



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS

Nycollas Kaíque de Paula Castilho Borges

Desenvolvimento de Estação Solarimétrica de Baixo Custo

ITUMBIARA

2021



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: Nycolas Kaigue de Paula Castilho Borges.

Matrícula: 2014 2040070280

Título do Trabalho: Desenvolvimento de Estação Solarimétrica de Baixo Custo.

Autorização - Marque uma das opções

- ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
- ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
- ☐ 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:

- 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;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos 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;
- 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, 25/01/2021
Local Data

Nycolas Kaigue de Paula Castilho Borges
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Nycollas Kaíque de Paula Castilho Borges

Desenvolvimento de Estação Solarimétrica de Baixo Custo

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal De Educação, Ciência E Tecnologia De Goiás, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Eric Nery Chaves
Coorientador: Prof. Dr. Ghunter Paulo Viajante

ITUMBIARA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

B732d Borges, Nycollas Kaíque de Paula Castilho
 Desenvolvimento de estação solarimétrica de baixo custo. /
 Nycollas Kaíque de Paula Castilho Borges. – Itumbiara, 2021.
 77 p. : il. color.

 Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia
 Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
 Goiás, Câmpus Itumbiara, 2021.

 Orientador: Prof. Dr. Eric Nery Chaves

 1.Irradiação. 2. Radiação solar. 3. Arduino (Controlador
 programável).

 I. Título. II. Chaves, Eric Nery. III. Instituto Federal de
 Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

CDD 621.3678

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Itumbiara

Biblioteca Maria Gabriela Pacheco Pardey

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Rosiane Gonçalves de Lima CRB1/1684



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS ITUMBIARA

TERMO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Desenvolvimento de Estação Solarimétrica de Baixo Custo.

AUTOR: Nycollas Kaíque de Paula Castilho Borges.

ORIENTADOR: Eric Nery Chaves.

Aprovado como parte das exigências para obtenção do diploma de Engenheiro Eletricista, do Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara.

Itumbiara, 19 de janeiro de 2021.

Eric Nery Chaves

Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara.

Ghunter Paulo Viajante

Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara.

Marcos Antônio Arantes de Freitas

Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara.

Documento assinado eletronicamente por:

- Eric Nery Chaves, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 20/01/2021 15:05:53.
- Ghunter Paulo Viajante, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 20/01/2021 14:50:12.
- Marcos Antonio Arantes de Freitas, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 19/01/2021 20:56:05.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 19/01/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 123661

Código de Autenticação: aab398a21e



DEDICATÓRIA

A mim, a minha família, a meus
amigos e pessoas queridas que
foram essenciais durante minha
trajetória nessa etapa de minha
vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais **Elzeli F. de Paula Castilho** e **Andrey Castilho Borges** que me apoiaram durante meu percurso para a conclusão do ensino superior.

Agradeço a minha irmã **Nycolle de Paula Borges** pelos momentos que passamos juntos e pela nossa amizade, que se tornou um porto seguro para mim, além de todo amor que compartilhamos um pelo outro.

Agradeço a todos meus amigos e amigas que foram essenciais e me apoiaram nessa etapa em todos os momentos difíceis e fáceis também, mesmo aqueles que estão distantes fisicamente, mas sempre presentes em minha vida.

Agradeço ao **José Ricardo**, meu amigo, pelo aconselhamento durante o desenvolvimento do projeto, possibilitando que mais uma etapa pudesse ser concluída com sucesso.

Agradeço ao meu professor e orientador **Eric Nery Chaves**, e coorientador **Ghunter Paulo Viajante**, que sempre acreditaram em meu potencial e me ajudaram com dedicação, instrução e paciência a concluir esse trabalho.

Agradeço também aos meus amigos e colegas do IFG, aos que seguiram comigo até o final e aos que tomaram outros caminhos, sempre me dando forças para continuar estudando.

Agradeço ao **Instituto Federal de Goiás (IFG)**, por dar oportunidade para a minha formação em nível superior.

“Às vezes a vida é como um túnel escuro, nem sempre se pode ver a luz no fim do túnel. Mas se você continuar em frente, chegará num lugar melhor”

Iroh.

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma estação solarimétrica de baixo custo, para análise de medições e pesquisas na área de energia fotovoltaica. O objetivo principal é construir um dispositivo capaz de mensurar as principais grandezas a serem analisadas em projetos de geração fotovoltaica, como a temperatura, umidade e irradiação solar da área. Essas variáveis influenciam na tensão do módulo, corrente gerada e potência máxima de saída. Para isso, são utilizados microprocessadores Arduino UNO e ESP32, com programação embarcada em linguagem C++, em conjunto com sensores de temperatura, umidade e luminosidade. Também é desenvolvido uma plataforma web, utilizando de linguagens como o HTML, PHP, SQL e JAVA, para realizar o acesso e aquisição dos dados e exibir os mesmo em gráficos.

Palavras-chave: Arduino, ESP32, irradiância solar, painel fotovoltaico.

ABSTRACT

This work presents the development of a low budget Solar Station, for analysis of measurements and searches at the photovoltaic energy area. The main objective is to construct a device capable of measuring the main quantities that needs to be analyzed in a photovoltaic power plant project, such as the temperature, humidity and the solar irradiation in the area. These variables influence the module voltage, current generated and maximum output power. For this, Arduino UNO and ESP32 microprocessors are used, with embedded programming in C ++ language, together with temperature, humidity and light sensors. A web platform is also developed, using languages such as HTML, PHP, SQL and JAVA, to access and acquire data and display it in graphics.

Keywords: Arduino, ESP32, photovoltaic module, solar irradiation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 -	Dopagem silício tipo P.	21
Figura 2.2 -	Conexão em série das células do módulo FV.	21
Figura 2.3 -	Forma construtiva do painel silício cristalino.	22
Figura 2.4 -	Painel policristalino.	22
Figura 2.5-	Blocos de silício.	23
Figura 2.6 -	Forma construtiva da célula de silício amorfo.	23
Figura 2.7 -	Forma construtiva do painel de silício amorfo.	24
Figura 2.8 -	Relação temperatura vs. tensão de saída.	25
Figura 2.9 -	Refração.	26
Figura 2.10 -	Reflexão.	26
Figura 2.11 -	Difração.	27
Figura 2.12 -	Relação entre irradiância e umidade.	27
Figura 2.13 -	Espectro da luz solar.	28
Figura 2.14 -	Irradiância, em W/m^2 , durante 24 horas em diversos meses.	29
Figura 2.15 -	Tensão e corrente conforme variação na irradiância.	29
Figura 3.1 -	Piranômetro.	30
Figura 3.2 -	Anemômetro.	31
Figura 3.3 -	Termo-higrômetro.	32
Figura 3.4 -	Estação solarimétrica.	32
Figura 3.5 -	DHT11.	33

Figura 3.6 -	Conexão DHT11.	33
Figura 3.7 -	Módulo LDR.	35
Figura 3.8 -	Configuração das portas do Arduino UNO.	35
Figura 3.9 -	ESP32.	36
Figura 3.10 -	Pinos ESP32.	36
Figura 3.11 -	Conversor de nível lógico bidirecional 5V~3,3V.	37
Figura 3.12 -	HTML/SQL.	38
Figura 3.13 -	Google Charts.	38
Figura 3.14 -	Fluxograma da estação solarimétrica.	39
Figura 3.15 -	Modelo do ESP32.	39
Figura 3.16 -	a) Módulo LDR. b) Conversor de nível lógico. c) DHT11.	40
Figura 3.17 -	Modelo do Arduino UNO.	41
Figura 3.18 -	Conexão dos componentes na simulação.	41
Figura 3.19 -	Estação solarimétrica na <i>protoboard</i> .	42
Figura 3.20 -	Código Arduino UNO.	43
Figura 3.21 -	Código ESP-32.	45
Figura 3.22 -	Index.php.	46
Figura 3.23 -	Função <i>Ready</i>	48
Figura 3.24 -	Função <i>ajax</i> .	48
Figura 3.25 -	Busca.php.	49
Figura 3.26 -	Função <i>drawCharts</i> .	50

Figura 3.27 -	Cabeçalho da página definido por <i>style.css</i> .	50
Figura 4.1 -	Exibição da temperatura no site online.	51
Figura 4.2 -	Irradiação solar média mensal em Itumbiara conforme CRESESB.	52
Figura 4.3 -	Irradiação em Itumbiara conforme Global Solar Data.	53
Figura 4.4 -	Perfil médio mensal de radiação solar por hora.	54
Figura 4.5 -	Gráfico do perfil médio mensal de radiação solar.	54
Figura 4.6 -	Temperatura medida em 15/10/2020.	55
Figura 4.7 -	Umidade medida em 15/10/2020.	56
Figura 4.8 -	Irradiância medida em 15/10/2020.	57
Figura 4.9 -	Temperatura medida em 18/10/2020.	58
Figura 4.10 -	Umidade medida em 18/10/2020.	58
Figura 4.11 -	Irradiância medida em 18/10/2020.	59
Figura 4.12 -	Temperatura medida em 19/10/2020.	60
Figura 4.13 -	Umidade medida em 19/10/2020.	60
Figura 4.14 -	Irradiância medida em 19/10/2020.	61

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ADC1	<i>Analog to Digital Converter 1</i> (Grupo 1 de portas conversoras analógico para digital)
ADC2	<i>Analog to Digital Converter 2</i> (Grupo 2 de portas conversoras analógico para digital)
B2H6	Composto químico Diborano
bits	<i>Binary digit</i> (Dígito binário)
bps	Bits por segundo
β	Coefficiente que descreve variação na tensão de saída do painel fotovoltaico
C++	Linguagem de programação
CC/CA	Corrente contínua/Corrente Alternada
cm	Centímetros
CSS	<i>Cascading Style Sheets</i> (Linguagem de programação para páginas de estilo em cascata)
ESP32	Módulo microcontrolador integrado com <i>Wi-Fi</i> e <i>Bluetooth</i>
EVA	Espuma vinílica acetinada
FV	Fotovoltaico
G (W/m²)	Irradiância incidente no módulo fotovoltaico.
g, g1, g2, g3	Gráficos: 1, 2 e 3.
GAP	Lacuna
GND	<i>Ground</i> (Referencial terra)
GPIO	<i>General-purpose input/output</i> (Entrada e saída de uso geral)
GWh	Gigawatts-hora
h	Horas
HTML	Linguagem de Marcação de HiperTexto
IDE	<i>Integrated Development Environment</i> (Ambiente de Desenvolvimento Integrado)
IFG	Instituto Federal de Goiás
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i> (Notação de Objetos JavaScript)
kΩ	Quiloohm
Kt (°C m²/W)	Coefficiente térmico do módulo fotovoltaico

<i>LDR</i>	<i>Light Dependent Resistor</i> (Resistor dependente de luz)
ldr	Variável virtual que armazena a leitura do módulo LDR
<i>LLC</i>	<i>Logic Level Converter</i> (Conversor de nível lógico)
LM393	Circuito integrado comparador de tensão
m/s	Metros por segundo
mm	Milímetro
ms	Milissegundos
N1, N2	Índice de refração do meio 1 e 2
nm	Nanômetros
°C	Graus Celsius
θ_i	Ângulo de incidência
θ_r	Ângulo de reflexão
<i>PHP</i>	<i>Personal Home Page</i> (Página inicial pessoal, lingual de programação)
PVF	Filme de fluoreto de polivinila
rad	Variável virtual que armazena a irradiância
RX, RX0	Porta receptora da comunicação serial
SiH4	Composto químico Silano
Ta (°C)	Temperatura ambiente
TCO	Óxido condutor transparente
To (°C)	Temperatura de operação do módulo
TWh	Terawatts-hora
TX, TX0	Porta transmissora da comunicação serial
UNO	Microprocessador Arduino UNO
UR	Umidade relativa do ar
<i>USB</i>	<i>Universal Serial Bus</i> (porta serial universal)
V	Volts
VCC	Tensão de 5V
Vin	Tensão de entrada
W/m²	Watt por metro quadrado
<i>Wi-Fi</i>	<i>Wireless Fidelity</i> (Tecnologia de comunicação sem fio)

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	16
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	16
1.2 OBJETIVOS	18
1.2.1 <i>Objetivo geral</i>	18
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i>	18
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	19
ESTUDO DO PAINEL FOTOVOLTAICO	20
2.1 ASPECTOS CONSTRUTIVOS DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS	20
2.1.1 <i>Silício monocristalino</i>	20
2.1.2 <i>Silício policristalino</i>	22
2.1.3 <i>Silício amorfo</i>	23
2.2 COMPORTAMENTO DEVIDO AS CONDIÇÕES AMBIENTAIS	24
2.2.1 <i>Efeito da temperatura</i>	24
2.2.2 <i>Efeito da umidade</i>	25
2.2.3 <i>Efeito da irradiância solar</i>	28
PROJETO DA ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA	30
3.1 ASPECTOS CONSTRUTIVOS DA ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA	30
3.1.1 <i>Piranômetro</i>	30
3.1.2 <i>Anemômetro</i>	30
3.1.3 <i>Termo-higrômetro</i>	31
3.1.4 <i>Datalogger</i>	32
3.2 ESTUDO DE HARDWARE E SOFTWARE.....	33
3.2.1 <i>DHT11</i>	33
3.2.2 <i>Módulo LDR</i>	34
3.2.3 <i>Arduino UNO</i>	35
3.2.4 <i>ESP32</i>	36
3.2.5 <i>Conversor de nível lógico</i>	37
3.2.6 <i>HTML, PHP E SQL</i>	38
3.3 PROJETO DA ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA DE BAIXO CUSTO	39
3.3.1 <i>Hardware</i>	39
3.3.2 <i>Software</i>	42

3.3.3 <i>Supervisório</i>	46
RESULTADOS E ANÁLISE	51
4.1 MEDIÇÕES	51
4.2 RESULTADOS	51
CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
BIBLIOGRAFIA	64
GLOSSÁRIO	67
APÊNDICE A – CÓDIGO ARDUINO UNO	69
APÊNDICE B – CÓDIGO ESP32	70
APÊNDICE C – CÓDIGO SITE	71

Capítulo I

INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

Sabe-se que a popularização da energia elétrica, nas últimas duas décadas do século XIX, em sua forma alternada como é conhecida hoje, fez com que a humanidade se tornasse dependente desse recurso para sua estabilidade e sobrevivência. Foi com Nikola Tesla que houve a concretização da corrente alternada como forma padrão de transmissão, distribuição e consumo de energia elétrica (MOTA, 2017).

A partir das invenções de Tesla, financiadas por Westinghouse, foi possível criar os elevadores e eletrodomésticos, além de realizar a transmissão de energia a grandes distâncias, a qual era gerada através da primeira usina hidrelétrica moderna em Naiagara Falls, projetada pelo mesmo (MOTA, 2017).

Dessa forma, deu início à uma das primeiras formas de utilização das matrizes energéticas mundiais como uma matriz elétrica eficiente. Além da água, o planeta possui outras diversas fontes de energia que compõe a matriz energética. Essas se apresentam, em sua maior parte, como fontes não renováveis, sendo basicamente compostas pelo petróleo, 31,9%, carvão, 27,1%, gás-natural, 22,1%, e nuclear, 4,9% (IEA, 2018). Pode-se citar também as matrizes renováveis, as quais representam 14% do todo, sendo constituídas pela hidráulica, biomassa, solar, eólica e geotérmica (EPE, 2018a).

É notório que nem toda a matriz energética se dispõe como matriz elétrica, que são as fontes capazes de gerar eletricidade. Em relação a matriz elétrica, mundialmente, têm-se o carvão, gás-natural e hidráulica como principais elementos, representando respectivamente 38,3%, 23,1% e 16,6% (IEA, 2018).

Percebe-se que, em geral, fontes não renováveis suprem a maior parte da demanda mundial tanto em energia e eletricidade. Toma-se uma atenção especial a essas pois, se tratando de um recurso finito, não é viável manter a base elétrica mundial tão dependente dessas. Assim, o estudo de fontes renováveis se torna importante para que seja possível sustentar a geração e distribuição pelo globo de forma sustentável e menos poluente, garantindo que os recursos finitos se mantenham ao longo de muitos anos.

Já no cenário brasileiro, as fontes energéticas estão dispostas com uma parcela renovável maior que a mundial, cerca de 42,9% (EPE, 2018a). Além disso, quando observado a matriz elétrica, cerca de 82% é renovável, incluindo 65,2% de hidráulica, 8,2% de biomassa e 6,9% de solar e eólica. Assim, vê-se que o desenvolvimento de tecnologias para aproveitamento desses recursos é de grande interesse a ser aplicado no país.

