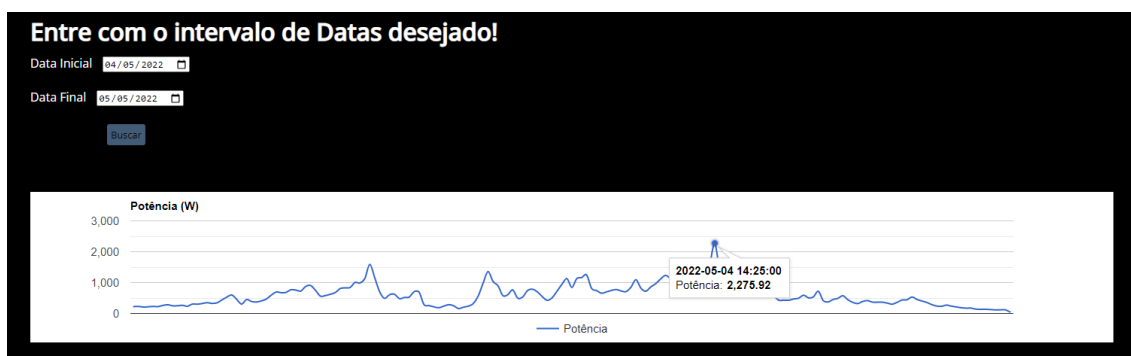
De acordo com que a busca for realizada, o sistema irá criar uma tabela automaticamente onde o seu tamanho irá depender da quantidade de medidas que foram realizadas naquele intervalo de datas. Todas as informações capturadas no Banco de Dados serão exibidas com sua data e horário de aquisição da informação.

5.4.4. GRÁFICOS

Os gráficos são recursos utilizados para representar um fenômeno que possa ser mensurado, qualificado ou ilustrado de forma mais ou menos lógica. Os gráficos apontam uma dimensão estatística sobre um determinado fato, logo a interpretação correta de gráficos é de suma importância para compreender determinados fenômenos.

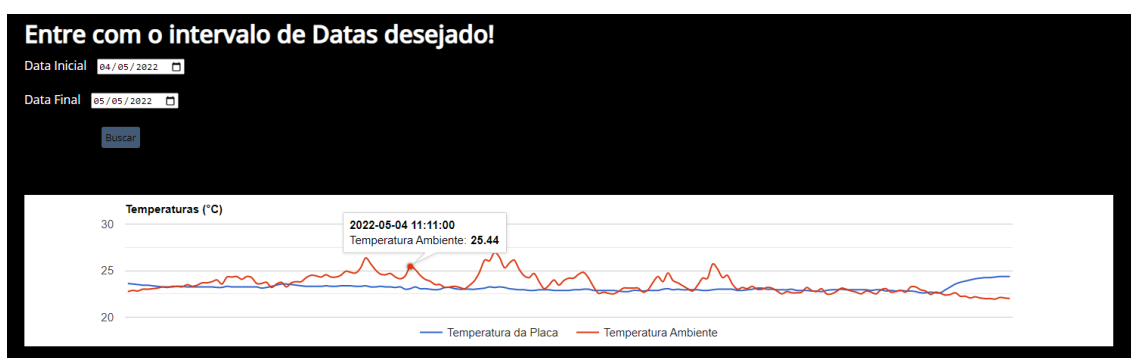
Geralmente os gráficos fazem comparações de informações qualitativas e quantitativas, podendo envolver tempo e o espaço. Neste caso, os gráficos irão apresentar todas as informações contidas nas tabelas, possibilitando analisar o rendimento da usina solar fotovoltaica. Existe uma grande variedade de tipos de gráficos, dentre os quais destaca-se os de coluna, em barras, pizza, área, linha e rede. Nas Figura 52 e Figura 53 apresentadas a seguir, serão mostrados os gráficos de potência e temperatura utilizados neste sistema.

Figura 52 - Gráfico de potência do sistema web



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Figura 53 - Gráfico de temperaturas do sistema web



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

O processo para aquisição das informações exibidas nos gráficos foi feito de maneira similar do processo apresentado no tópico tabelas. Nota-se que quando o usuário posiciona o cursor do mouse na linha do gráfico, aparece uma janela identificando data, horário e o dado correspondente daquele momento.

5.4.5. SAIR

O botão sair deste menu é utilizado para que quando o usuário realize todas as suas consultas, ele saia do sistema web e seja redirecionado para o painel de controle.

5.5. SISTEMA DE MONITORAMENTO EXPERIMENTAL

Inicialmente definiu-se o sistema de geração a ser monitorado, optando-se pelo sistema instalado no IFG – Campus Itumbiara devido a viabilidade física do mesmo, facilitando o acesso para a instalação e remoção da plataforma de baixo custo. Este sistema conta com 2 grupos paralelos de 6 módulos fotovoltaicos da empresa BYD COMPANY LIMITED, com potência de 335Wp por módulo, conectados em série, totalizando dois grupos paralelos com

tensão final de circuito aberto de aproximadamente 272,64V, corrente de curto circuito de aproximadamente 9,25A e potência instalada de 2,01kWp cada grupo. A Figura 54 apresenta a usina solar fotovoltaica a ser monitorada neste trabalho.

Figura 54 – Usina Fotovoltaica monitorada no presente trabalho



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

As informações do fabricante correspondente aos módulos pertencentes a esta usina fotovoltaica serão disponibilizadas por meio da Tabela 5 .

Tabela 5 – Informações dos módulos fotovoltaicos correspondentes ao sistema monitorado

Tipo de módulo	BYD335PHK-36
Potência máxima nominal (Pmax)	335 W
Tolerância	0 - 5 V
Tensão em Pmax (Vmp)	38,1 V
Corrente em Pmax (Imp)	8,79 A
Tensão de circuito aberto (Voc)	45,44 V
Corrente de circuito aberto (Isc)	9,25 A
Temperatura Nominal da Célula	45°C ± 2°C
Peso	22,3 Kg
Dimensão	1992x992x35 (mm)
Tensão máxima do sistema	1500 VDC
Classe de aplicação do Módulo	Classe A
Todos os dados técnicos em condições de teste padrão	(E = 1000W/m ² Tc = 25°C AM 1.5)

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Toda a energia gerada por esses módulos é enviada para um inversor da marca Fronius com potência de 3 kWp, com o intuito de utilizar esta energia para realizar a alimentação das lâmpadas e tomadas do laboratório de fontes renováveis da instituição. Além disso, este

inversor também conta com o sistema de proteção tanto na parte contínua quanto na parte alternada. A Figura 55 evidencia o inversor utilizado juntamente com o seu sistema de proteção.

Figura 55 - Inversor utilizado na usina solar monitorada



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Toda energia gerada pelo sistema que não consiga ser utilizada, é enviada para um banco de baterias, de modo a armazenar a energia que sobrou para que a mesma possa ser utilizada em um momento de necessidade. A Figura 56 apresenta o banco de baterias deste sistema.

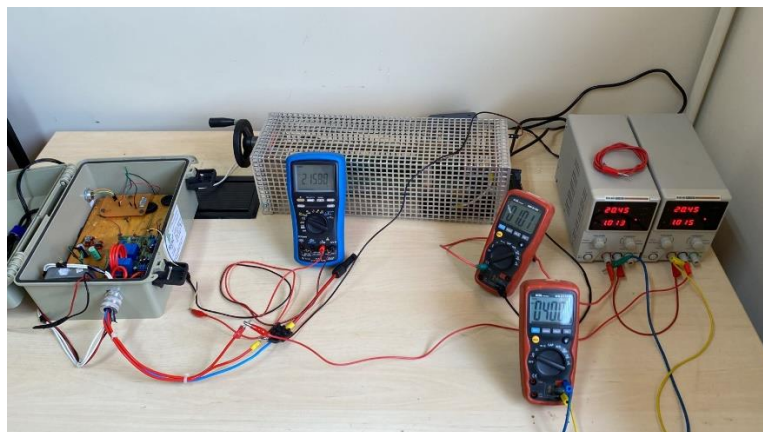
Figura 56 – Banco de baterias utilizado no sistema monitorado



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

De modo similar a [9] optou-se pelo monitoramento da potência gerada por um módulo do sistema, garantindo-se a tensão máxima inferior a 50V e a corrente máxima inferior a 10A, atendendo as condições de projeto apresentadas no Capítulo 3. A calibração para aquisição dos dados de potência deste sistema de baixo custo foram feitas em laboratório, dispondo-se de dois multímetros digitais, um reostato de 200 Ω /1kW e duas fontes de corrente contínua. A Figura 57 demonstra como foram feitas as calibrações em laboratório.

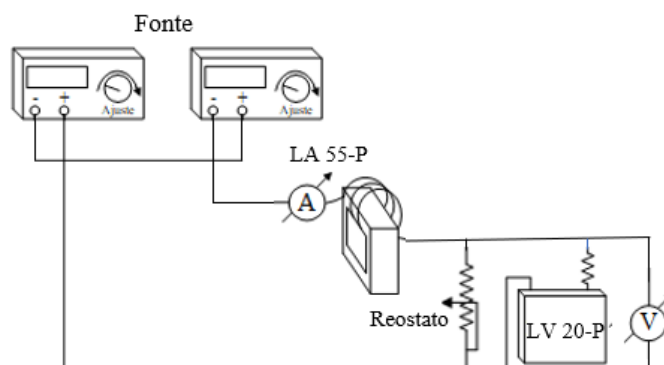
Figura 57 - Calibração do sistema de baixo custo em laboratório



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Foram realizados diversos ensaios de laboratório, onde as fontes eram conectadas em série de modo a alimentar o reostato, atuando como carga linear, permitindo verificar os níveis de tensão e corrente atuantes sobre a carga. A Figura 58 apresenta o circuito de calibração do sistema de baixo custo.

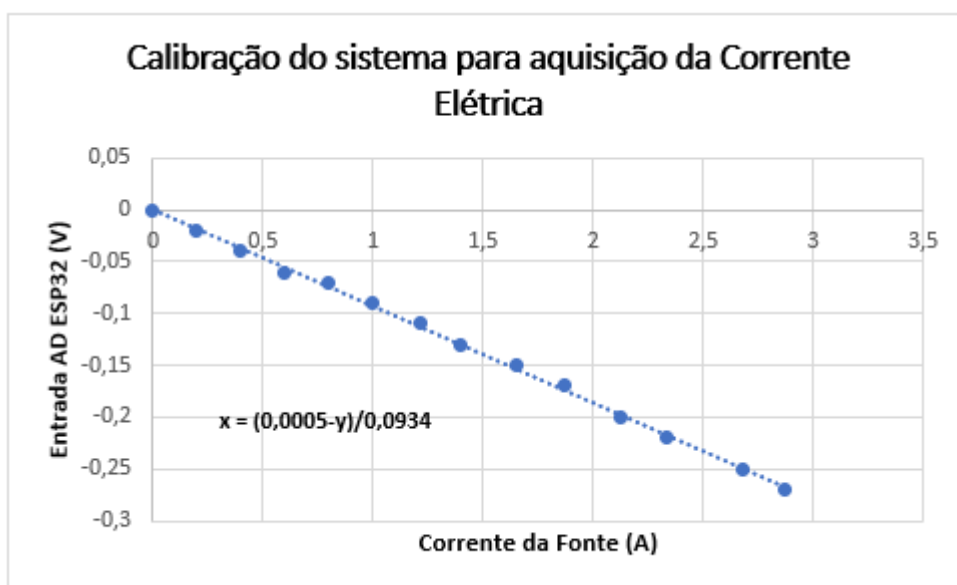
Figura 58 - Circuito para calibração do sistema de baixo custo



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Para realizar a calibração deste sistema, foi necessário captar várias amostras correspondentes as informações de entrada da porta analógica responsável por fazer a leitura dos valores de tensão e corrente. Após realizada a aquisição das amostras, com o auxílio do Excel, como recomendado em [9], foi possível obter uma equação que deixe a aquisição dos dados linear. As Figura 59 e Figura 60 apresentam as retas e as suas equações.

Figura 59 - Relação das amostras da entrada AD do ESP32 correspondentes aos valores de corrente da fonte

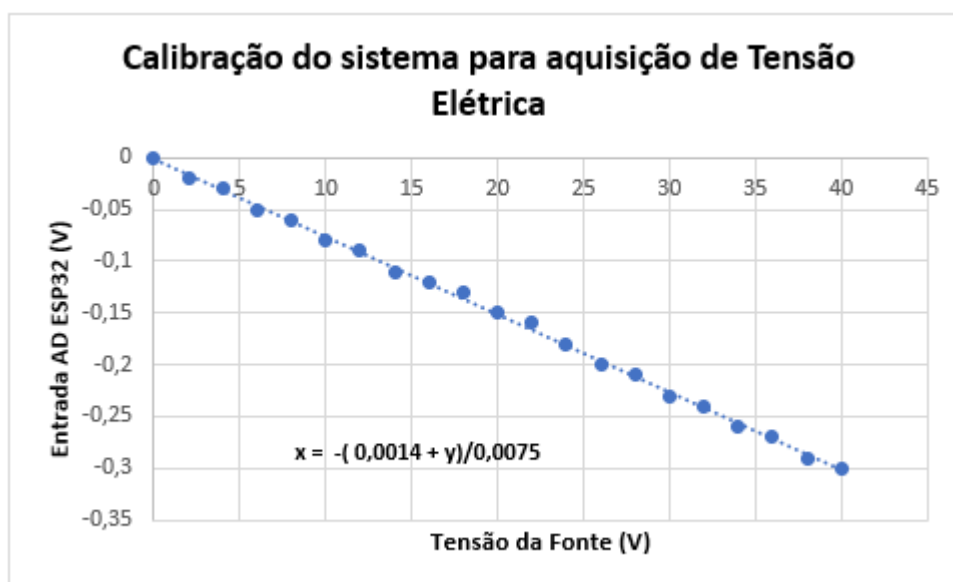


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Onde x corresponde ao valor da corrente da fonte e y corresponde ao sinal em V da entrada AD do microcontrolador ESP32. Logo, a equação obtida foi:

$$I_{fonte} = \frac{(0,0005 - V_{i_{ESP32}})}{0,0934}$$

Figura 60 - Relação das amostras da entrada AD do ESP32 correspondentes aos valores de tensão da fonte