De acordo com a International Energy Agency (IEA, 2018), a produção global de energia elétrica vem crescendo ano a ano desde 1974, com exceção dos anos de 2008 e 2009, tendo em 2016 um acréscimo de 2,9% em relação ao ano anterior. Além do mais, comparando o cenário brasileiro de 1973 a 2015, segundo o Ministério de Minas e Energia (MME, 2017), houve um salto de 64,7 TWh para 581,7 TWh na matriz, com queda de 23,1% nas fontes hidráulicas e crescimento de 10,5% em outras fontes renováveis que incluem a eólica e solar, esta última representando 59 GWh em 2016.

Logo, vê-se não somente o potencial brasileiro em fontes renováveis, como também o crescente interesse e investimento nas mesmas. Tratando-se de energia solar, conforme Pereira *et al.* (2006), encontra-se no norte do estado da Bahia o valor máximo de irradiação global, 6,5 kWh/m², além do que, em qualquer parte do território nacional a irradiação solar é superior à de países europeus fortes em relação à pesquisa e investimentos nesta área, como a Alemanha, França e Espanha.

Não somente a capacidade energética do Brasil, mas também as recentes regulamentações de micro e minigerações distribuídas pela ANEEL (2012) despertaram o interesse das unidades consumidores em implementarem os sistemas fotovoltaicos. Da mesma forma as pesquisas e desenvolvimentos na área se intensificam, visto que há problemas na geração fotovoltaica. Pode-se destacar, nestes, a diferença de horário de pico de geração e pico de demanda, o armazenamento de energia em baterias e o fluxo de potência reverso na rede de distribuição e equipamentos de proteção.

Para além destes, a instalação de painéis, sejam eles residenciais, comerciais ou industriais, requerem um estudo do ambiente no qual serão instalados. Há várias grandezas que influenciam na eficácia de um sistema fotovoltaico, sendo fundamental a realização de uma análise das mesmas antes da concretização de qualquer projeto.

De acordo com Cantor (2017), além da irradiação deve-se levar em conta a temperatura ambiente, umidade e vento, fatores esses que influenciam os sistemas fotovoltaicos. O efeito fotovoltaico ocorre com a excitação solar das células compostas de semicondutores nos módulos. Assim sendo, quanto maior a irradiância, maior a corrente produzida pelo módulo.

Com a exposição do módulo ao sol e a temperatura ambiente, ocorre variação na tensão de saída, descrita por um coeficiente β . Quanto maior a temperatura que se encontram os painéis, menor a tensão e maior a dificuldade de transporte de íons pelos semicondutores, tendo como resultado uma potência máxima menor do que o esperado (CANTOR, 2017). Já a umidade ambiente é responsável pela refração, dispersão, difração e reflexão da luz solar,

reduzindo a irradiância e consequentemente a corrente (CANTOR, 2017). O vento é um agente benéfico à operação dos painéis, já que promove a troca de calor entre o ar e o módulo. Reduz-se cerca de 1,45°C para cada m/s de velocidade do vento (CANTOR, 2017).

Nota-se que além da preservação do sistema fotovoltaico, a sua eficiência é aumentada com a instalação deste em um ambiente adequado, demonstrando-se assim a importância de um estudo dos fatores naturais presentes na região.

O equipamento geralmente utilizado para esse fim é a estação solarimétrica, e conforme é descrito pela EPE (2018b), deve ser composto de dois piranômetros, um termohigrômetro e um anemômetro, mensurando a irradiância, temperatura, umidade e velocidade dos ventos, respectivamente, além de um *datalogger* para armazenar as medições. O custo do mesmo varia entre R\$ 2.000,00 e R\$ 25.000,00 em média, contando até com modelos mais caros.

É nesse cenário que se propõe o desenvolvimento de uma estação solarimétrica de baixo custo, utilizando microprocessadores Arduino UNO e ESP32 como *datalogger* conectados à *web*, fazendo a aquisição e armazenamento de dados num servidor, acessado a partir de um portal *online* livre. Para as devidas medições, utiliza-se um módulo de sensor LDR e um sensor DHT11, mensurando a irradiância solar, temperatura e umidade do ambiente local ao qual será instalado o equipamento.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como principal objetivo o projeto de uma estação solarimétrica de baixo custo, sendo um equipamento composto por microprocessadores, Arduino UNO e ESP32, e módulos sensores capazes de ler a irradiação solar, temperatura e umidade, assim possibilitando realizar um estudo dessas variáveis.

1.2.2 Objetivos específicos

- Estudo de painel fotovoltaico.
- Estudo do microcontrolador Arduino UNO.
- Estudo do microcontrolador ESP32.
- Estudo do módulo sensor LDR.
- Estudo do módulo sensor DHT11.
- Estudo de linguagem HTML e hospedagem *web*.
- Desenvolvimento do projeto incluindo *software* e *hardware*.
- Aplicação do projeto e análise dos resultados.
- Sugestão aprimoramento do projeto a partir do desenvolvimento deste trabalho.

1.3 Estrutura do trabalho

O presente trabalho está organizado conforme descrito abaixo.

O capítulo 1 faz uma introdução do tema abordado, da problemática do trabalho, apresentando os objetivos do mesmo e a estrutura na qual será desenvolvido esse texto.

O capítulo 2 apresenta o conceito e fundamentos do funcionamento dos painéis fotovoltaicos, especificando suas características elétricas e também detalhando a influência de cada uma das variáveis a serem instrumentadas no projeto da estação.

No capítulo 3 demonstra-se o funcionamento geral de cada um dos componentes eletrônicos dispostos para compor o equipamento de medição a ser projetado, mostrando também como se dá a comunicação entre os mesmos e o servidor *online* para armazenamento e visualização das variáveis. Também se desenvolve o projeto da estação solarimétrica, especificando todas as ligações de *hardware* dimensionadas num ambiente virtual e sua montagem prática, além de entrar em detalhes no código, escrito em C++, embutido no microprocessador. Há, também, o detalhamento da construção do espaço virtual online de armazenagem e acesso aos dados obtidos, além da demonstração de como é feita a aquisição de cada uma das variáveis e como são depositadas no banco de dados.

Para o capítulo 4, retrata-se a aplicação e teste do projeto, trazendo as medições e os resultados e discutindo seu significado.

O capítulo 5 conclui o trabalho, sintetizando os resultados de cada capítulo, além de sugerir como se pode dar continuidade para o mesmo em futuros projetos a serem desenvolvidos.

Capítulo II

ESTUDO DO PAINEL FOTOVOLTAICO

Atualmente, a tecnologia que compõe as células fotovoltaicas encontradas no mercado é feita a base de silício. Estas podem ser divididas em três tipos principais: monocristalino, policristalino e amorfo. Basicamente, cada uma possui uma estrutura de célula que juntas formarão um módulo completo.

Todas essas se utilizam do princípio da excitação de elétrons pela luz solar atingindo a camada de valência e proporcionando a condução de corrente elétrica contínua. A corrente gerada passa, geralmente, por um inversor CC/CA, transformando-a em corrente alternada e conectando a geração ao consumo, seja ele isolado ou conectado à rede (MACHADO; MIRANDA, 2015). Há também situações em que é utilizado um inversor CC/CC devido as necessidades da carga a ser alimentada.

Em seguida será apresentado a estrutura e funcionamento detalhado de cada tipo de célula citada anteriormente, além de estudar, também, quais os fatores climáticos influenciam no desempenho dos sistemas fotovoltaicos, dentre eles a temperatura, umidade e irradiância solar.

2.1 Aspectos construtivos dos painéis fotovoltaicos

2.1.1 Silício monocristalino

Basicamente, todas as células fotovoltaicas são semicondutores, tipicamente feitas de silício, o qual recebe dopagens que cria um material majoritariamente portador de elétrons livres, tipo N, e outro portador de lacunas, tipo P. Realizando a junção desses, há a formação de uma barreira de potencial e região de depleção – ocorrido pela redistribuição dos portadores de cada material no momento de formação da junção para estabelecer um equilíbrio – que são vencidas após os elétrons serem excitados pela luz solar (LSI – USP).

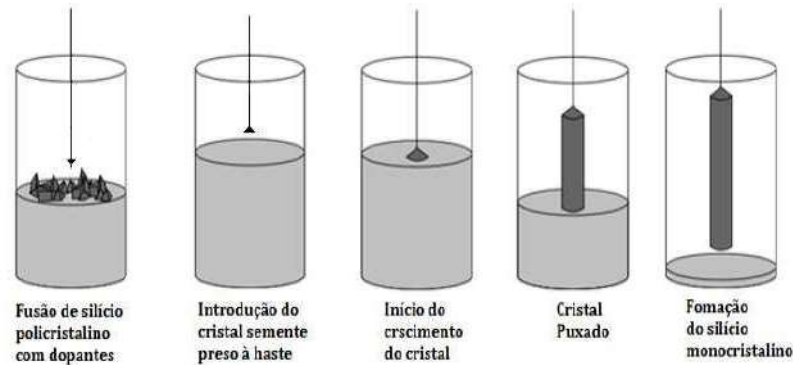
As células de silício monocristalino são formadas por apenas um único cristal de silício e para a fabricação do mesmo, é necessário que o material atinja um nível de pureza muito elevado, em torno de 98% a 99%, o que encarece sua produção. O processo de purificação é conhecido como “processo Czochralski”, no qual se mistura o cristal de silício, resultante do processo de fusão, com átomos de Boro, formando assim uma dopagem tipo P. O resultado é um cilindro de silício dopado, que logo após ser removido é moldado e cortado em finas laminas de aproximadamente 300 micrometros (MACHADO; MIRANDA, 2015), (REIS, 2017).

Para a dopagem do tipo N, leva-se as lâminas a um processo de difusão utilizando átomos de fósforo a altas temperaturas, cerca de 800°C a 1000°C. Dessa maneira, cria-se a

junção P-N, sendo P a parte portadora das lacunas, e N, portadora dos elétrons livres (REIS, 2017).

A Figura 2.1 mostra o processo de dopagem do silício, introduzindo o silício policristalino nos dopantes e formando ao final o lingote de silício monocristalino.

Figura 2.1 – Dopagem do silício.

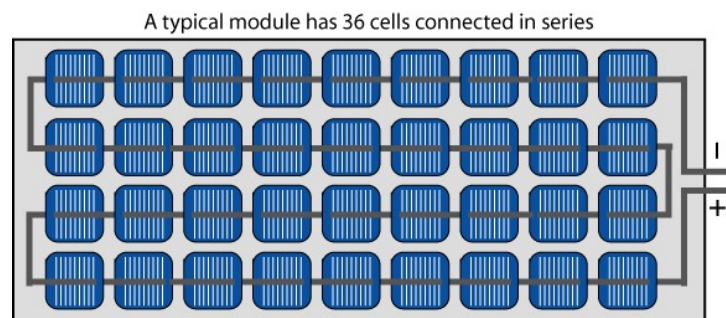


Fonte: UFSC, 2018.¹

Essas células, assim como as policristalinas, são todas conectadas em série para gerar a estrutura do painel fotovoltaico, sendo posicionadas entre folhas de acetato vinil etileno (EVA), uma cobertura frontal de vidro temperado e um filme de fluoreto de polivinila (PVF) na parte de trás (MACHADO; MIRANDA, 2015).

A Figura 2.2 apresenta as conexões em série das células de silício monocristalino de um painel fotovoltaico, FV.

Figura 2.2 – Conexão em série das células do módulo FV.



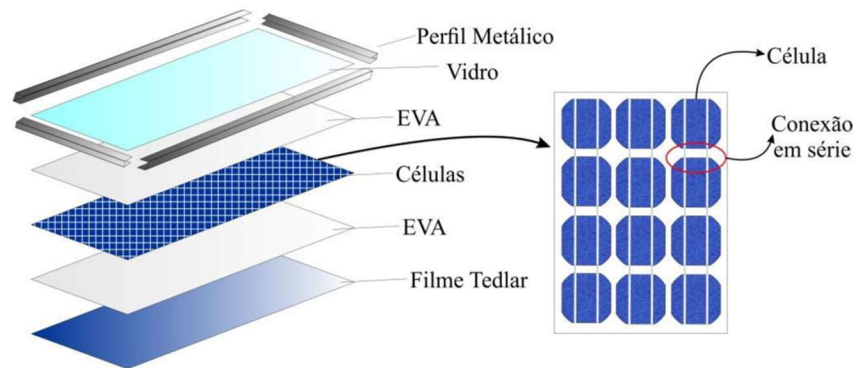
Fonte: PVeducation.²

Já a Figura 2.3 demonstra a forma construtiva do painel, evidenciando cada camada que compõe o módulo e também as conexões em série das células.

¹ Disponível em: <https://docplayer.com.br/88571869-Universidade-federal-de-santa-catarina-marcelo-cristiano-ludke.html>; Acesso em: 13 ago. 2020.

² Disponível em: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/modules-and-arrays/module-circuit-design>; Acesso em: 13 ago. 2020.

Figura 2.3 – Forma construtiva do painel silício cristalino.



Fonte: Machado, C. T., 2014.

2.1.2 Silício policristalino

As células policristalinas passam por um processo semelhante de fabricação das monocristalinas, porém não é necessário a alta purificação do material pelo processo Czochralski, sendo assim mais barato, porém não tão eficiente (REIS, 2017).

Na Figura 2.4 pode-se observar um típico painel policristalino.

Figura 2.4 – Painel policristalino.



Fonte: Magazine Luiza.³

Como sua produção é feita em blocos de silício, durante os processos de dopagem são formados múltiplos cristais de silício após seu resfriamento, justificando sua nomenclatura. Ainda há a dopagem do material tipo P e tipo N, porém a maneira de fatiar e agrupar as

³ Disponível em: <https://www.magazineluiza.com.br/painel-fotovoltaico-ou-placa-solar-320w-policristalino-elgin/p/jhad4k6kh9/cj/pacr/>; Acesso em: 13 ago. 2020.

células tornam a confecção mais simples e ligeiramente menos eficiente (PORTAL SOLAR, 2017).

A Figura 2.5 exibe os blocos de silício utilizados na produção das células do módulo policristalino.

Figura 2.5 – Blocos de silício.



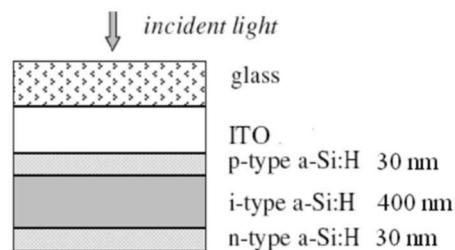
Fonte: Você Solar.⁴

2.1.3 Silício amorfo

As células de silício amorfo são construídas com filmes do silício, tendo sua ligação feita do tipo “P-I-N”. Como não há a formação de uma estrutura cristalina organizada, semelhante à vista anteriormente, devido a característica amorfa da matéria prima, faz-se necessário utilizar dopagens diferentes para a utilização desse silício. Basicamente a junção P é hydrogenada numa atmosfera de silano (SiH_4) para preencher a excessiva quantidade de lacunas presentes no material, facilitando a fluidez dos elétrons pelo circuito. A junção tipo N é feita utilizando a atmosfera de silano com 1% de B_2H_6 (MACHADO; MIRANDA, 2015).

Na Figura 2.6 é exemplificado a forma construtiva das células de silício amorfo e também camadas da junção P-I-N.

Figura 2.6 – Forma construtiva da célula de silício amorfo.



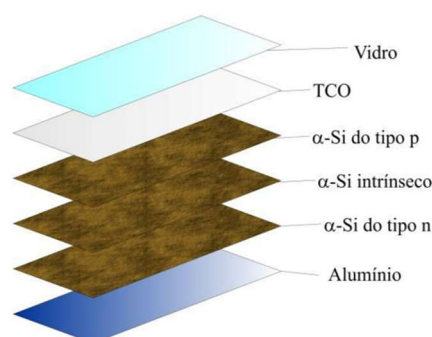
Fonte: Research Gate.⁵

⁴ Disponível em: <http://vocesolar.com.br/celula-fotovoltaica-da-luz-solar-a-energia-eletrica/>; Acesso em: 13 ago. 2020.

Dessa forma, são fabricadas folhas inteiriças de cada tipo, realizando a sobreposição das mesmas com uma camada intrínseca, ou seja, pura, entre as mesmas. Essa camada proporciona o campo elétrico para a condução dos elétrons através do princípio da tração elétrica. O encapsulamento do circuito é feito utilizando uma lamina de TCO, óxido condutor transparente, em cima da junção tipo P, e uma lamina de alumínio abaixo da junção tipo N, todos protegidos por uma única camada de vidro no topo do módulo (MACHADO; MIRANDA, 2015).

É exposto na Figura 2.7 a forma construtiva de um módulo FV de silício amorfo, nomeando as camadas que o compõe.

Figura 2.7 – Forma construtiva do painel de silício amorfo.



Fonte: Machado, C. T., 2014.