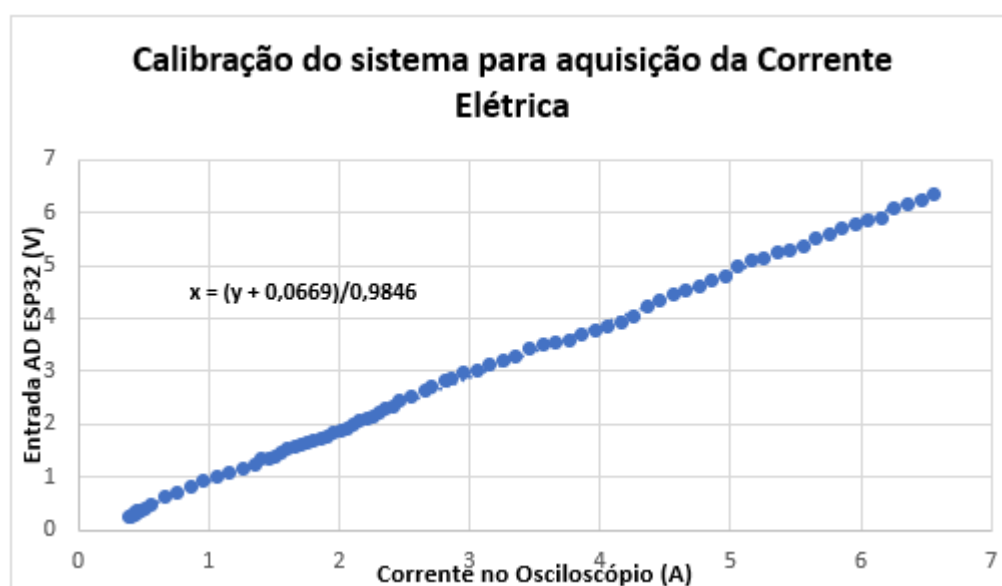
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Onde x corresponde ao valor da tensão da fonte e y corresponde ao sinal em V da entrada AD do microcontrolador ESP32. Logo, a equação obtida foi:

$$V_{fonte} = \frac{-(0,0014 + V_{v_{ESP32}})}{0,0075}$$

Com a realização dos testes em laboratório, constatou-se a linearidade dos transdutores de tensão e corrente, apresentando variações de 10mV/V e 20mV/A respectivamente. Após constatado a confiabilidade do sistema de medição, ainda se optou por mais uma aquisição de amostras quando o sistema de baixo custo estivesse conectado ao módulo solar, pois como é evidenciado na Figura 36, a quantidade de amostras de corrente não ultrapassou os 3A. Com isso realizou-se a aquisição de novas amostras utilizando um Osciloscópio, com o sistema de baixo custo ligado para que se obtivesse uma precisão maior durante a aquisição de corrente, onde o procedimento para encontrar uma equação ainda mais próxima foi o mesmo do mencionado anteriormente. A Figura 61 apresenta a nova equação para aquisição de corrente elétrica do sistema de baixo custo.

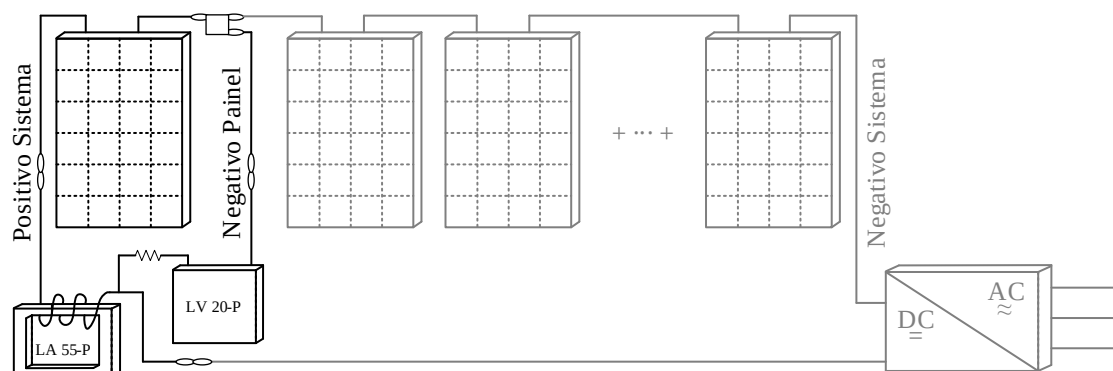
Figura 61 - Relação das amostras da entrada AD do ESP32 correspondentes aos valores de corrente do osciloscópio



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Após a realização desta última calibração para a aquisição de corrente do sistema, foi possível constatar que a variação de corrente do sistema foi de 10mV/A, visando uma melhor confiabilidade na aquisição de corrente. Como o sistema de baixo custo já instalado no sistema de geração, foi possível realizar o monitoramento do perfil de geração de um módulo. A Figura 62 evidencia o esquema de ligação após inserir os transdutores de efeito hall da plataforma de baixo custo ao sistema de geração.

Figura 62 - Conexão da plataforma no sistema de geração



Fonte: Elaborado por [9].

Com o sistema instalado foram realizados testes em campo onde a cada três minutos o sistema realiza a aquisição de mil amostras dos transdutores e realiza uma média, de modo a obter-se o valor mais próximo do momento, além de utilizar também a equação $P = V.I$ para obter a potência do módulo solar naquele momento. Após obter o valor da potência elétrica do módulo fotovoltaico, é feito um cálculo no software, de tal modo que seja possível encontrar um valor próximo a potência elétrica gerada pela usina solar. É importante salientar que as informações relacionadas aos sensores de temperatura ambiente e temperatura do módulo solar também são captadas a cada três minutos. Quando esses dados colhidos chegam ao Banco de Dados, eles recebem a data e horário em que eles foram inseridos no Banco, de modo que facilite a análise da geração da potência elétrica, das temperaturas ambiente e do módulo fotovoltaico ao longo do tempo de forma mais precisa, conforme será apresentado nos resultados experimentais.

5.6. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Com os dados armazenados no banco de dados, foi possível expressar de maneira gráfica os resultados do sistema de armazenamento da plataforma de baixo custo, possibilitando a análise do perfil de geração da usina fotovoltaica ao longo do período de tempo analisado. A seguir serão apresentadas por meio das Figura 63, Figura 64, Figura 65, Figura 66 e Figura 67 os gráficos de geração de potência elétrica e os gráficos das temperaturas, sendo possível analisar graficamente o perfil de geração da usina.

Figura 63 – Resultados experimentais correspondentes ao dia 04/05/2022 (dia nublado)

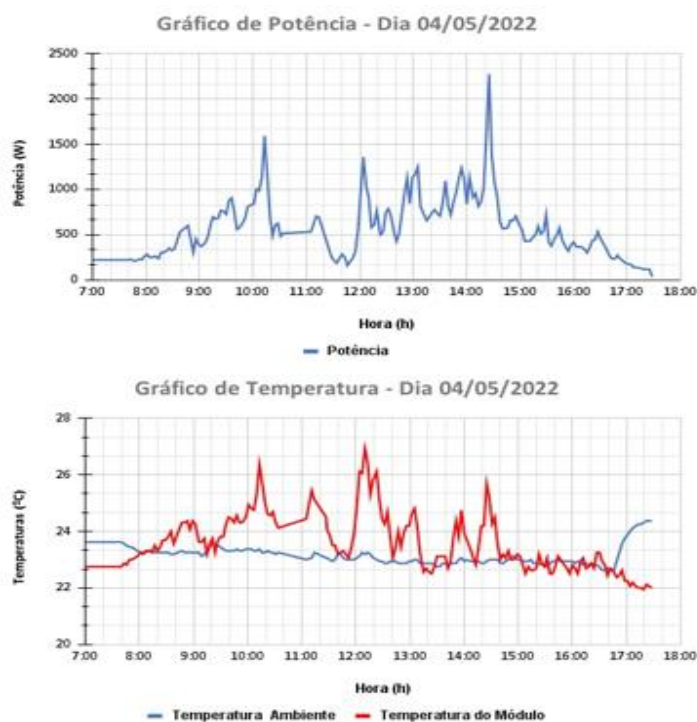


Figura 64 – Resultados experimentais correspondentes ao dia 09/05/2022 (dia de sol)

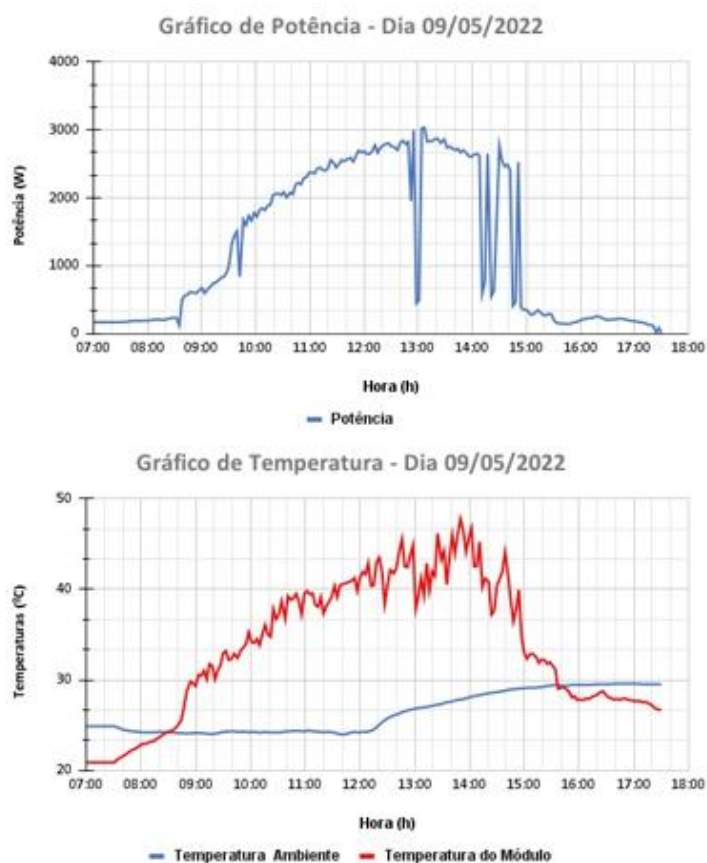
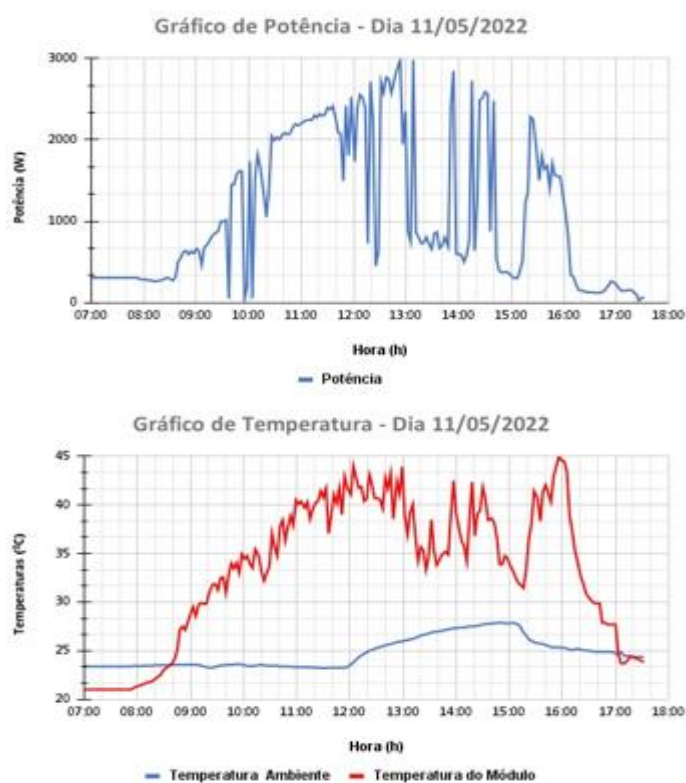
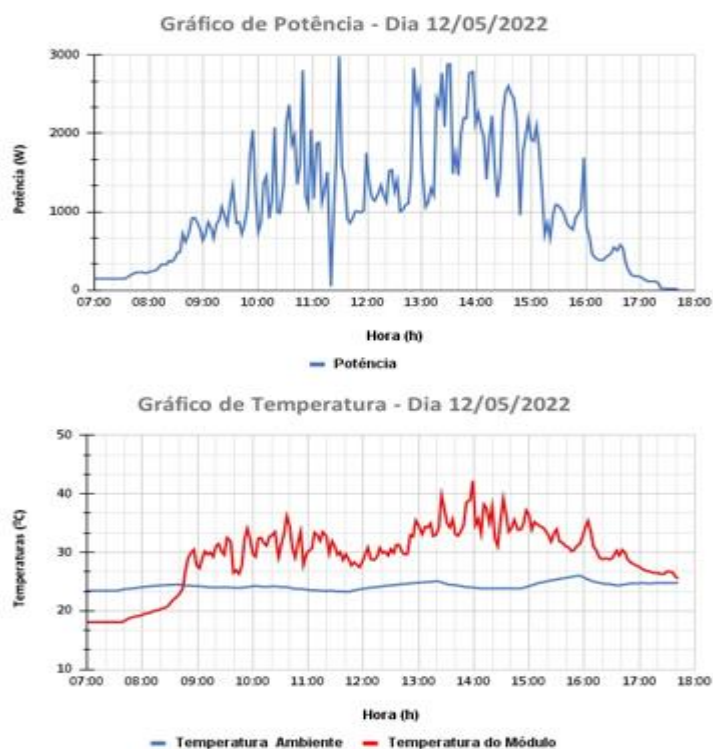


Figura 65 – Resultados experimentais correspondentes ao dia 11/05/2022 (dia de sol)