O seu processo de fabricação simples e de custo reduzido, além da possibilidade de construção de células inteiriças em grandes áreas, tornam esse tipo de painel atrativo, apesar de que sua eficiência além de ser inicialmente menor que as células mono e policristalinas, decai com o tempo de utilização (REIS, 2017).

2.2 Comportamento devido as condições ambientais

2.2.1 Efeito da temperatura

A temperatura é um dos fatores mais importantes quanto ao desempenho de um painel fotovoltaico, tendo impacto direto no funcionamento do módulo. A variação de temperatura faz com que a tensão de saída também varie. Apesar de haver também variação na corrente e potência por conta desse fator, essa mudança é mínima ao ser comparada com o que ocorre na tensão (CANTOR, 2017).

De acordo com a Figura 2.8, quanto menor a temperatura de operação do módulo, menor é a queda de tensão na saída, logo, menor perda de potência. Além disso, pode-se

⁵ Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Cross-section-of-the-p-i-n-amorphous-silicon-cell_fig1_290324949; Acesso em: 13 ago. 2020.

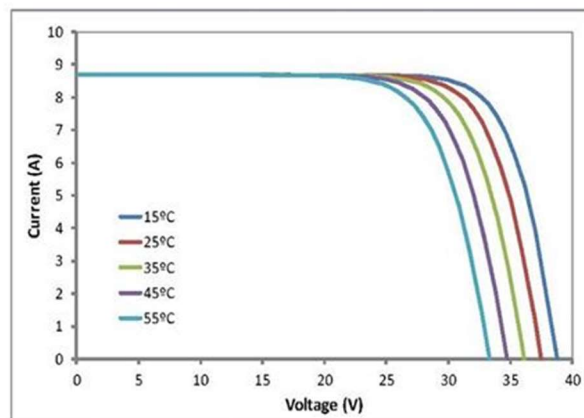
estimar a temperatura do painel através da equação (2.1), relacionando tanto a temperatura do local, com a irradiância incidente e o coeficiente térmico do módulo.

$$\text{Equação} \quad T_o = T_a + G * K_t \quad (2.1)$$

Onde, T_o (°C) é a temperatura de operação do módulo, T_a (°C) é a temperatura ambiente, G (W/m²) é a irradiância incidente no módulo e K_t (°C m²/W) é o coeficiente térmico do módulo (CANTOR, 2017).

A Figura 2.8 mostra a relação entre a temperatura do módulo e sua tensão de saída, exemplificando curvas de tensão de corrente para cada uma das cinco situações de temperatura.

Figura 2.8 – Relação temperatura vs. tensão de saída.



Fonte: Solar Brasil (adaptado).⁶

2.2.2 Efeito da umidade

Outro fator que está relacionado com o rendimento dos painéis FV é a umidade relativa do ar, ou seja, a quantidade de partículas de água dispersas na atmosfera. Fisicamente, quando a luz atravessa a gotícula de água, podem ocorrer fenômenos de refração, reflexão ou difração, que implicam no ângulo de incidência e dispersão da luz para outras direções (CANTOR, 2017). Assim, a luz não é capaz de atingir, em sua totalidade, a superfície do módulo, se perdendo para o efeito causado pela umidade.

A refração da luz solar ocorre quando a luz muda do meio ar para o meio líquido das gotas de água. Assim, há uma mudança na direção de propagação na qual a onda percorria anteriormente. Dessa forma, ocorre uma mudança na velocidade, porém mantendo a frequência original. Com esse efeito, grande parte da luz pode desviar-se dos painéis ou não os atingir num ângulo ideal.

⁶ Disponível em: <https://www.solarbrasil.com.br/blog/modulos-fotovoltaicos-caracteristicas-eletricas/>;. Acesso: 13 ago. 2020.

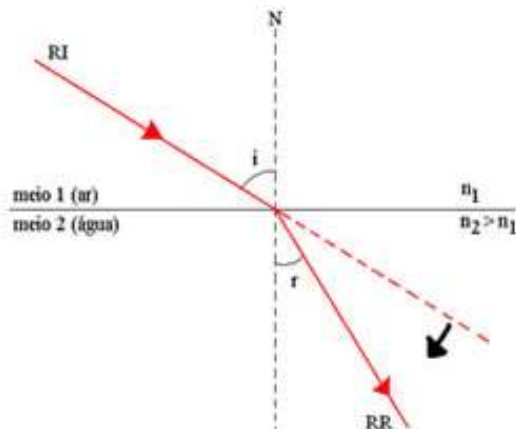
A refração pode ser descrita conforme a equação (2.2), Lei de Snell.

$$\text{Equação} \quad N_1 * \text{sen}(\theta_i) = N_2 * \text{sen}(\theta_r) \quad (2.2)$$

Onde, N_1 é o índice de refração do meio 1, N_2 é o índice de refração do meio 2, θ_i é o ângulo de incidência e θ_r é o ângulo de refração (HALLIDAY *et al.*, 2016).

É descrito na Figura 2.9 o fenômeno da refração, mostrando o desvio angular causado na luz ao passar do meio ar para o meio água. R_i é o raio incidente, R_r é o raio refratado, i é o ângulo de incidência, r é o ângulo de refração.

Figura 2.9 – Refração.

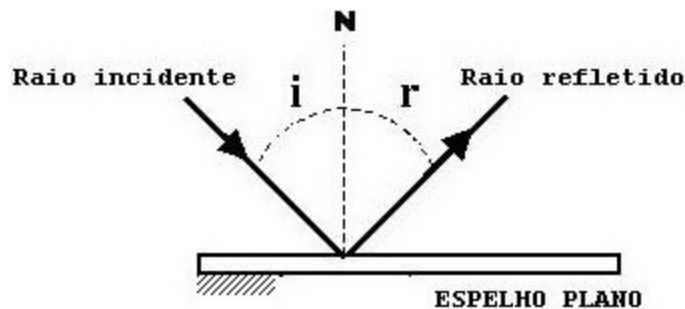


Fonte: Brasil Escola (adaptado).⁷

Já a reflexão é o impedimento da passagem da onda através de uma superfície, sendo a luz refletida com um ângulo de reflexão igual ao ângulo de incidência, conforme a Figura 2.10 (HALLIDAY *et al.*, 2016). Logo, têm-se que parte da radiação solar não atingirá as células, já que será refletida.

É exemplificado na Figura 2.10 a reflexão total de um raio incidente de luz, refletido com o mesmo ângulo de sua incidência, na qual i é o ângulo de incidência da luz, r é o ângulo de reflexão e N indica a reta normal perpendicular ao espelho plano.

Figura 2.10 – Reflexão.



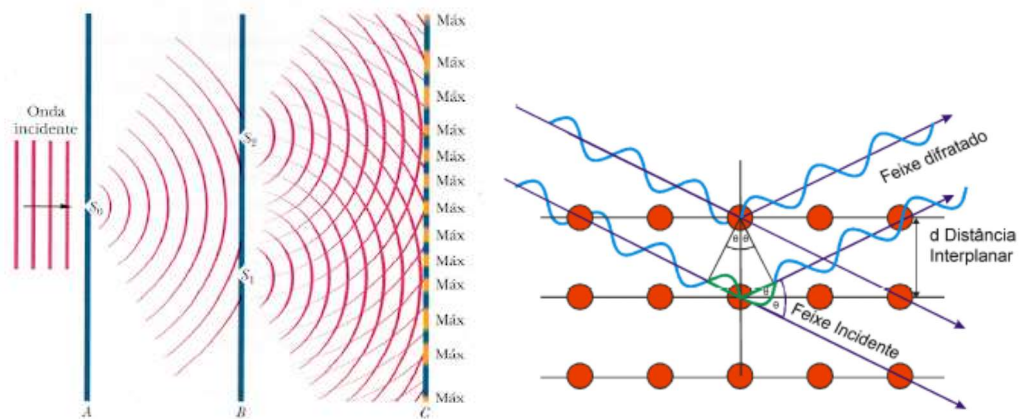
Fonte: Estudo da Física (adaptado).⁸

⁷ Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/lei-snell-descartes.htm>; Acesso em: 13 ago. 2020.

O fenômeno da difração pode ser descrito como um alargamento sofrido pelo feixe luminoso ao atravessar uma fenda estreita. Contudo esse também ocorre ao se encontrar com obstáculos, espalhando a luz pelas bordas do mesmo (HALLIDAY *et al.*, 2016). A difração fará com que a luz contorne as gotas de tamanho igual ao comprimento de onda na mesma, resultando assim em maior dispersão e espalhamento da luz ao ambiente, consequentemente reduzindo a incidência direta da mesma no painel. Sendo assim, quanto maior a quantidade de gotas d'água, maior a difração da luz.

A Figura 2.11 expõe o fenômeno da difração com a propagação da onda incidente sendo dispersa pelo ambiente após a passagem por um orifício pequeno ou ao contornar uma molécula.

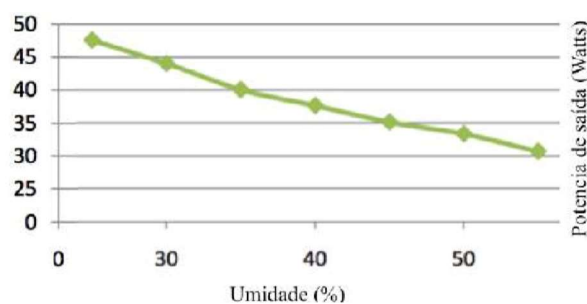
Figura 2.11 – Difração.



Fonte: A Física Moderna no Ensino Médio.⁹ Research Gate.¹⁰

Todo o efeito da umidade altera a irradiância solar de forma não linear, porém fazendo-a decrescer com o aumento percentual desse fator, conforme pode ser visto na Figura 2.12 (CANTOR, 2017).

Figura 2.12 – Relação entre irradiância e umidade.



Fonte: CANTOR, 2017.

⁸ Disponível em: <http://www.fisicafacil.pro.br/reflexao.html>; Acesso em: 13 ago. 2020.

⁹ Disponível em: <http://encurtador.com.br/vyBQR>; Acesso em: 13 ago. 2020.

¹⁰ Disponível em: <http://encurtador.com.br/fkwX2>; Acesso em: 13 ago. 2020.

Dessa forma com uma menor excitação dos painéis FV, há uma redução também da corrente gerada, ou seja, toda a potência de saída fica comprometida, reduzindo o desempenho do mesmo.

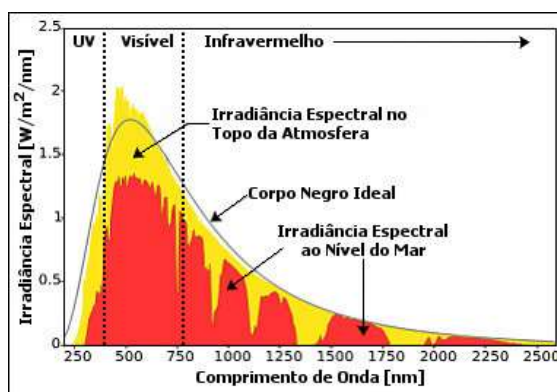
2.2.3 Efeito da irradiância solar

De fato, um dos fatores primordiais para o funcionamento do painel é ter uma alta radiação solar incidente nas células. Quanto maior for a quantidade de energia que chega à superfície do módulo, e maior a duração dessa radiação, maior será a produção energética (CANTOR, 2017).

A energia solar, transmitida em forma de radiação eletromagnética, chega a superfície em um espectro amplo de comprimento de onda, como observado na Figura 2.13. Em um comprimento menor, principalmente na região visível, maior é a energia transmitida (CANTOR, 2017).

É apresentado na Figura 2.13 todo o espectro da luz solar, classificando-o em ultravioleta, UV, visível e infravermelho conforme varia o comprimento de onda.

Figura 2.13 – Espectro da luz solar.



Fonte: Recurso Solar.¹¹

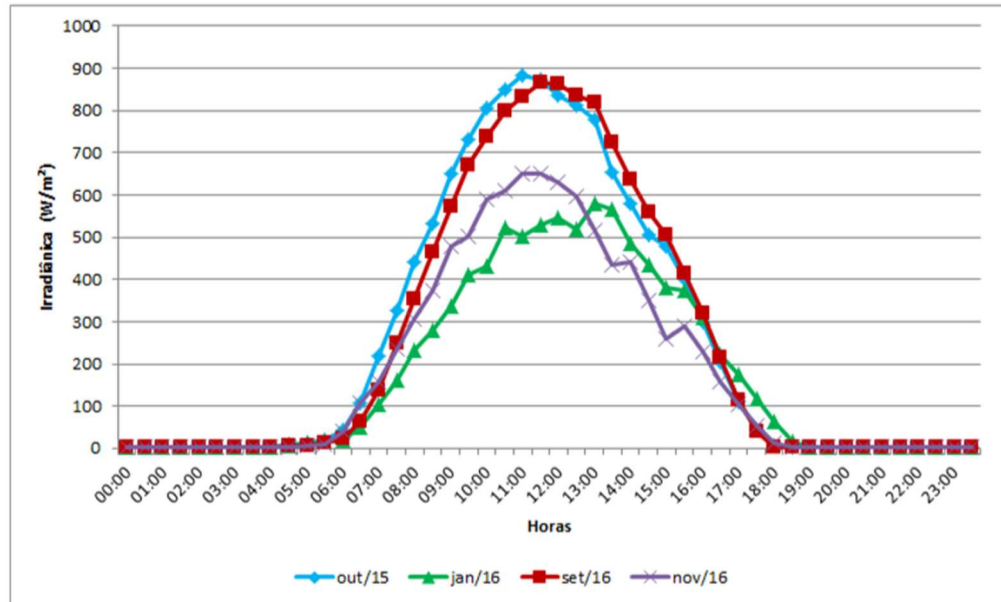
Percebe-se que a maior parte da luz está concentrada no espectro não visível ao olho nu, porém a parte visível está presente numa região de maior energia devido ao comprimento de onda, assim sendo, essa faixa também é interessante para utilização no efeito fotovoltaico (CANTOR, 2017).

A radiação solar pode chegar a superfície de forma direta ou difusa, sendo que ambas compõem a radiação global, geralmente mensuradas pelo equipamento piranômetro, o qual será melhor tratado no item 3.1.1. Na Figura 2.14 têm-se a quantidade de W/m^2 presentes no

¹¹ Disponível em: http://recursosolar.geodesign.com.br/Pages/Sol_Rad_Basic_RS.html; Acesso em: 13 ago. 2020.

ambiente da Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação (EMC - UFG), em Goiânia, em um período de 24 horas, em dias que vão de outubro de 2015 até novembro de 2016.

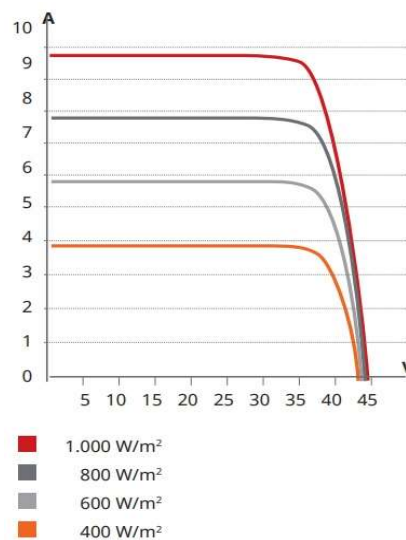
Figura 2.14 – Irradiância, em W/m^2 , durante 24 horas em diversos meses.



Fonte: SILVA, J. A. A. *et al.* 2018.

É possível ver que a maior irradiância provoca também uma maior excitação dos elétrons, aumentando a corrente e tensão de saída, consequentemente, maior potência resultante do sistema, como visto na Figura 2.15.

Figura 2.15 - Tensão e corrente conforme variação na irradiância.



Fonte: Você Solar.¹²

¹² Disponível em: <https://vocesolar.com.br/painel-solar-fotovoltaico>; Acesso em: 13 ago. 2020.

Capítulo III

PROJETO DA ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA

3.1 Aspectos construtivos da estação solarimétrica

Para que seja possível observar todos os fatores citados anteriormente, existe um equipamento chamado estação solarimétrica composto de diversos sensores que monitoram o ambiente, dando detalhes sobre a qualidade do mesmo para a instalação de uma usina FV. Esse equipamento moderno de alto custo é construído, de acordo com a EPE (2018b), com dois piranômetros, um anemômetro, um termo-higrômetro e um *datalogger*.

3.1.1 Piranômetro

O piranômetro é um instrumento de medição que engloba toda a irradiância global, ou seja, a direta e difusa. Construtivamente composto por um termopar entre um elemento sensível a luz e outro protegido por uma camada branca, servindo como referência (FREIRE, 2008).

Na Figura 3.1 é apresentado a foto do equipamento piranômetro, o qual no topo possui uma abertura de vidro que recepta a luz para os sensores termopares internos.

Figura 3.1 – Piranômetro.



Fonte: dualBASE.¹³

O sensor é suscetível a radiação solar compreendida entre comprimento de onda de 300nm a 3000nm, englobando praticamente todo o espectro solar incidente na terra, estimado entre 200nm e 3200nm (FREIRE, 2008). A excitação do corpo sensível causa uma diferença de tensão no termopar, que é parametrizada proporcionalmente à quantidade de energia em W/m^2 incidentes no ambiente.

3.1.2 Anemômetro

Para aferir a velocidade e direção do vento são utilizados os anemômetros. Essa ferramenta possui suas variantes, algumas obtêm apenas a velocidade e outras indicam também a direção. Sua forma mais comum é o anemômetro de copo ou conchas, e os de

¹³ Disponível em: <https://www.dualbase.com.br/produtos/RsensDB>; Acesso em: 13 ago. 2020.

hélice. Basicamente a medição consiste na passagem do vento pelas conchas ou hélices causando um movimento de rotação proporcional a velocidade do mesmo, movimento esse que é transmitido para um registrador, seja ele elétrico, mecânico ou eletrônico (IPEM-SP, 2011).

É apresentado na Figura 3.2 um anemômetro com corpo construído de conchas, as quais captam o ar e realizam a rotação do eixo acoplado ao sensor interno que registra a velocidade.

Figura 3.2 – Anemômetro.



Fonte: Firstrate.¹⁴

Ainda é possível encontrar modelos mais complexos como o anemômetro de tubo de pressão, utilizando a diferença de pressão proporcional a velocidade, e também o ultrassônico, que mede a velocidade do ar baseado na velocidade do som propagado nesse meio, sendo assim muito preciso, já que não dispõe de peças móveis (RIBEIRO *et al.*, 2006).

3.1.3 Termo-higrômetro

O termo-higrômetro permite obter os valores de temperatura e umidade local, utilizando a integração de um sensor de temperatura para medir a mesma e dois termômetros para encontrar a umidade relativa do ar, UR. Um desses termômetros possui o bulbo seco, e o outro, bulbo úmido, sendo a diferença de temperatura entre os mesmos relacionada à UR. Esse método é menos preciso e inviável, sendo atualmente utilizado a análise do comportamento de componentes eletrônicos para a medição, como por exemplo, observar a variação de resistência elétrica de um material poroso que é preenchido com gotículas de água provenientes do ar (NEVES *et al.*, 2015).

Na Figura 3.3 é visto um termo-higrômetro digital, registrando na parte superior da tela a temperatura em °C e na parte inferior, a umidade relativa

¹⁴ Disponível em: [https://encurtador.com.br/lqxBM](https://encurtador.com.br/lqxBM;); Acesso em: 13 ago. 2020.

Figura 3.3 – Termo-higrômetro.



Fonte: Hospinet.¹⁵

3.1.4 Datalogger

O gerenciamento das medições, além do tratamento e armazenamento dos dados, é feito pelo *datalogger*. Pode-se definir como um processador de dados, estabelecendo a transmissão das informações entre os pontos de coleta e o banco de dados, entregando ao usuário os resultados obtidos, com possibilidade de gerar gráficos, tabelas e imagens de acordo com as grandezas aferidas.

Assim, a estação solarimétrica pode ser construída fisicamente conforme demonstrado na Figura 3.4, utilizando os sensores e instrumentos apresentados anteriormente.

Figura 3.4 – Estação solarimétrica.



Fonte: IEM.¹⁶

¹⁵ Disponível em: <https://encurtador.com.br/jklCX>; Acesso em: 13 ago. 2020.

¹⁶ Disponível em: <https://www.iem.com.br/produtos-eolico.php?cat=17>; Acesso em: 13 ago. 2020.

3.2 Estudo de hardware e software

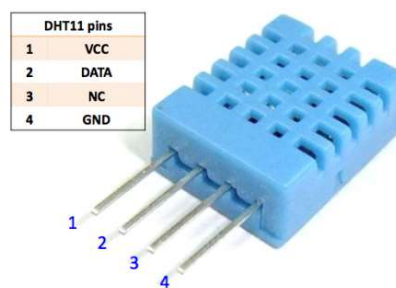
Como foi mostrado anteriormente, o seguinte trabalho tem como objetivo a medição de temperatura, umidade e irradiância solar. Para tal são utilizados os sensores, processadores e lógicas apresentadas em seguida.

3.2.1 DHT11

O sensor DHT11 é capaz de realizar a leitura de temperatura e umidade no mesmo componente, além de ser compacto e de fácil implementação, tornando-se uma boa opção para o projeto. Sua leitura de temperatura inclui uma faixa de 0°C a 50°C, e para a UR é capaz de ler de 20% a 90%. Sua precisão na temperatura é de $\pm 2^\circ\text{C}$ e para umidade é $\pm 5,0\%$ UR (AOSONG).

O equipamento DHT11 e seus respectivos pinos são mostrados na Figura 3.5.

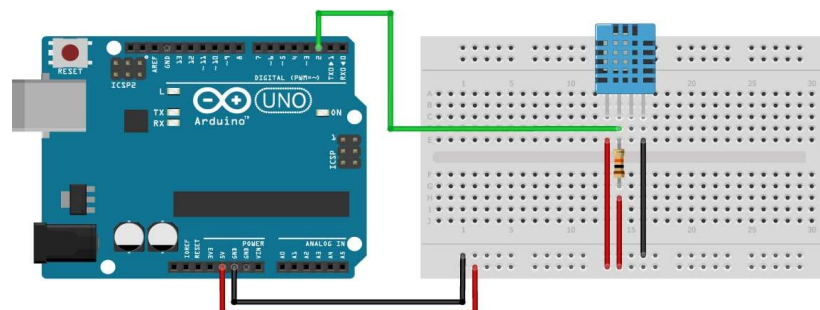
Figura 3.5 – DHT11.



Fonte: Vida de Silício.¹⁷

A comunicação se dá pelo protocolo “*One-Wire*”, ou seja, necessita de apenas um fio para estabelecê-la, sendo cada pacote composto por 40bits, incluindo partes decimais e inteiras (AOSONG). Na Figura 3.6 é possível ver a conexão correta do sensor a uma plataforma Arduino UNO.

Figura 3.6 – Conexão DHT11.



Fonte: Markerguides.com.¹⁸

¹⁷ Disponível em: <https://www.vidadesilicio.com.br/dht11-sensor-umidade-e-temperatura>; Acesso em: 13 ago. 2020.

A sua conexão na plataforma Arduino UNO é tipicamente feita com a alimentação positiva no VCC e negativa no GND, e o pino de dados conectado a uma entrada digital e a um resistor de 4,7k Ω , também conectado ao VCC, como visto na Figura 3.6.

3.2.2 Módulo LDR

A medição da irradiação solar é feita comumente com o piranômetro, porém para simplificar o processo e custos, será utilizado um módulo LDR, o qual pode-se associar sua leitura ao comportamento do piranômetro. O piranômetro tem um custo aproximado de R\$ 1.500,00, enquanto o sensor a ser utilizado custou R\$ 9,12. A resistência do LDR decresce com o aumento da intensidade da luz.

Conforme VIEIRA, R. G. *et al.* (2015), o módulo LDR de 5mm apresenta a melhor correlação da tensão de saída com a irradiância do piranômetro, e utilizando um fator de correção devido a faixa do espectro compreendido pelo LDR ser menor que o do piranômetro, de 400nm a 700nm (SANTIAGO, 2014), chega-se a equação (3.1) abaixo que relaciona exponencialmente a tensão de saída do sensor com a potência em W/m².

$$\text{Equação} \quad I = 4464,9 * e^{-17,73 * V_{\text{saída}}} \quad (3.1)$$

Onde, I é a irradiância (W/m²) e V_{saída} é a tensão de saída (V) do módulo LDR (VIEIRA, R. G. *et al.*, 2015).

A equação foi baseada na relação entre as medidas de um piranômetro e a resposta em tensão do LDR para a mesma condição, criando assim uma equação de regressão a partir de uma linha de tendência entre essas duas variáveis.

O sensor é composto do LDR, sensível a luz, que altera sua resistência conforme a incidência, e também de um comparador LM393. Seu potenciômetro, para a composição da equação (3.1), foi ajustado para 10k Ω (VIEIRA, R. G. *et al.*, 2015). É alimentado pelo VCC e GND e tem duas saídas, digital e analógica. A saída digital entrega a informação de apenas dois estados lógicos, alto e baixo, não sendo aplicável à situação, fazendo-se preciso utilizar a porta analógica que resultará em valores de tensão entre 0V e o máximo de sua alimentação.

É exposto na Figura 3.7 o módulo LDR, com as quatro conexões citadas anteriormente, o reostato, o comparador LM393 e o LDR na ponta.

¹⁸ Disponível em: <https://www.makerguides.com/dht11-dht22-arduino-tutorial/>; Acesso em: 13 ago. 2020.

Figura 3.7 – Módulo LDR.



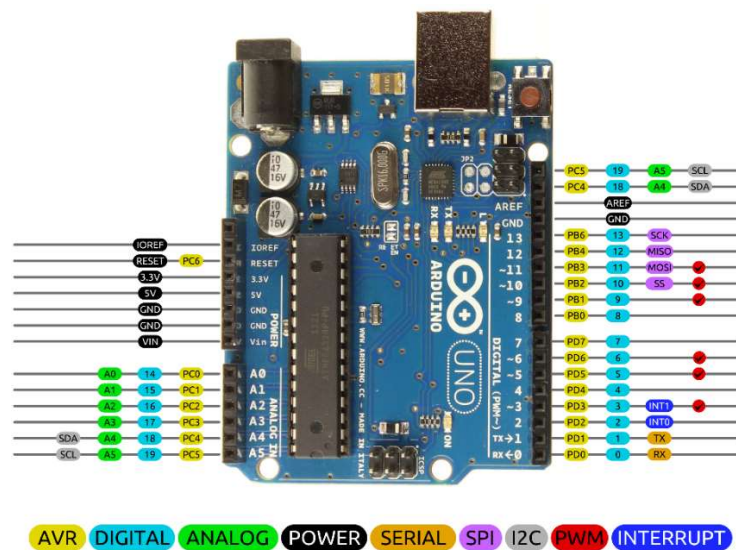
Fonte: FilipeFlop Componentes Eletrônicos.¹⁹

3.2.3 Arduino UNO

A princípio, como os sensores acima trabalham idealmente alimentados a 5V, pensou-se em utilizar a plataforma Arduino UNO para realizar as medições. Todavia, esse controlador não dispõe de uma placa integrada que possa realizar o transporte das informações até um servidor online. Dessa forma, além desse, será necessário utilizar uma placa de conexão à internet (*shield internet*) ou realizar comunicação serial com outro controlador que possa fazer este trabalho.

Explorando mais o UNO disposto na Figura 3.8, vê-se que esse possui 6 portas analógicas e 14 portas digitais, sendo suficiente para comportar todos os sensores e a comunicação com o outro controlador (Arduino, 2015). Esse utiliza-se de uma interface Arduino IDE para realizar a programação em C++, a partir de uma porta USB com diversas velocidades de comunicação serial.

Figura 3.8 - Configuração das portas do Arduino UNO.



Fonte: Squids Arduino (adaptado).²⁰

¹⁹ Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-luz-ldr/>; Acesso em: 13 ago. 2020.

3.2.4 ESP32

O microcontrolador escolhido para trabalhar com a comunicação até o banco de dados foi o ESP32, um modelo de microcontrolador que possui comunicação com a internet sem fio, *Wi-Fi*, permitindo levar os dados locais a um servidor e armazená-los. O ESP32 trabalha com alimentação de 3,3V, diferente do visto comumente no Arduino UNO, contudo dispõe de diversas portas lógicas digitais e analógicas, sendo compatível com os outros equipamentos apresentados, desde que se utilize a tensão correta.

Logo na Figura 3.9 é mostrado a plataforma do microcontrolador ESP32.

Figura 3.9 – ESP32.

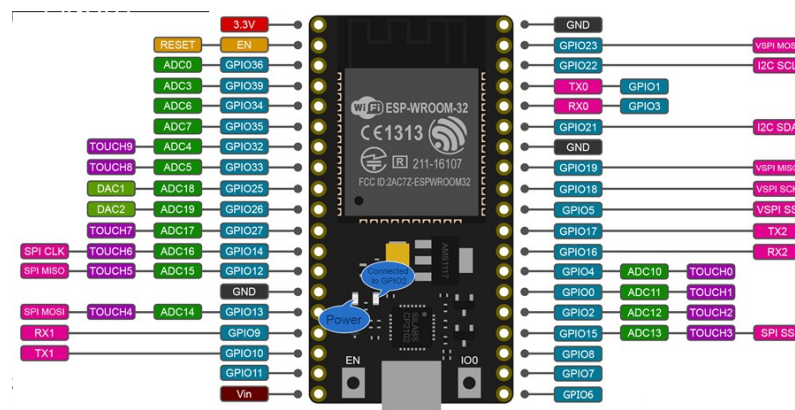


Fonte: FilipeFlop Componentes Eletrônicos.²¹

Por padrão, esse microcontrolador trabalha com pacotes de 12 bits, ou seja, as informações lidas nas portas analógicas variam com uma resolução de 0 a 4095. Utilizando uma lógica proporcional é possível relacionar essas leituras com a tensão na porta. As portas são nomeadas de GPIO, porém várias delas executam mais de uma função. As portas com leitura analógica são divididas em ADC1 e ADC2, sendo preciso se atentar para não fazer o uso das ADC2 durante o uso do microcontrolador com a rede *Wi-Fi*, já que elas ficam ocupadas com processo de comunicação (Espressif Systems, 2016).

A Figura 3.10 apresenta os pinos e suas funções da plataforma ESP32.

Figura 3.10 – Pinos ESP32.



Fonte: Fernando K Tecnologia (Adaptado).²²

²⁰ Disponível em: <http://encurtador.com.br/bszO8>; Acesso em: 13 ago. 2020.

²¹ Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/modulo-wifi-esp32-bluetooth/>; Acesso em: 13 ago. 2020.

As portas a serem utilizadas na comunicação serial com o Arduino são GPIO1 e GPIO3, as quais correspondem aos pinos TX0 e RX0 respectivamente. Também serão utilizados os pinos Vin e GND como alimentação proveniente do UNO, feita em 5V, que é convertida à 3,3V devido ao regulador de tensão presente nessa entrada.

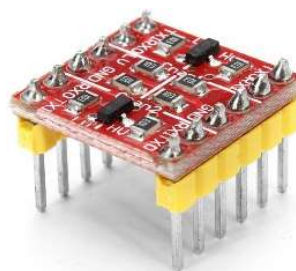
Para a programação do mesmo, é possível utilizar da linguagem C++ na mesma interface IDE a qual se desenvolve códigos para o Arduino, sendo necessário apenas realizar o *download* do *software* da placa para sua biblioteca, além de utilizar a velocidade de comunicação serial em 115200 bps, padrão do controlador. Além do mais, ao transferir um novo programa ao mesmo, é preciso pressionar o botão de *boot* no componente para permitir a escrita do código.

3.2.5 Conversor de nível lógico

Conforme foi descrito anteriormente, os níveis lógicos do UNO e ESP32 são de 5V e 3,3V, respectivamente. Dessa forma, faz-se preciso utilizar de algum artifício para que a comunicação serial entre ambos ocorra sem danificar as placas devido a elevados níveis de tensão que o ESP32 não comporta. Uma das maneiras mais práticas de realizar esse processo é com o uso de um LLC (*logic level converter*) ou, conversor de nível lógico.

O conversor apresentado na Figura 3.11 é bidirecional, ou seja, converte o sinal do nível lógico alto ao baixo e vice-versa (Arduino e Cia, 2015). Assim as portas TX e RX, de transmissão e recepção, dos controladores podem ser conectadas sem ocasionar nenhum dano devido a tensão.

Figura 3.11 - Conversor de nível lógico bidirecional 5V~3,3V.



Fonte: FilipeFlop Componentes Eletrônicos.²³

²² Disponível em: <https://www.fernandok.com/2018/03/esp32-detallhes-internos-e-pinagem.html>;. Acesso em: 13 ago. 2020.

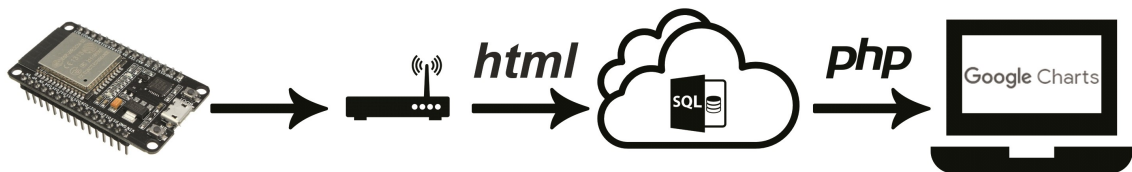
²³ Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/conversor-de-nivel-logico-33-5v-bidirecional/>;. Acesso em: 13 ago. 2020.