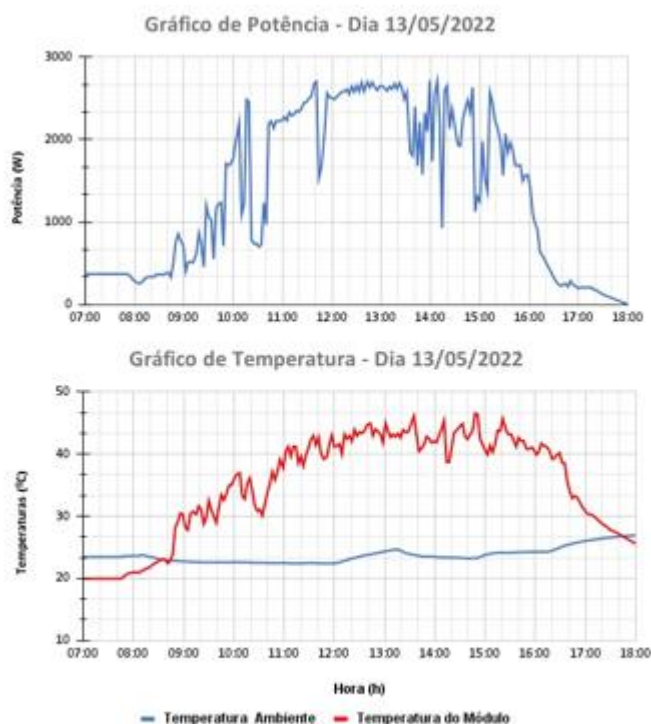
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Figura 66 – Resultados experimentais correspondentes ao dia 12/05/2022 (dia de sol)



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Figura 67 – Resultados experimentais correspondentes ao dia 13/05/2022 (dia de sol)

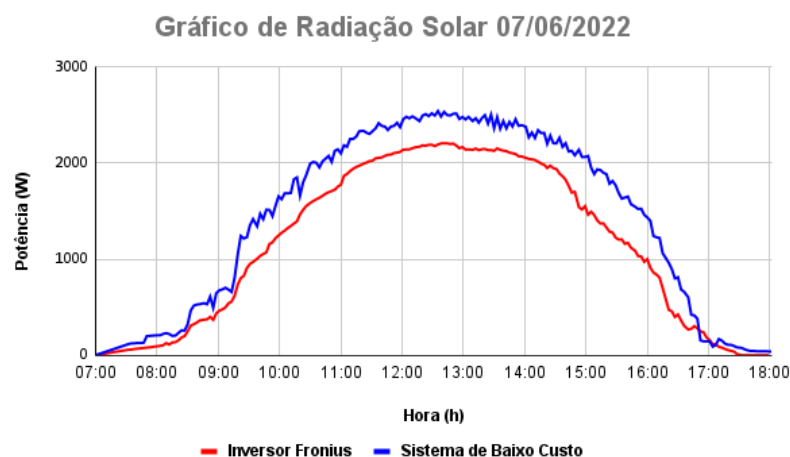


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Devido ao período de tempo utilizado para o desenvolvimento do sistema de baixo custo para aquisição de dados, reduziu-se o tempo disponível para o monitoramento, tornando-se necessário realizá-lo em dia nublado e dias de sol na cidade de Itumbiara – GO, justificando-se assim a variação da primeira amostra com as demais amostras.

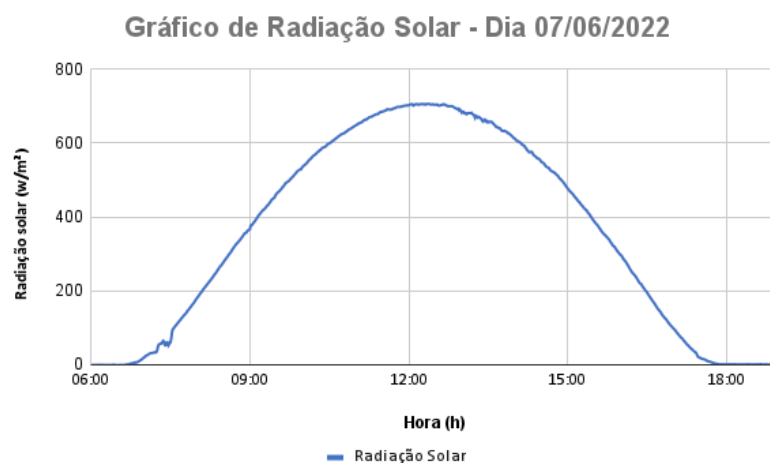
Porém, após a aquisição dos resultados experimentados exibidos acima, os estagiários do Câmpus realizaram a instalação de uma estação solarimétrica, sendo possível obter algumas informações que também auxiliam nas análises do projeto. As Figura 68 e Figura 69 evidenciam a análise de um dia de monitoramento do sistema de baixo custo, com relação aos dados obtidos pelo inversor e também a radiação solar correspondente ao dia da aquisição de dados realizada.

Figura 68 – Resultados experimentais correspondentes ao dia 07/06/2022 (dia de sol)



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Figura 69 – Resultados da estação solarimétrica correspondente ao dia 07/06/2022



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Nota-se que o monitoramento do sistema de baixo custo está bem próximo do monitoramento do inversor do sistema fotovoltaico. Porém como o sistema de baixo custo é um espelho de apenas um módulo fotovoltaico, é normal que se tenha essa diferença, pois ainda ocorre uma variação de um módulo para o outro devido a alguma sombra existente sobre algum módulo conectado ao sistema. Além disso é importante observar na Figura 54 que os módulos da usina não estão completamente limpos, diminuindo então a incidência solar nos módulos, o que implica na redução da geração do sistema. Além disso é possível notar que a geração do sistema está diretamente atrelada com a radiação solar, pois observando as Figura 68 e Figura 69, é possível analisar que a curva de ambas, são bem parecidas.

5.7. CONCLUSÃO

Neste capítulo apresentou-se todas as informações necessárias para a construção do dispositivo de baixo custo para a aquisição de dados de uma usina solar fotovoltaica. Primeiramente destacou-se como foi feita a aquisição de dados dos sensores, por meio do microcontrolador ESP32 Emissor, seguindo de uma breve explicação da comunicação RX TX entre o microcontrolador ESP32 Receptor e finalizando com o envio dos dados obtidos para o Banco de Dados MySQL utilizando o protocolo PHP. Todas as informações correspondentes a esta etapa estão contidas nas Tabela A.1 e Tabela A.2.

Após isso apresentou-se como seria feito esse armazenamento de dados no Banco de Dados MySQL, onde foi mencionado a utilização do pacote XAMPP para que fosse possível realizar a simulação de um servidor local. Todos os arquivos .php responsáveis pela conexão, consultas e inserções no Banco de Dados, devem estar salvos dentro da pasta htdocs, que fica dentro da pasta de instalação do XAMPP. Além disso, foi evidenciado também, que necessitou-se criar uma base de dados que contenha duas tabelas, uma para armazenar os dados de entrada do sistema web e outro para armazenar todos os dados dos sensores conectados ao módulo solar.