3.2.6 HTML, PHP E SQL

Há diversas formas e protocolos de se estabelecer a comunicação do ESP32 com a internet para enviar os dados lidos à rede mundial de computadores, *web*. Porém uma das mais simples e eficazes é a utilização do HTML. Criando um domínio em um servidor provido de banco de dados, é possível fazer com que o ESP32 utilize o método HTML POST para transferir as informações coletadas.

Na Figura 3.12 é exemplificado o caminho a ser percorrido pelos dados coletados nos sensores até os mesmos ficarem disponível para acesso em formato de gráficos. Primeiramente o ESP32, conectado à rede sem fio, em posse das variáveis usa o método HTML POST e as envia ao domínio do servidor. Com as chaves de acesso, os dados são salvos no banco de dados utilizando a linguagem SQL. Uma plataforma pode realizar a busca dos dados no banco utilizando linguagem PHP para exibir os resultados na tela.

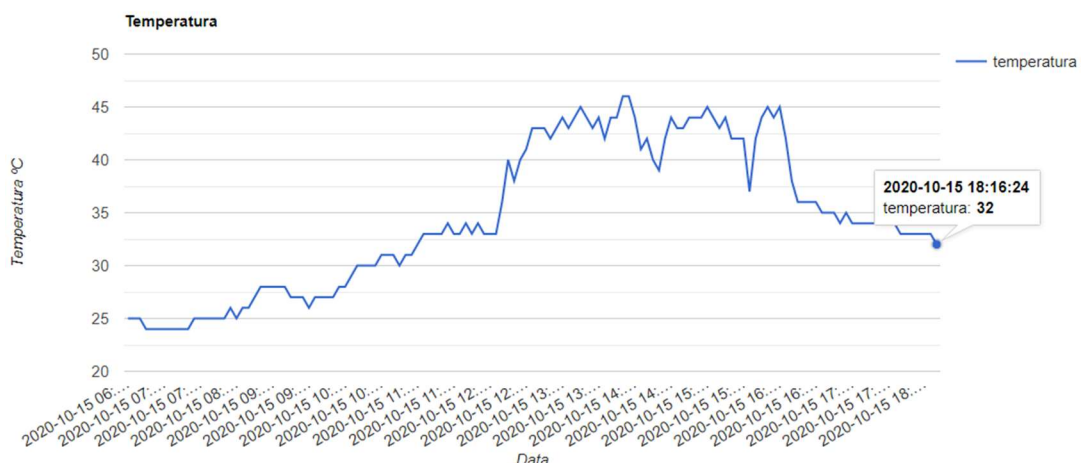
Figura 3.12 – HTML/SQL.



Fonte: Próprio autor.

Indo além, a linguagem HTML em conjunto com o PHP possibilita de forma intuitiva o desenvolvimento do *site* para exibição e armazenamento das variáveis. Com o método *AJAX* é possível buscar as informações no banco através do PHP e exibi-las em gráficos providos pelo *Google Charts*, como pode ser observado na Figura 3.13, a qual exibe um gráfico de temperatura por sua data e horário de medição.

Figura 3.13 – Google Charts.

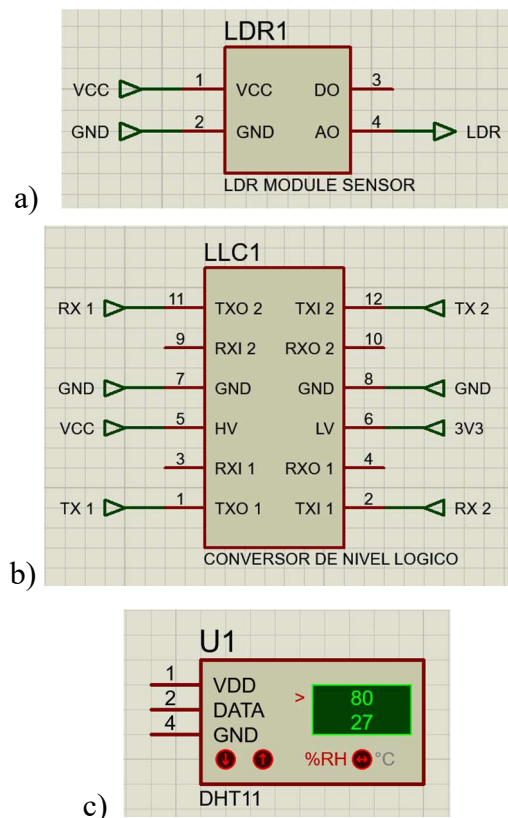


Fonte: Próprio autor.

Como visto acima, o componente representativo do ESP32 foi criado já que por padrão ele não está presente nessa ferramenta. Assim, utilizando um bloco e pinos, monta-se o objeto conforme descrito em seu *datasheet*. Da mesma forma, é necessário criar o módulo LDR e o conversor de nível lógico. Já para o DHT11, seu bloco já está disponível para simulação nesse ambiente.

A Figura 3.16 ilustra os componentes virtuais do módulo LDR, conversor de nível lógico e do sensor DHT11.

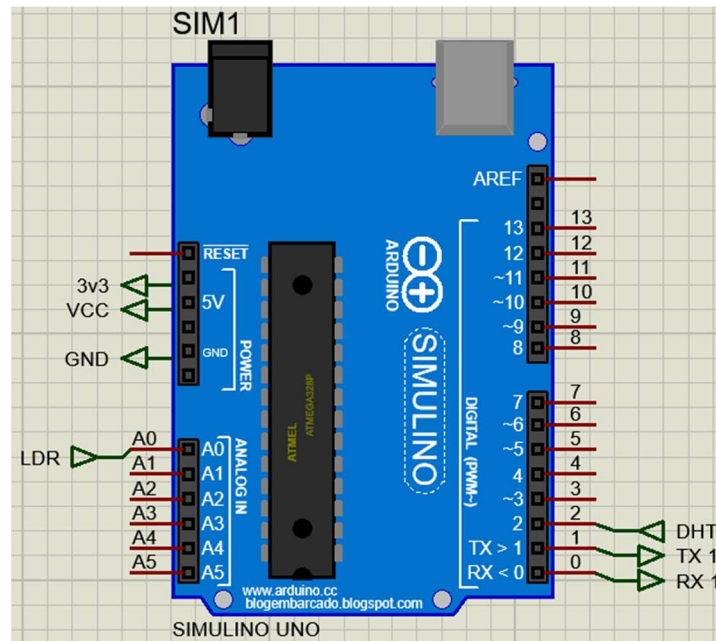
Figura 3.16 - a) Módulo LDR. b) Conversor de nível lógico. c) DHT11.



Fonte: Próprio autor.

O Arduino UNO é adicionado a partir da biblioteca do *software* e em seguida, realizado as conexões do mesmo, conforme observado na Figura 3.17, a qual mostra o componente virtual que representa essa plataforma de microcontrolador.

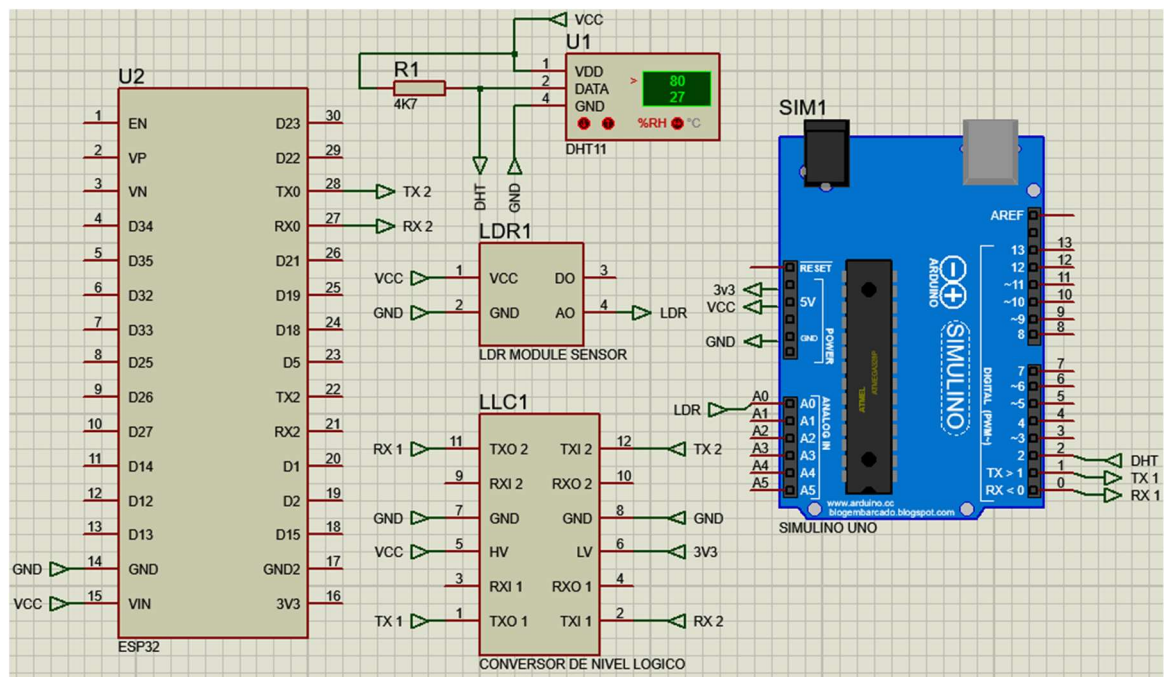
Figura 3.17 – Modelo do Arduino UNO.



Fonte: Próprio autor.

Além desse, insere-se o resistor de $4,7k\Omega$ utilizado pelo DHT11 e realiza-se a conexão de todos os componentes, levando as trilhas de alimentação e sinal, de acordo com a Figura 3.18. Os pinos possuem setas nomeadas que indicam a quais portas os mesmos estão conectados, seja levando algum dado ou apenas energia para alimentação de um componente.

Figura 3.18 – Conexão dos componentes na simulação.

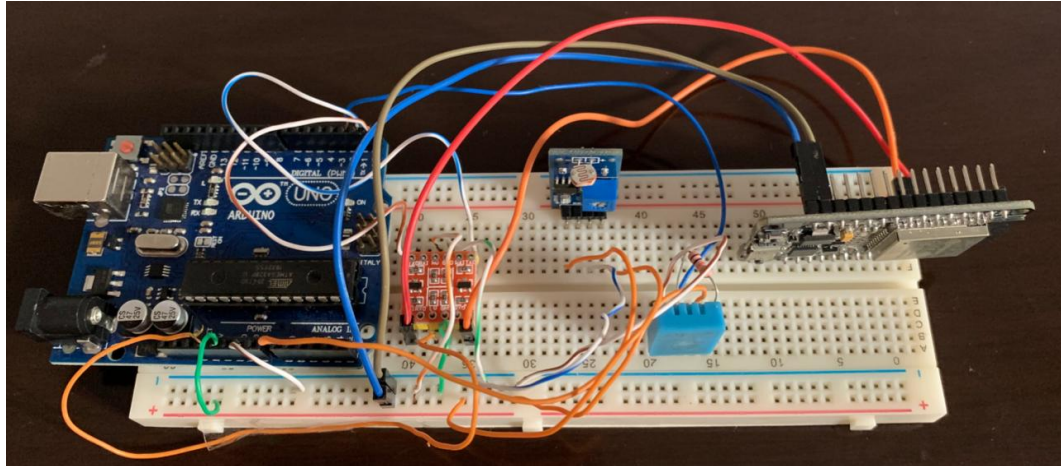


Fonte: Próprio autor.

Utilizando o esquemático acima, foi realizado a montagem do circuito em uma placa matriz de contato, *proto board*, tornando a execução mais rápida e permitindo a mudança de

projeto, caso seja necessário. Utilizando os furos da placa e fios metálicos isolados, conecta-se os eletrônicos na mesma configuração estabelecida na simulação virtual, como visto na Figura 3.19.

Figura 3.19 – Estação solarimétrica na *protoboard*.



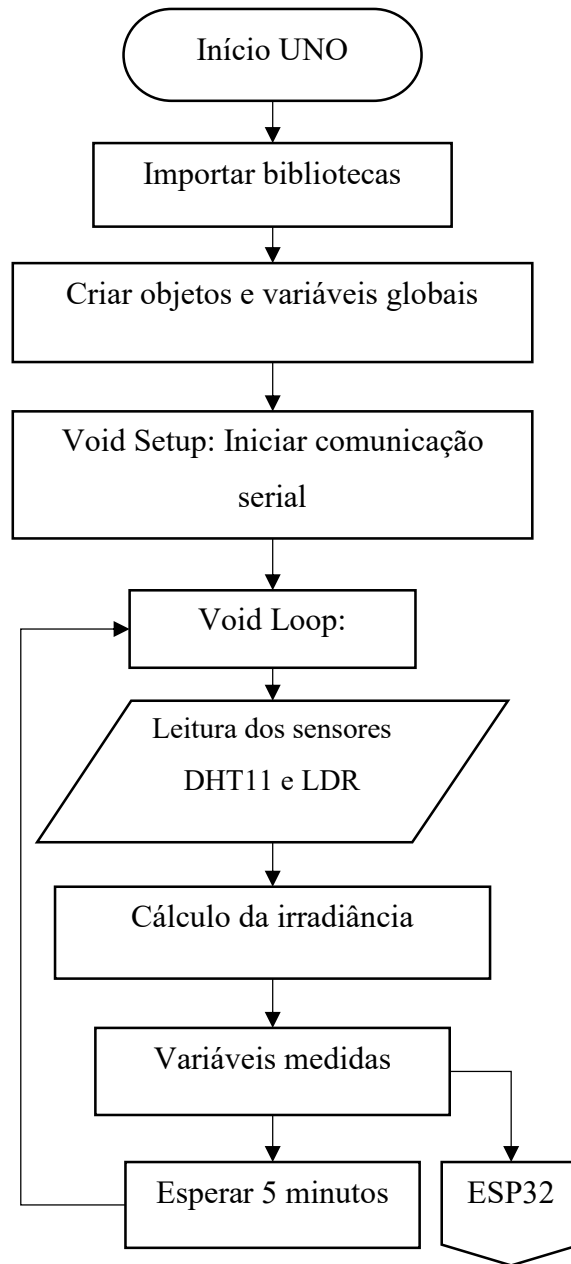
Fonte: Próprio autor.

3.3.2 Software

O código a ser construído na interface IDE do Arduino (Apêndice A, Apêndice B), integra a leitura dos sensores pelo UNO e a comunicação do mesmo com o ESP32 e desse com a rede que armazena e exibe os dados. Para início, pensou-se em uma arquitetura de comunicação serial, na qual o Arduino faz a leitura dos sensores e envia os valores ao ESP32, o qual permaneceu esperando pelas informações para transmiti-las ao banco de dados.

Dessa forma, desenvolve-se primeiro o código do UNO, conforme mostrado no fluxograma da Figura 3.20.

Figura 3.20 – Código Arduino UNO.



Fonte: próprio autor.

Importa-se as bibliotecas “*dht.h*” e “*math.h*”, as quais são responsáveis pelo funcionamento do sensor DHT11 e pela execução de cálculos, respectivamente. Também se declara o pino ao qual o DHT11 está conectado à placa, e o objeto virtual DHT, que recebe os dados via protocolo “*One-Wire*”.