Visto que já havia sido apresentado informações de como realizar a aquisição e armazenamento dos dados, tornou-se necessário explicar como foram disponibilizados os dados obtidos no sistema web. Além disso, houve uma breve explicação do funcionamento do sistema web, de modo que o usuário tenha maior facilidade ao entrar no sistema web, navegar pelo sistema web e realizar as consultas necessárias por intervalos de datas, podendo também obter seu perfil de geração por meio da análise gráfica.

Após toda essa explicação de aquisição, armazenamento e disposição de dados, foram evidenciadas as informações da usina correspondente ao monitoramento, como a descrição dos módulos e do inversor correspondente ao sistema e o banco de baterias para armazenamento da energia que sobra do sistema. É importante ressaltar também, as calibrações feitas no sistema para realizar a aquisição dos dados da potência elétrica, e como foi feito para monitorar as informações da usina solar, por meio de apenas um único módulo solar conectado ao módulo de condicionamento de sinais elétricos.

Por fim foram evidenciados o monitoramento de seis dias, onde foi possível observar os perfis de geração de potência elétrica e das temperaturas. Foi possível notar que no primeiro dia de aquisição de informações, o perfil de geração foi bem diferente dos outros dias, devido ser um dia nublado em relação aos demais dias.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.8. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um sistema de monitoramento de baixo custo de uma usina solar, a partir de um módulo solar onde foram analisadas as influências da variação das condições climáticas no sistema de geração.

Iniciou-se com uma breve descrição sobre as usinas fotovoltaicas, onde foram evidenciadas muitas de suas vantagens e a importância de se ter um sistema fotovoltaico. Além disso, foram apresentados alguns dos sistemas fotovoltaicos instalados no IFG Câmpus Itumbiara, bem como as informações de local instalado, capacidade instalada e ângulo da instalação dos sistemas.

Posteriormente, foram evidenciados todos os dispositivos presentes no hardware do sistema de baixo custo, utilizados para realizar a aquisição dos dados de potência elétrica e temperaturas. Depois foram apresentados alguns recursos utilizados para realizar o armazenamento e disposição dos dados adquiridos pelos sensores conectados ao sistema solar. Para o desenvolvimento deste sistema de baixo custo, foram utilizados dois microcontroladores ESP32 para receber e enviar os dados a um Banco de Dados. Foram utilizados os transdutores de efeito hall para medição de tensão e corrente, através de um circuito de condicionamento de sinais elétricos, além do circuito para aquisição dos dados das temperaturas por meio de um único barramento. Todos os dados de temperatura e da geração de potência elétrica foram enviados para um Banco de Dados por meio da utilização do protocolo HTTP. Por fim este sistema possibilitou analisar os efeitos da variação das condições climáticas no sistema de geração fotovoltaico através dos resultados experimentais.

A partir do monitoramento web das temperaturas e da geração da potência elétrica de um módulo solar instalado no IFG – Câmpus Itumbiara, o presente trabalho foi concluído com o êxito de apresentar um protótipo de baixo custo com desempenho satisfatório.

5.9. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Espera-se o surgimento de novos trabalhos baseando-se no referencial teórico utilizado para realização deste trabalho e no crescimento geral dos sistemas de geração solar fotovoltaicos. Visando a continuação desta linha de pesquisa, apresenta-se algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Realizar o envio de dados por meio do protocolo MQTT;
 - Monitoramento das usinas fotovoltaicas do Instituto Federal de Goiás – Campus Itumbiara por meio da criação de um aplicativo de celular;
 - Utilizar o Chart.js para plotar gráficos, onde os mesmos estejam separados por períodos (diário, mensal e anual), sendo o gráfico diário de linha e os demais sejam gráficos de coluna;
 - Melhorar o sistema de proteção de acesso do sistema web;
 - Implementar mais uma usina solar para o monitoramento utilizando o sistema web;
 - Implementar o monitoramento gráfico da irradiância solar, de modo a realizar uma análise de geração da potência elétrica, com relação na irradiância solar e na temperatura.
-

APÊNDICE A

INTRODUÇÃO

Este apêndice visa apresentação dos códigos desenvolvidos para as simulações computacionais do módulo solar e da irradiância solar para a cidade de Itumbiara – GO, desenvolvidos ao longo do trabalho e o software para simulação da potência elétrica e temperatura do módulo solar, possibilitando uma análise aprofundada do funcionamento dos sistemas de simulação.

CÓDIGO DO SISTEMA PARA AQUISIÇÃO DOS DADOS DOS SENSORES CONECTADOS A USINA FOTOVOLTAICA

A Tabela A.1 a seguir apresenta o código completo do ESP32 Emissor, responsável por realizar a leitura de todos os sensores e enviar esses dados por meio da porta serial ao ESP32 Receptor.

Tabela A.1 - Código desenvolvido para aquisição dos dados dos sensores conectados

```
//=====Bibliotecas=====
#include <SoftwareSerial.h> // Biblioteca para trabalhar com Porta Serial
#include<DallasTemperature.h> // Biblioteca para trabalhar com o sensor DS18B20
#include<OneWire.h> // Biblioteca responsável por assegurar a comunicação do sensor a um único fio
//=====Pinos=====
SoftwareSerial RF(16,17); // Pinos RX e TX
const int pt = 26; // Pino para leitura de Temperatura
const int pv = 25; // Pino para leitura de Tensão
const int pc = 33; // Pino para leitura de Corrente
//=====Variáveis Temperatura=====
OneWire oneWire(pt); // Barramento para obter a temperatura dos sensores DS18B20
DallasTemperature temp(&oneWire);
float tAMB = 0; // Temperatura Ambiente
float tMOD = 0; // Temperatura do Módulo
float ndisp = 0; // Número de sensores DS18B20
//=====Variáveis Tensão=====
float Vv[1000]; //Vetor de amostras de tensão na entrada AD
float Vvsoma = 0; // Somador de amostras
float Vvent = 0; // Tensão na entrada AD
float Vvreal = 0; // Tensão tirando OFFSET
float VvOFset = 1.41; //Tensão quando corrente = 0
float vPainel = 0; // Recebe o valor da Tensão do Pannel
float vCal = 0;
//=====Variáveis Corrente=====
float Vi[1000]; //Vetor de amostras de tensão na entrada AD
float Visoma = 0; // Somador de amostras
float Vient = 0; // Tensão na entrada AD
float Vireal = 0; // Tensão tirando OFFSET
float ViOFset = 1.22; //Tensão quando corrente = 0
float iPainel = 0; // Recebe o valor da corrente do Pannel
float iCal = 0;
//=====
```

```

void setup() {
  //=====Iniciando Portas Seriais=====
  Serial.begin(9600);
  RF.begin(4800);
  //=====
  temp.begin(); // Iniciando sensores de temperatura
  ndisp = temp.getDeviceCount(); // Pegando a quantidade de sensores DS18B20 do barramento
  pinMode(pv,INPUT); // Pino de tensão
  pinMode(pc,INPUT); // Pino de corrente
}

void loop() {
  //=====Leitura dos Sensores=====
  //=====Temperatura=====
  temp.requestTemperaturesByIndex(0);
  tMOD = temp.getTempCByIndex(0); // Pegando a Temperatura Ambiente
  temp.requestTemperaturesByIndex(1);
  tAMB = temp.getTempCByIndex(1); // Pegando a Temperatura do Módulo
  //=====Tensão=====
  for(int i = 0; i < 1000; i++){
    // Amostras para precisão
    Vv[i] = (3.3*analogRead(pv))/4095;
    Vvsoma = Vvsoma + Vv[i];
    delay(1);
  }
  Vvent = Vvsoma/1000; // Média das amostras
  Vvsoma = 0;
  // Tirando OFset
  Vvreal = Vvent - VvOFset;
  //Polinomio de calibração
  vCal = (Vvreal+0.0014)/(-0.0075); // Calibrando para carga linear
  vPainel = (vCal - 1.2414)/0.9751; //Tensão no Pannel

  //=====Corrente=====
  for(int i = 0; i < 1000; i++){
    Vi[i] = (3.3*analogRead(pc))/4095;
    Visoma = Visoma + Vi[i];
    delay(1);
  }
  Vient = Visoma/1000;
  Visoma = 0;
  // Tirando OFset
  Vireal = Vient - ViOFset;
  // Polinomio de calibração
  iCal = ((Vireal-0.0005)/(-0.0934)); // Calibrando para carga linear
  iPainel = (iCal+ 0.0669)/0.9846; // Corrente no Pannel

  //=====Potência=====
  float pMOD = vPainel*iPainel; // Potência em um Pannel
  float pTotal = pMOD * 6 * 2; //Potência total da Usina
  //=====Imprimindo Valores=====
    // Temperatura do Pannel
    Serial.print("Encontrados ");
    Serial.print(ndisp); // Quantidade de sensores DS18B20 no sistema
    Serial.println(" sensores DS18B20 no sistema!");
    Serial.println("");
    Serial.print("Temperatura Ambiente: ");
    Serial.print(tAMB);
    Serial.print("°C");
    Serial.println("");
    Serial.print("Temperatura dos Módulos: ");
    Serial.print(tMOD);
    Serial.print("°C");
    Serial.println("");
    // Tensão no Pannel
    Serial.println("");
    Serial.print("Tensão do Pannel: ");
    Serial.print(vPainel);

```



```

Serial.println(" V");
    // Corrente no Painei
Serial.println("");
Serial.print("Corrente do Painei: ");
Serial.print(iPainei);
Serial.println(" A");
    // Potência no Painei
Serial.println("");
Serial.print("Potência do Painei: ");
Serial.print(pMOD);
Serial.println(" W");
Serial.print("Potência da Usina: ");
Serial.print(pTotal);
Serial.println(" W");
Serial.println("");
//=====Enviar Dados=====
enviar_dados(tAMB,"A",tMOD,"B",pTotal,"C"); //Enviando dados para função
//=====
}
//=====Função para enviar dados=====
void enviar_dados(float medicao1,String codigo1,float medicao2,String codigo2,float medicao3,String
codigo3){
    RF.flush(); // Limpa
    RF.print(codigo1); // Caracter A
    RF.print(medicao1); // Temperatura do Módulo
    RF.print(codigo2); // Caracter B
    RF.print(medicao2); // Temperatura Ambiente
    RF.print(codigo3); // Caracter C
    RF.print(medicao3); // Potência da Usina

    delay(180000); // Tempo para realizar a aquisição das informações
}
//=====

```

CÓDIGO DO SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE DADOS NO BANCO DE DADOS

A Tabela A.2 a seguir evidencia o código completo do ESP32 Receptor, responsável por receber as informações por meio da comunicação serial, e enviá-los para o Banco de Dados.

Tabela A.2 - Código desenvolvido para armazenar os dados obtidos ao Banco de Dados

```

//=====Bibliotecas=====
#include <WiFi.h>
#include <HardwareSerial.h>
//=====Informações do WiFi=====
const char* ssid    = "IFMAKER"; // Nome da rede
const char* password = "labifmaker"; //Senha da rede
//=====Endereço do Servidor=====
const char* host = "192.168.1.201"; // se for site (www.seusite.com)
//=====
HardwareSerial RxSerial(2);
//=====Variáveis=====
int posA = 0; // Posição do caracter A
int posB = 0; // Posição do caracter B
int posC = 0; // Posição do caracter C
String tAMB = ""; // Recebe a temperatura Ambiente
String tMOD = ""; // Recebe a temperatura do Módulo
String pMOD = ""; // Recebe a Potência do Módulo
//=====
void setup() {
    //=====Iniciando Portas Seriais=====
    Serial.begin(9600);

```

```

delay(10);
RxSerial.begin(4800,SERIAL_8N1,16,17);
//=====================================================Realizando conexão com WiFi=====
Serial.println();
Serial.println();
Serial.print("Conectando com ");
Serial.println(ssid);
WiFi.begin(ssid, password);
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  delay(500);
  Serial.print(".");
}
Serial.println("");
Serial.println("WiFi conectado!");
Serial.print("Endereço de IP: ");
Serial.println(WiFi.localIP());
//=====================================================
}

void loop() {

  String received = "";
  //=====================================================================Recebendo Informações Porta Serial=====
  while (RxSerial.available()){ // Recebe informação da porta RX
    received = (RxSerial.readString()); // lê uma informação
    //Serial.println("Leitura Serial");
    //Serial.println(received);
    for(int i = 0; i < received.length(); i++){ //Percorre toda informação da porta serial
      if(received.charAt(i) == 'A'){ // Verifica posição do caracter A
        posA = i; // Salva posição do caracter A
      }
      if(received.charAt(i) == 'B'){ // Verifica posição do caracter B
        posB = i; // Salva posição do caracter B
      }
      if(received.charAt(i) == 'C'){ // Verifica posição do caracter C
        posC = i; // Salva posição do caracter C
      }
    }
  }
  tAMB = received.substring(posA+1,posB); // Extrai informação da Temperatura Ambiente da informação que
  chega
  tMOD = received.substring(posB+1,posC); // Extrai informação da Temperatura do Módulo da informação
  que chega
  pMOD = received.substring(posC+1); // Extrai informação da Potência da informação que chega
  Serial.print("Temperatura Ambiente: ");
  Serial.println(tAMB);
  Serial.print("Temperatura do Módulo: ");
  Serial.println(tMOD);
  Serial.print("Potência do Módulo: ");
  Serial.println(pMOD);
  //=====================================================================Conectado com o servidor Local=====
  Serial.print("Conectando com: ");
  Serial.println(host); //endereço de IP do computador
  // Use WiFiClient class to create TCP connections
  WiFiClient client;
  const int httpPort = 80; // porta desejada a conexão
  if (!client.connect(host, httpPort)) {
    Serial.println("Falha na conexão");
    return;
  }
  //=====================================================================URL para salvar os valores no BD=====
  // URL para salvar os valores(como utilizada nos testes antes de usar ESP)
  String url = "/tcc/salvar.php?";
  url += "temperaturaAmbiente=";
  url += tAMB;
  url += "&temperaturaPlaca=";
  url += tMOD;
  url += "&potencia=";
  url += pMOD;