Em seguida, as variáveis globais utilizadas são declaradas também fora do “*Void Setup*” e “*Void loop*”, para assim serem empregadas em qualquer parte do código. Para o DHT11, têm-se a temperatura e umidade, em *float*. O módulo LDR necessita de variáveis para ler os bits (*ldr*), converter para tensão (*tensao*) e para calcular a radiação solar (*rad*), todas em *float*. Como o protocolo HTML, o qual será implementado no ESP32, necessita de um vetor

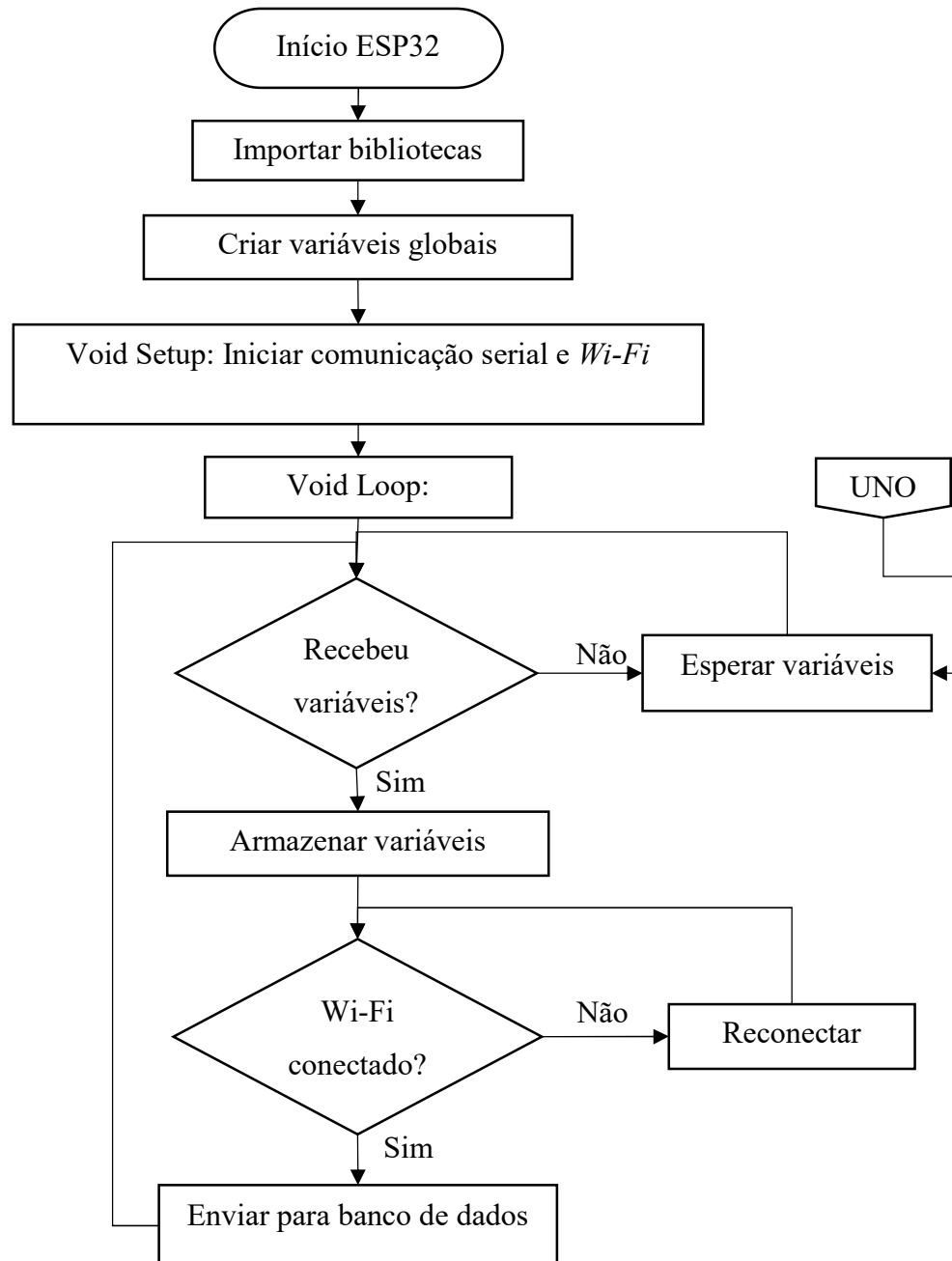
de caracteres construído no Arduino que contenha também a chave de acesso ao servidor, faz-se preciso declarar essa chave em *“apiKeyValue”*.

Logo à frente, há o *“Void Setup”* do controlador, o qual definirá a comunicação serial entre o mesmo e o ESP32, possibilitando enviar o vetor de caracteres contendo os dados para serem armazenados online.

Já dentro do *“Void Loop”*, ocorre a leitura dos valores de temperatura e umidade do DHT11, e da luminosidade no módulo LDR. Logo após, calcula-se a irradiância com base na leitura da tensão do LDR, na porta analógica, e escreve-se o vetor *httpRequestData*, a ser enviado ao ESP32. O mesmo é enviado utilizando a comunicação serial com *“Serial.println()”* e realiza-se uma espera de 5 minutos, ou 300000ms, para a próxima coleta de valores e envio. Dessa maneira, finaliza-se o código do UNO.

Partindo para o ESP32, segue-se o mesmo esquema descrito anteriormente para desenvolver seu código, conforme pode ser visto na Figura 3.21.

Figura 3.21 – Código ESP-32.



Fonte: próprio autor.

Inicia-se com a declaração das bibliotecas, sendo necessárias as bibliotecas “*WiFi.h*” e “*HTTPClient.h*” justamente para que se possa conectar à internet e fazer o envio usando o protocolo HTTP.

Novamente declara-se as variáveis necessárias, as quais, nesse caso, são as credenciais para a rede *Wi-Fi* e o endereço do servidor. O “*Void Setup*” desse controlador define a comunicação serial que é estabelecida com o Arduino UNO, além de iniciar a conexão *Wi-Fi*, procurando e conectando à rede, como visto na Figura 3.21.

Já dentro do “*Void Loop*”, o ESP32 fica em modo de espera por algum comando vindo do UNO em sua porta serial. Caso ele receba alguma instrução, essa é armazenada e, após verificar a permanência da conectividade *Wi-Fi*, utiliza-se do protocolo HTTP com o método “*http.POST*” para fazer o envio das variáveis ao banco de dados, retornando à espera por novas solicitações na porta serial.

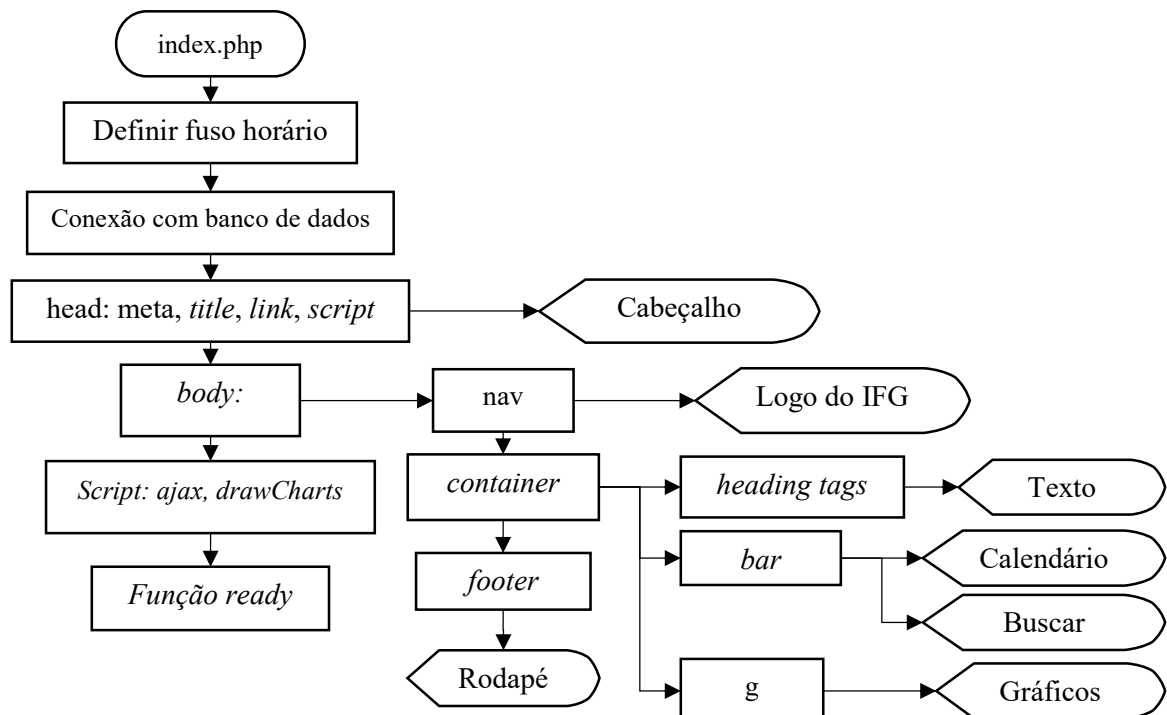
3.3.3 Supervisório

Tudo feito anteriormente se encaminha para um servidor online responsável por obter os dados e apresentá-los ao usuário em gráficos. Dessa forma, é feito a construção de um site utilizando PHP para que seja possível obter as leituras pelo método *POST.php*, além de armazenar em um banco de dados e utilizar o *Google Charts* para visualização.

O código do site (Apêndice C) é composto por diversos arquivos, incluindo o “*index.php*”, que é a página principal, “*database_connection.php*”, que realiza a comunicação com o banco de dados, “*busca.php*”, a qual busca os dados inseridos entre um intervalo de tempo, e o “*style.css*”, que customiza a aparência de todo o supervisório.

O índice, descrito no fluxograma da Figura 3.22, é escrito utilizando HTML e PHP, permitindo a construção dos objetos presentes na interface, além de utilizar as outras funções para a atualização e exibição dos dados. É dividido em um cabeçalho e o corpo da página, sendo que no primeiro está contido o título do cabeçalho e bibliotecas a serem utilizadas pelos componentes do site.

Figura 3.22 – Index.php.



Fonte: próprio autor.

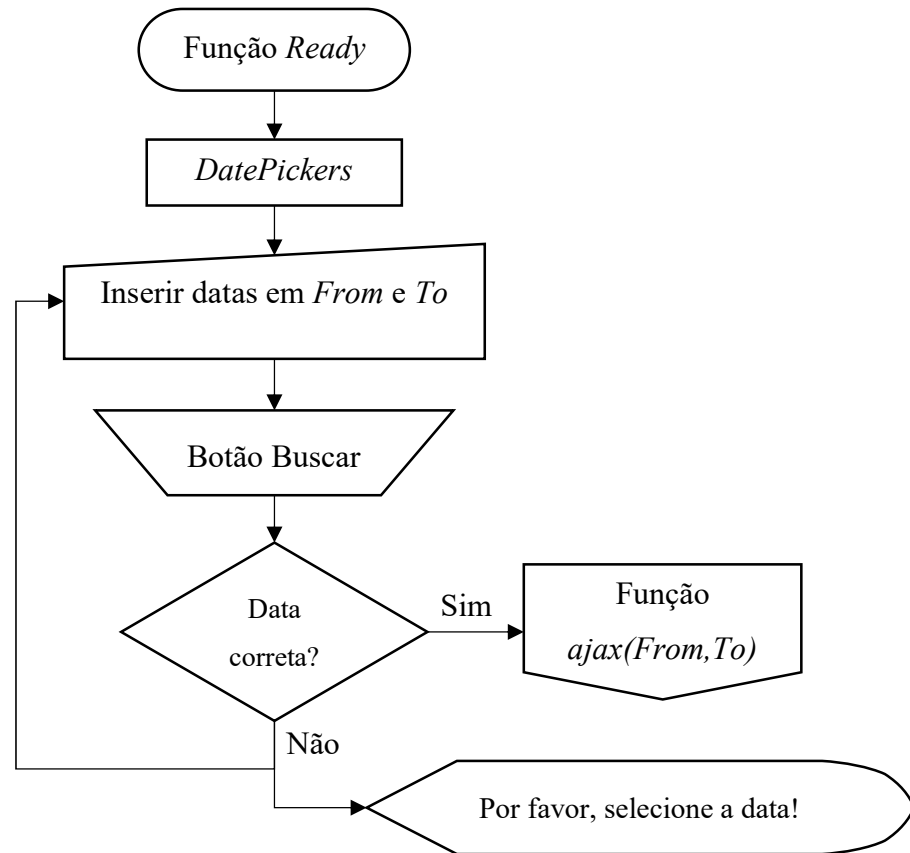
A linha “meta” define a codificação dos caracteres da página. Já “title” é onde contém o título exibido na aba do navegador. Em seguida há “link” que adicionam o *Bootstrap*, *jQuery* e também a configuração de estilo em CSS feito para o site. Por fim, o “script” adiciona a outra parte do *jQuery* em *javascript*.

Já o corpo, ou “body”, contém o título da página, as imagens, botões, calendário e gráficos. Nele são declarados os dois calendários da data inicial e final, o botão de busca, os três gráficos para a temperatura, umidade e irradiância e o rodapé da página.

O navegador “nav” foi utilizado apenas para posicionar o logo do IFG, dentro da classe “menu”. Em seguida, organizou-se todos os outros componentes, exceto rodapé, dentro de “container”. Logo há dois textos, estilizados com as “Heading Tags” em títulos e subtítulos. Novamente mais uma classe é definida, “bar”, que é a barra contendo os campos para inserir os calendários e o botão de busca. Já os gráficos ficam declarados dentro da classe “g”, contendo os gráficos “g1”, “g2” e “g3” para exibir a temperatura, umidade e irradiância respectivamente. Por fim, fora do container, declara-se o “footer”, ou seja, o rodapé da página, encerrando a construção do “body”.

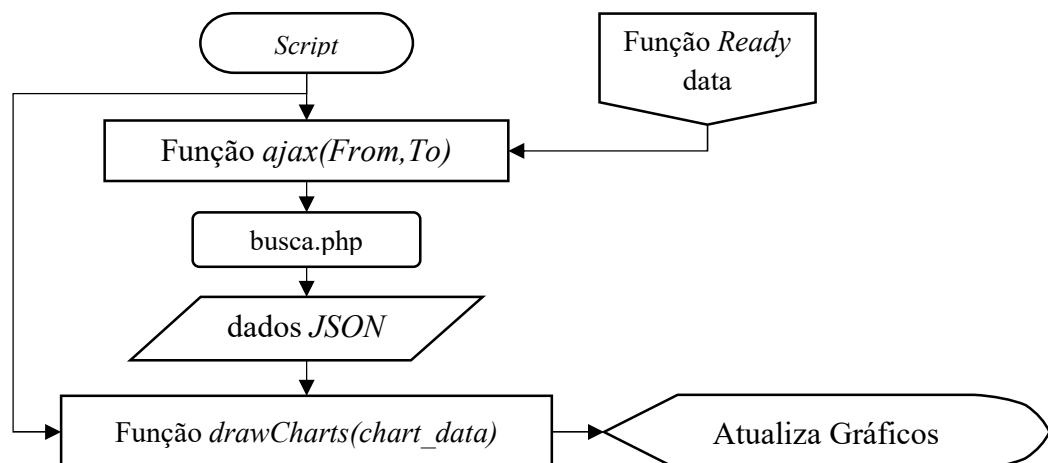
Para encerrar o “index.php”, há o código de dois scripts, sendo o primeiro responsável pela busca dos dados e atualização do gráfico, e o segundo, a implementação dos calendários para seleção da data.

Pela lógica, será tratado primeiro os calendários e o botão de busca. Assim que a página é completamente carregada, a função “ready”, mostrada no fluxograma da Figura 3.23, permite que sejam colocados os calendários, “datePickers”, dentro dos campos “de” (From) e “para” (To). Assim a data é formatada para “ano-mês-dia” para coincidir com o banco de dados. Os valores inseridos nos campos anteriores são recebidos a partir de um clique no botão “Buscar”. Caso tenha uma data preenchida, a função “ajax(From,to)” é executada, porém, caso contrário, é solicitado que o período seja devidamente selecionado.

Figura 3.23 – Função *Ready*.

Fonte: próprio autor.

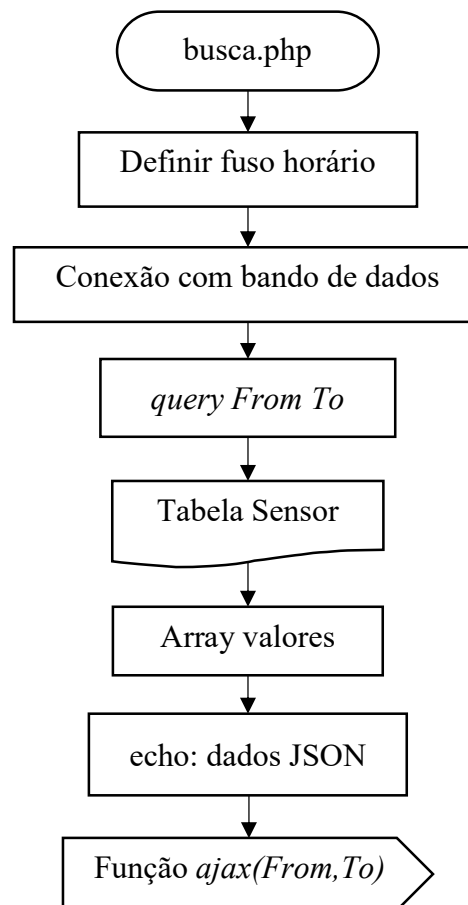
A Figura 3.24 apresenta a função “*ajax(From,To)*” citada anteriormente que se encontra no outro script e é responsável pela busca dos gráficos. O “*ajax*” utiliza do método “*\$.ajax*” para atualização da página, sendo uma das maneiras encontradas para que possa atualizar valores em um site escrito com PHP. Essa função envia ao “*busca.php*” o período escolhido e recebe os dados “*data*” no formato “*JSON*”, que é decodificado pela função “*drawChart(data)*”, a qual utiliza o padrão do *Google Charts* para desenhá-los.