```

```
Serial.print("Requisitando URL: ");
Serial.println(url);

// Solicitação get
client.print(String("GET ") + url + " HTTP/1.1\r\n" +
    "Host: " + host + "\r\n" +
    "Connection: close\r\n\r\n");
// Verifica o tempo de solicitação
unsigned long timeout = millis();
while (client.available() == 0) {
    if (millis() - timeout > 5000) {
        Serial.println(">>> Client Timeout !");
        client.stop();
        return;
    }
}

// Captura o que retornou que vem do servidor
while (client.available()) {

    String line = client.readStringUntil('\r');

    if (line.indexOf("Valores inseridos") != -1) {

        Serial.println();
        Serial.println("Valores inseridos com sucesso!!");

    } else if (line.indexOf("Erro ao inserir os valores!") != -1) {

        Serial.println();
        Serial.println("Erro ao salvar");
    }
}

Serial.println();
Serial.println("Ciclo encerrado!"); // Mostra que o ciclo se encerrou
//=====================================================
```

REFERÊNCIAS

-
- [1] L. C. L. d. Silva, “PROJETO DE UM CARACTERIZADOR AUTOMÁTICO DE CURVAS PARA PAINÉIS FOTOVOLTAICOS UTILIZANDO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS ASSISTIDO POR SUPERVISÓRIO,” Editora - IFG, Itumbiara - GO, 2017.
- [2] R. R. Biggi, “O USO DA LUZ SOLAR COMO FONTE DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE SISTEMA FOTOVOLTAICO - SF,” Lavras, 2013.
- [3] J. T. PINHO e M. A. GALDINO, Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos, 1ª ed., vol. Único, Rio de Janeiro - RJ: CEPTEL - Cesesb, 2014, p. 530.
- [4] P. Solar, “Tudo sobre a Eficiência do Pannel Solar,” Portal Solar, [Online]. Available: <https://www.portalsolar.com.br/tudo-sobre-a-eficiencia-do-pannel-solar.html>. [Acesso em 10 Janeiro 2022].
- [5] R. Gogoni, “O que é hardware?,” tecnoblog, 2019. [Online]. Available: <https://tecnoblog.net/responde/o-que-e-hardware/>. [Acesso em 10 Janeiro 2022].
- [6] R. Kerschbaumer, Microcontroladores, Luzerna - SC: EDITORA - IFG, 2018.
- [7] A. Curvello, “ESP32 – Um grande aliado para o Maker IoT,” FILIPEFLOP, 27 Fevereiro 2017. [Online]. Available: <https://www.filipeflop.com/blog/esp32-um-grande-aliado-para-o-maker-iot/>. [Acesso em 06 Fevereiro 2022].
- [8] L, “Categoria: ESP32,” Lobo da Robótica, 11 Setembro 2020. [Online]. Available: <https://lobodarobotica.com/blog/category/esp32/>. [Acesso em 05 Fevereiro 2022].
- [9] A. A. P. CAMPOS, “DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA EXPERIMENTAL PARA MONITORAMENTO DA TEMPERATURA E POTÊNCIA ELÉTRICA GERADA EM UM PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO E UM ESTUDO E SIMULAÇÃO SOBRE A IRRADIÂNCIA SOLAR,” Editora - IFG, Itumbiara - GO, 2018.
- [10] LEM, “LEM LV 20-P Datasheet,” LEM Internacional SA, [Online]. Available: <https://octopart.com/datasheet/lv+20-p-lem-2149165>. [Acesso em 22 Maio 2021].
- [11] LEM, “Transdutor de Corrente LA 55-P,” LEM International SA, [Online]. Available: https://www.lem.com/sites/default/files/products_datasheets/la_55-p_e.pdf. [Acesso em 18 Julho 2021].
- [12] G. Oliveira, “Arduino – Medindo a Temperatura com o Sensor DS18B20,” blogmasterwalkershop, [Online]. Available:
-

<https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/arduino-medindo-a-temperatura-com-o-sensor-ds18b20>. [Acesso em 20 Fevereiro 2022].

[13 MAXIM, “Datasheet Sensor DS18B20,” Maxim Integrated, [Online]. Available: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>. [Acesso em 15 Março 2018].

[14 D. MADEIRA, “DS18B20 - SENSOR DE TEMPERATURA INTELIGENTE,” Vida de silício, [Online]. Available: https://portal.vidadesilicio.com.br/sensor-de-temperatura-ds18b20/?vds&gclid=CjwKCAiAhreNBhAYEiwAFGGKPOrytvxPOo1kgkvyfN9a7avMWtKb7X72I3bVrSIb-IQAYSxrRDRT6xoCB8YQAvD_BwE. [Acesso em 25 Janeiro 2022].

[15 G. P. VIAJANTE, “Gerador A Relutância Variável Em Conexão Com A Rede Elétrica Para Injeção De Potência Ativa,” Editora UFU, Uberlândia - MG, 2013.

[16 R. POZZEBOM, “O que são sistemas embarcados?,” OFICINA DA NET, 27 Outubro 2014. [Online]. Available: <https://www.oficinadanet.com.br/post/13538-o-que-sao-sistemas-embarcados>. [Acesso em 22 Fevereiro 2022].

[17 “O Que É um Banco de Dados?,” ORACLE, [Online]. Available: [https://www.oracle.com/br/database/what-is-database/#:~:text=de%20dados%20aut%C3%B4nomos-,Banco%20de%20dados%20definido,banco%20de%20dados%20\(DBMS\)..](https://www.oracle.com/br/database/what-is-database/#:~:text=de%20dados%20aut%C3%B4nomos-,Banco%20de%20dados%20definido,banco%20de%20dados%20(DBMS)..) [Acesso em 20 Fevereiro 2022].

[18 C. Noletto, “Banco de dados: Tipos o que é e suas diferenças!,” trybe, 15 Maio 2020. [Online]. Available: <https://blog.betrybe.com/tecnologia/bancos-de-dados/>. [Acesso em 24 Março 2022].

[19 D. Melo, “O que é HTTP?,” tecnoblog, Março 2021. [Online]. Available: <https://tecnoblog.net/responde/o-que-e-http/>. [Acesso em 24 Fevereiro 2022].

[20 N. Fernandes, “O que é o protocolo MQTT?,” HI tecnologia, Março 2021. [Online]. Available: <https://www.hitecnologia.com.br/blog/o-que-e-protocolo-mqtt/>. [Acesso em 12 Maio 2022].

[21 “DIFERENÇA ENTRE OS PROTOCOLOS MQTT E HTTP,” Acervo Lima, [Online]. Available: <https://acervolima.com/diferenca-entre-os-protocolos-mqtt-e-http/>. [Acesso em 12 Maio 2022].

[22 Y. Matheus, “HTTP: GET e POST - Conheça as diferenças entre os métodos,” alura, 08
] Maio 2018. [Online]. Available: https://www.alura.com.br/artigos/diferencas-entre-get-e-post?gclid=CjwKCAjwo8-SBhAlEiwAopc9W9rktV-lfVxxCw0xNkH9RiNWB2SegY2koPwB73RLkVDaiSH6IHXR6hoCOVUQAvD_BwE.
[Acesso em 02 Fevereiro 2022].