Figura 3.24 – Função *ajax*.

Fonte: próprio autor.

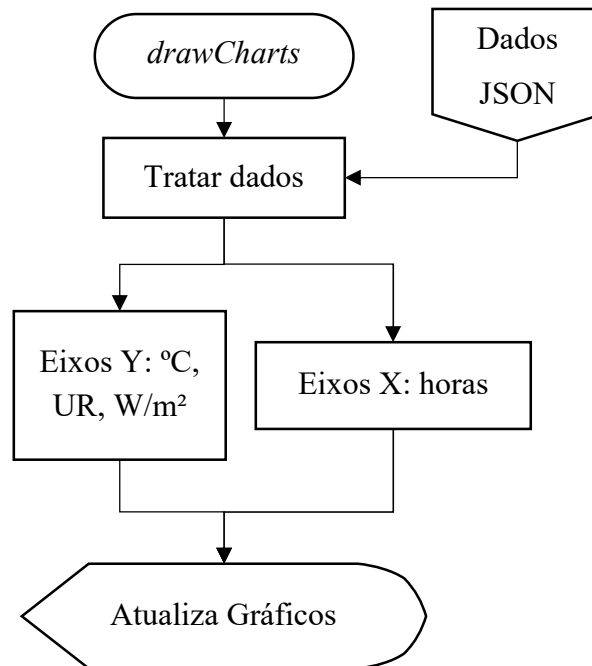
Antes de descrever a construção dos gráficos, cabe demonstrar o funcionamento da “busca.php”, exibido na Figura 3.25. Esse, caso recebido devidamente o intervalo “From” e “To” selecionados, realiza uma busca descrita em comando de busca, “*query*”, no banco de dados. Todos os valores da tabela “Sensor”, entre a data escolhida, são ordenados e enviados ao código. Os mesmos são organizados em um arranjo de elementos, “*array*”, e devolvidos pelo comando de exibir mensagem, “*echo*”, em uma notação de objetos JavaScript, “*JSON*”, conforme solicitado pela função “*ajax*” anteriormente.

Figura 3.25 – Busca.php.



Fonte: próprio autor.

Após a função “busca.php” retornar os dados “*JSON*” para a função “*ajax*”, esses são enviados à função “*drawCharts*”, apresentada no fluxograma da Figura 3.26. Nessa função, é criado uma tabela com duas colunas, de dados e datas, as quais são preenchidas por um laço de repetição. Logo adiante, as informações como o nome e eixos são definidas e o gráfico é plotado no elemento designado ao mesmo no “*body*”. Esse processo se repete para a temperatura, umidade e irradiância, encerrando assim o segundo *script* e também o “*index.php*”.

Figura 3.26 – Função *drawCharts*.

Fonte: próprio autor.

Para melhor visualização da página, todos os componentes são configurados visualmente por *style.css*, o qual define as cores, tamanhos e redimensionamento de acordo com a tela utilizada. Dessa forma, pode-se dizer que o supervisor apresenta um *design* responsivo, ou seja, se adequa para entregar a melhor experiência ao usuário na plataforma a qual está sendo acessado.

Pode-se observar o cabeçalho da página na Figura 3.27, onde é visto o logo do IFG, o título centralizado, o texto que indica para realizar a seleção das datas nos campos dos calendários e o botão “buscar” que executa a função “*ajax*” e preenche os gráficos.

Figura 3.27 – Cabeçalho da página definido por *style.css*.

Estação Solarimétrica - IFG Itumbiara

Selecione um intervalo de tempo para visualizar as medições

Do dia Ao dia Buscar

Fonte: próprio autor.

Capítulo IV

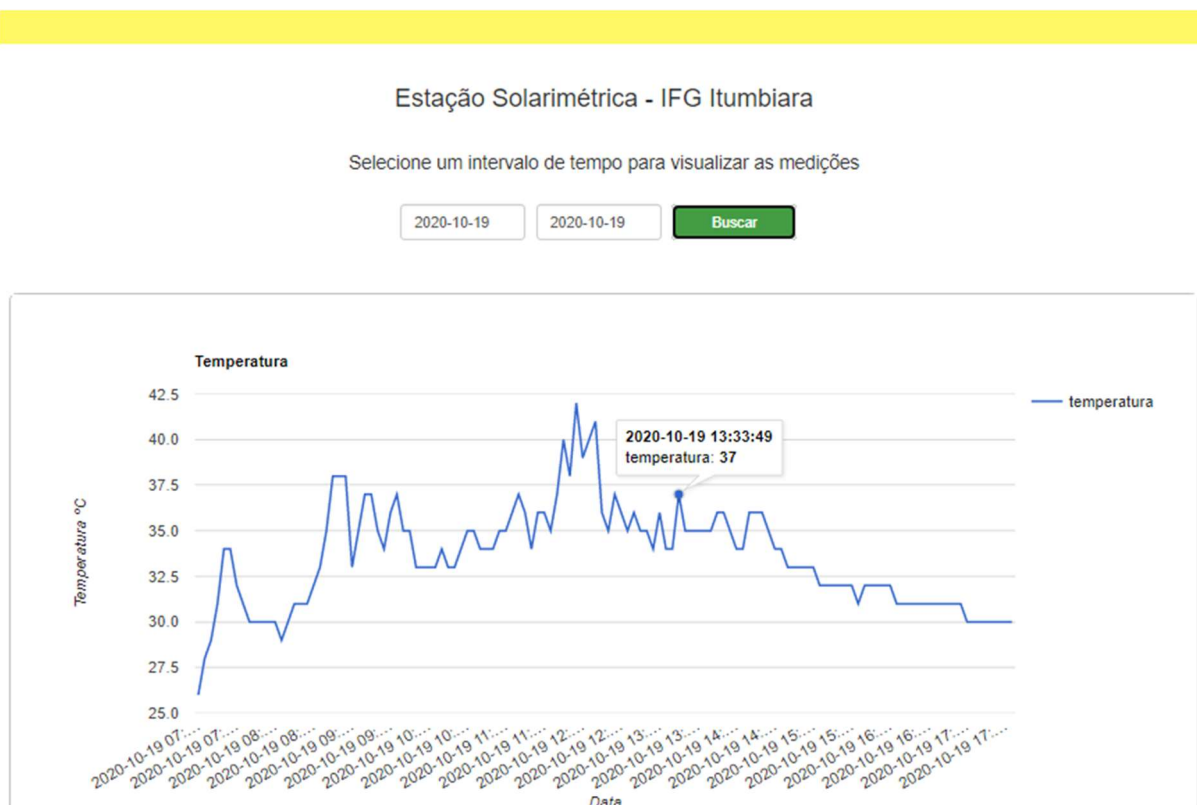
RESULTADOS E ANÁLISE

Após a construção do *hardware* e *software*, além da plataforma supervisória, uniu-se esses componentes para que pudesse ser aplicado na estação em um local próximo ao IFG – Campus Itumbiara e colher as medidas. Mantendo os sensores expostos ao ambiente, de uma forma que o sol pudesse incidir diretamente no LDR no plano horizontal, registrou-se continuamente os dados durante alguns dias para averiguar o desempenho do projeto.

4.1 Medições

A estação foi exposta as condições ambientes no mês de outubro de 2020, durante o período no qual o Sol pudesse incidir corretamente nos sensores, geralmente de 6:40h às 18:00h, construindo-se assim as curvas de temperatura, umidade e irradiância. Nos dias em questão, o céu esteve em diversas condições, ensolarado, parcialmente nublado e chuvoso. A Figura 4.1 é uma parte do resultado exibido no portal supervisório de acesso às medições, disponível em <http://nycollas.000webhostapp.com>.

Figura 4.1 - Exibição da temperatura no site online.



Fonte: Próprio autor.

4.2 Resultados

Realizando o acesso ao banco de dados, pode-se extrair para o Excel uma planilha que relaciona as três grandezas medidas e suas respectivas datas e horários em que foram obtidas.

Por conseguinte, elaborou-se os gráficos para que uma análise minuciosa seja realizada, considerando os dias 15, 18 e 19 de outubro.

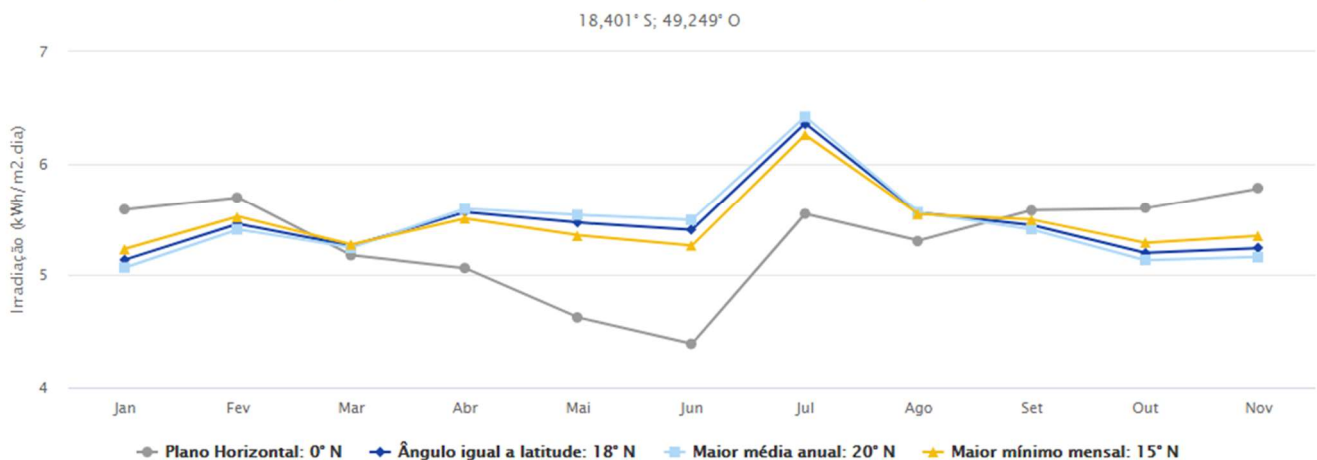
Primeiramente, para criar um referencial de comparação do que se foi obtido nas medições, traz-se os dados disponíveis de irradiação solar no portal do CRESESB²⁴, Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito. Esse sistema permite, a partir de coordenadas, consultar o comportamento da irradiação solar média mensal em kWh/m².dia. Para Itumbiara – GO, localizada em 18,401° S de latitude e 49,249° O de longitude, tem-se o respectivo quadro e gráfico na Figura 4.2, mostrando justamente a variação da radiação média mensal de janeiro a novembro.

Figura 4.2 – Irradiação solar média mensal em Itumbiara conforme CRESESB.

Estação: Itumbiara
Município: Itumbiara, GO - BRASIL
Latitude: 18,401° S
Longitude: 49,249° O
Distância do ponto de ref. (18,43505° S; 49,210606° O) : 5,6 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
☒	Plano Horizontal	0° N	5,59	5,70	5,18	5,06	4,62	4,39	4,57	5,55	5,31	5,58	5,60	5,78	5,24	1,39
☒	Ângulo igual a latitude	18° N	5,14	5,46	5,26	5,56	5,47	5,40	5,54	6,36	5,56	5,45	5,20	5,24	5,47	1,22
☒	Maior média anual	20° N	5,07	5,41	5,25	5,59	5,54	5,49	5,62	6,42	5,56	5,41	5,13	5,16	5,47	1,35
☒	Maior mínimo mensal	15° N	5,23	5,52	5,27	5,51	5,36	5,26	5,41	6,26	5,55	5,50	5,29	5,35	5,46	1,02

Irradiação Solar no Plano Inclinado –Itumbiara–Itumbiara, GO-BRASIL



Fonte: CRESESB.²⁴

É possível constatar que a média de radiação varia em cada mês, devido ao movimento terrestre de rotação e translação, conforme as estações do ano e a inclinação da terra em relação ao Sol. Dessa forma, em Itumbiara, nota-se que no mês de outubro a ser analisado, tem-se que o maior valor se dá para o plano horizontal, 5,58 kWh/m².dia, e o menor valor para inclinação de 20° N, 5,41 kWh/m². É visto também que a média anual varia de 5,24 a

²⁴ Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata;>. Acesso em: 21 out. 2020.

5,47 kWh/m².dia. A máxima diferença encontrada entre os meses do ano, o delta, foi de 1,39 kWh/m².dia, no plano horizontal.

Consultando um outro banco de dados, o Global Solar Data²⁵, propriedade da World Bank Group e Solargis, também disponibiliza dados da irradiação em Itumbiara. Há diversas informações disponíveis a serem apresentadas Figura 4.3. Para as mesmas coordenadas utilizadas anteriormente, verifica-se que a média anual de irradiação global no plano horizontal é de 5,561 kWh/m².dia. Além disso, é informado que a potência útil para fotovoltaica chega a 4,648 kWh/m².dia.

Figura 4.3 – Irradiação em Itumbiara conforme Global Solar Data.

Dados do mapa	
Irradiação normal direta	5,450 kWh/m ² por dia
Irradiação horizontal global	5,561 kWh/m ² por dia
Irradiação difusa horizontal	1,919 kWh/m ² por dia
Irradiação global inclinada a um ângulo otimizado	5,947 kWh/m ² por dia
Ângulo otimizado de inclinação dos módulos FV	23°
Temperatura do ar	25,4 °C
Elevação do terreno	486 m

Fonte: Global Solar Data (Adaptado).²⁵

Está disponível também a média por mês de radiação conforme por hora em um quadro. Observando o mesmo, percebe-se que os meses de maior radiação são junho, julho e agosto, tendo esse ultimo uma média de 7,083 kWh/m².dia, a maior do ano. Para outubro, encontra-se o valor de 4,882 kWh/m².dia, justamente por possuir bastantes dias nublados ao decorrer deste mês.

Analisando a Figura 4.4, vê-se que o perfil médio em outubro é de haver uma radiação que se inicia entre 5h e 6h da manhã, representada pelas cores esverdeadas, e atinge seu máximo por volta de 11h a 13h, onde a cor se torna laranja. Após, a radiação segue reduzindo ao passar da tarde até o por do sol entre 17h e 18h, representado novamente por cores esverdeadas.

Já na Figura 4.5, observa-se que o gráfico do perfil médio desse mês tem um máximo de aproximadamente 600 Wh/m² por causa dos inúmeros dias nublados, entretanto, em dias

²⁵ Disponível em: <https://globalsolaratlas.info/detail?s=-18.434841,-49.2103&m=site&c=-18.434965,-49.21043,11>; Acesso em 21 out. 2020.

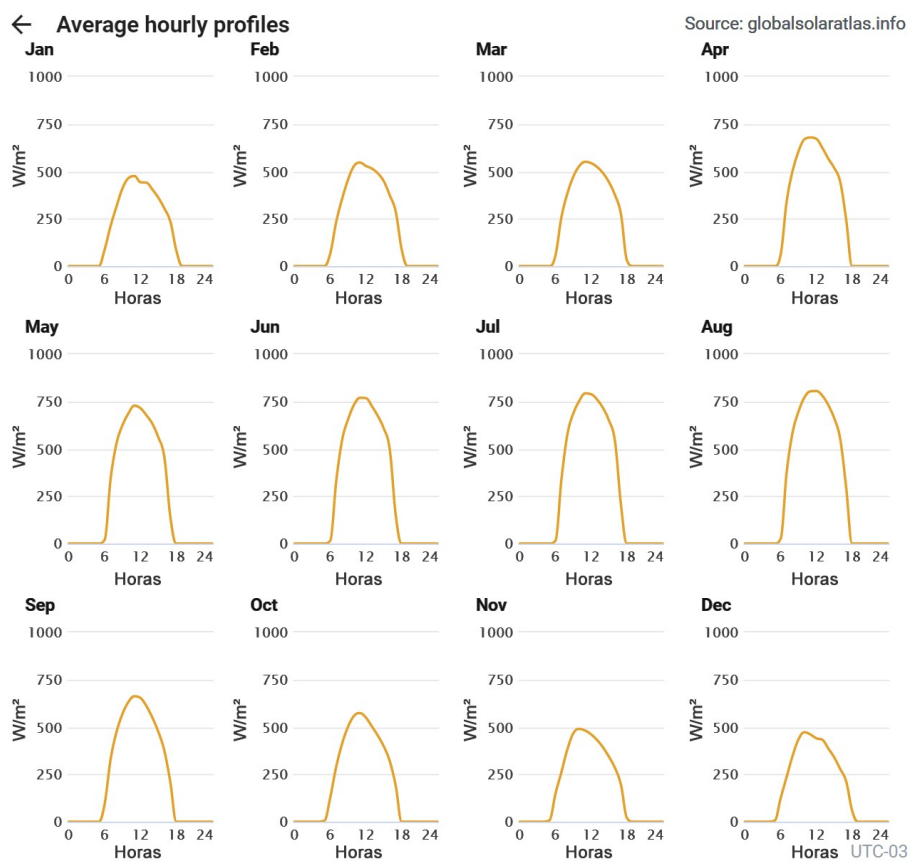
ensolarados a radiação atinge valores máximos típicos de 1000 Wh/m², como será demonstrado nas medições realizadas.

Figura. 4.4 – Perfil médio mensal de radiação solar por hora.

Hora	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
5 - 6										5	7	6
6 - 7	87	66	57	61	19	15	15	25	93	128	148	125
7 - 8	212	234	259	342	342	329	338	376	330	291	262	236
8 - 9	316	356	384	503	531	548	576	587	476	413	382	348
9 - 10	412	458	473	607	626	656	687	698	571	503	467	436
10 - 11	465	529	528	670	688	733	753	772	633	559	490	473
11 - 12	476	547	551	679	728	769	793	804	663	573	481	460
12 - 13	442	528	544	672	714	768	788	806	653	549	461	440
13 - 14	440	515	523	624	677	724	760	780	610	502	431	432
14 - 15	404	490	490	567	632	673	715	731	549	454	392	386
15 - 16	361	448	442	517	559	606	648	661	473	397	341	339
16 - 17	304	373	374	444	454	495	538	551	373	319	283	278
17 - 18	235	287	274	244	139	148	203	293	207	189	195	213
18 - 19	81	87	30								19	57
19 - 20												

Fonte: Global Solar Data (Adaptado).²⁵

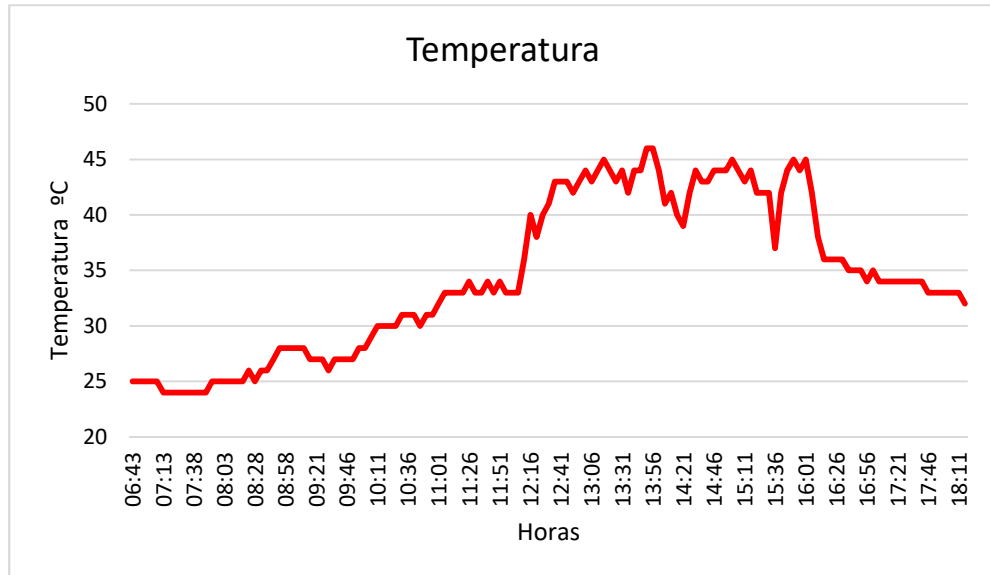
Figura. 4.5 – Gráfico do perfil médio mensal de radiação solar.



Fonte: Global Solar Data (Adaptado).²⁵

Após esse estudo de dados feitos nas duas fontes expostas anteriormente, traz-se os gráficos obtidos com as medições. No dia 15 em questão, teve-se um céu aberto bastante ensolarado, com quase nenhuma nuvem durante a maior parte do tempo. Trantando-se primeiro da temperatura, obteve-se o gráfico da Figura 4.6.

Figura 4.6 - Temperatura medida em 15/10/2020.



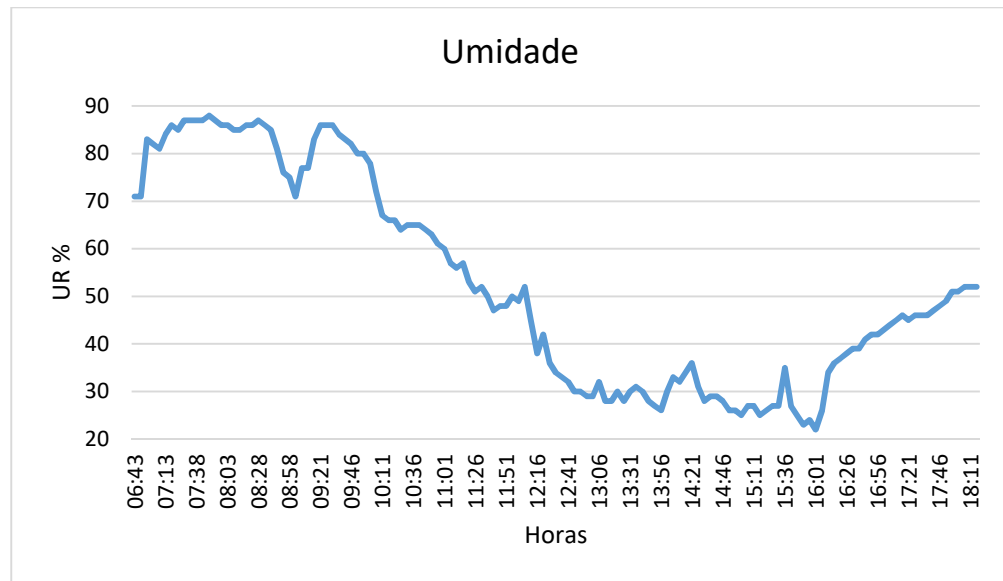
Fonte: Próprio autor.

Pode-se notar que o sensor DHT11 indicou que as temperaturas do dia permaneceram num espectro normal conhecido, sendo condizente com o esperado para a temperatura ambiente. O seu valor mínimo foi obtido logo nos primeiros minutos de medição, correspondendo à 24°C, e seu máximo ocorreu entre 13:51h e 13:56h, atingindo 46°C no sensor. Vê-se também que a média da temperatura nesse dia foi de aproximadamente 34,4°C, implicando em um dia quente, com bastante variação de temperatura em cima do módulo exposto ao sol.

Dessa forma, observa-se que a exposição de um painel fotovoltaico, nesse dia em pauta, estaria sujeito ao Sol com temperaturas médias de 34°C. Como foi apresentado no item 2.4, altas temperaturas implicam em redução da tensão de saída, acarretando em perda de potência gerada. Também é possível prever a perda de eficiência se considerar que a temperatura do painel geralmente se apresenta de 20°C a 40°C acima da temperatura ambiente (STAMBUK, 2017). Assim, estima-se que um painel solar nesse dia teria em sua superfície temperaturas entre 44°C e 66°C, se considerar um aumento típico de 20°C.

Agora tratando-se da umidade mensurada nesse dia, tem-se o gráfico da Figura 4.7 durante o mesmo período de tempo visto anteriormente.

Figura 4.7 - Umidade medida em 15/10/2020.



Fonte: Próprio autor.

O mesmo sensor registrou a umidade durante o intervalo estabelecido, obtendo-se valores que permaneceram dentro do espectro sensível do equipamento, de 20% a 90% de UR, como descrito em 3.1. Através do cálculo, verifica-se uma média de 52,59% de UR, notando-se que há um decaimento no período da manhã, mantém-se próxima a 30% durante a tarde e retorna a subir por volta das 16h. O seu máximo foi pela manhã às 7:48h, com 88%, e seu mínimo às 16:01h, com valor de 22% de UR.

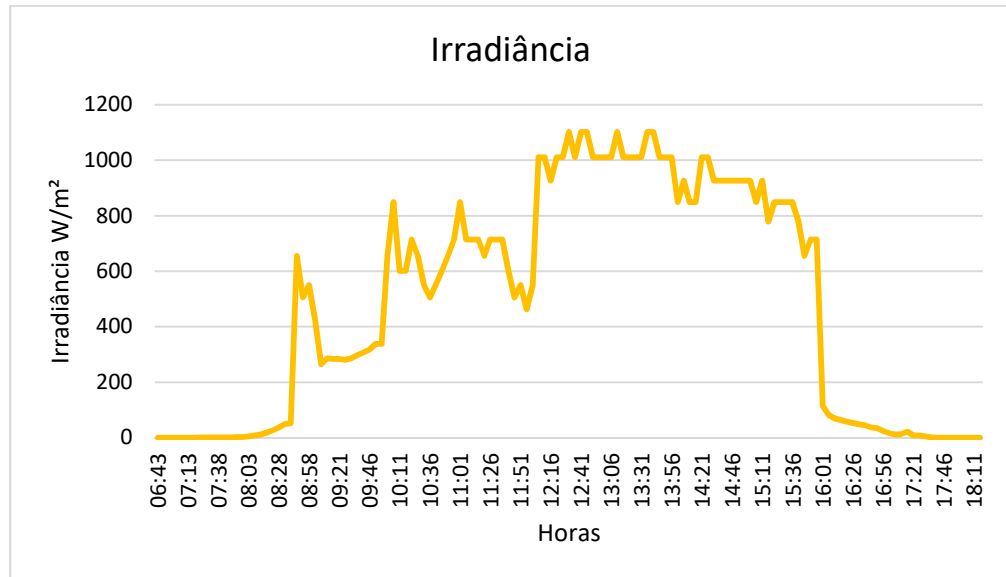
No início da manhã seu pico em 88% implica em uma redução grande da potência gerada, devido a diminuição de forma não linear na tensão de saída, porém principalmente na corrente de forma linear, provocando uma queda de potência produzida até 35%, por exemplo, em uma variação de 25% à 55% de UR (CANTOR, 2017).

Todavia vale observar o período entre 12h e 16h, no qual o Sol está mais acima no céu, atingindo o zênite, e assim tendo seu pico de produção de energia fotovoltaica. Durante esse período a umidade se manteve baixa, em média de 30,6% UR, levando-se a concluir que os efeitos de refração, difração e difusão estão atenuados em relação às 8h, podendo-se assim, esperar que a influência na energia gerada seja pequena.

Fazendo um paralelo com a temperatura, é admissível analisar que a baixa de umidade ocorre justamente quando foram registrados os níveis mais altos de temperatura, ou seja, há uma oposição entre a temperatura e a umidade, assim, quanto mais quente, observa-se um decréscimo da umidade, logo, havendo menor redução também da irradiância pelos efeitos ópticos citados anteriormente.

O último sensor, módulo LDR, captou a luminosidade no ambiente e, a partir das contas realizadas no processador, traçou-se o gráfico para a irradiância solar estimada, visto na Figura 4.8.

Figura 4.8 - Irradiância medida em 15/10/2020.



Fonte: Próprio autor.

Analisando-se a curva, percebe-se que a irradiância tende a crescer durante todo o período da manhã, atingindo os valores mais elevados entre as 12h e 16h, decaindo ao longo do fim de tarde. É notável também que há quedas abruptas da irradiância em alguns pontos, como as 9:10h, 10:30h, 11:50h e 16:10h, as quais se deram por conta de nuvens no céu.

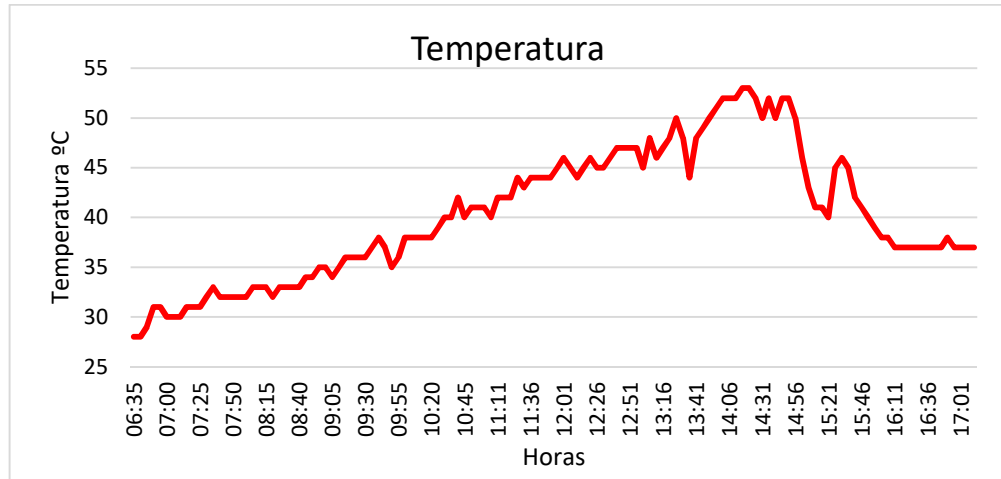
Tendo isso em mente, infere-se que a nebulosidade tem influência direta sobre a potência gerada pelos painéis solares, havendo redução significativa na corrente que circula pelos módulos durante esses instantes de sobreposição das nuvens. Apesar disso, constata-se que, em média, a irradiância presente no dia tratado foi de 511,11 W/m². Realizando os cálculos levando em conta o intervalo de 5 minutos em cada medição, calcula-se que nesse dia a radiação solar foi de 5,56 kWh/m².dia.

O resultado é considerado satisfatório ao se comparar com os bancos de dados expostos anteriormente, estando dentro da faixa de mínimo e máximo do CRESESB em outubro, 5,41 a 5,58 kWh/m².dia, e um erro de 13,88% para o Global Solar Data, o qual prevê o valor de 4,882 kWh/m². Deve ser levado em conta, também, que o LDR está limitado a medir num intervalo menor de espectro de luz do que o piranometro, como foi apresentado em 3.2.

Partindo-se para o dia 18 de outubro, houve céu nublado durante quase todo o dia, com poucos raios de sol, além de momentos com leve chuva. Contudo, foi um dia quente.

Tendo em mente essas condições, registrou-se as variáveis e obteve-se os gráficos. Na Figura 4.9, tem-se a temperatura registrada nesse dia.

Figura 4.9 - Temperatura medida em 18/10/2020.

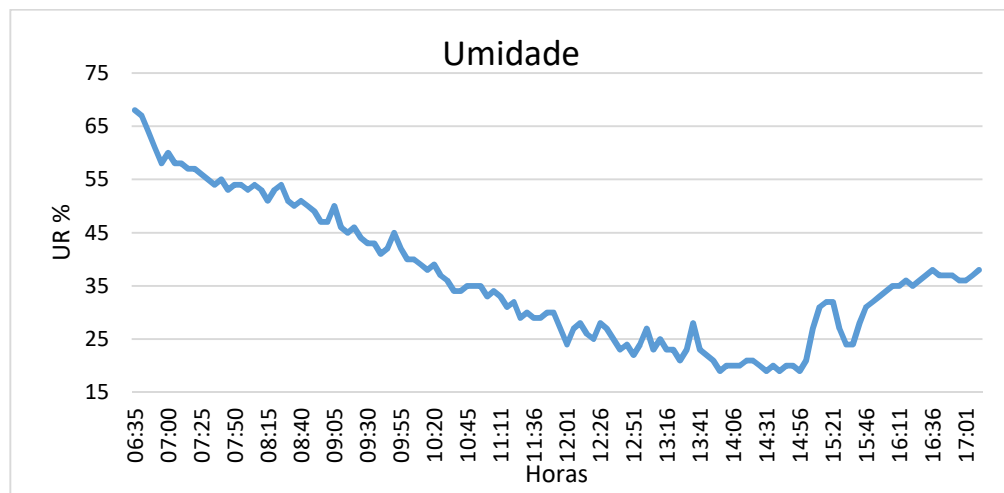


Fonte: Próprio autor.

Novamente, observa-se, na Figura 4.9, o mínimo da temperatura no início do dia com 28°C e máxima apontada no sensor de 53°C às 14:16h. A temperatura manteve-se crescente ao longo de todo o dia, decaindo apenas após as 15h, tendo em média 40,24°C no sensor exposto. Outra vez, houve grande variação de temperatura, até com um média maior em relação ao dia 15 já que houve formação de leve chuva no final da tarde, justamente o período onde a temperatura decaiu. Apesar do sensor – o qual estava exposto ao sol – indicar temperatura de até 53°C, a mesma ocorreu em um curto período de tempo, tendo temperaturas bem mais amenas durante o resto do dia. Assim, o efeito térmico que reduz a tensão de saída do módulo fotovoltaico não é tão evidente nesse dia como nos outros apresentados.

Em seguida, é mostrado na Figura 4.10 a umidade relativa do ar mensurada no dia 18.

Figura 4.10 - Umidade medida em 18/10/2020.

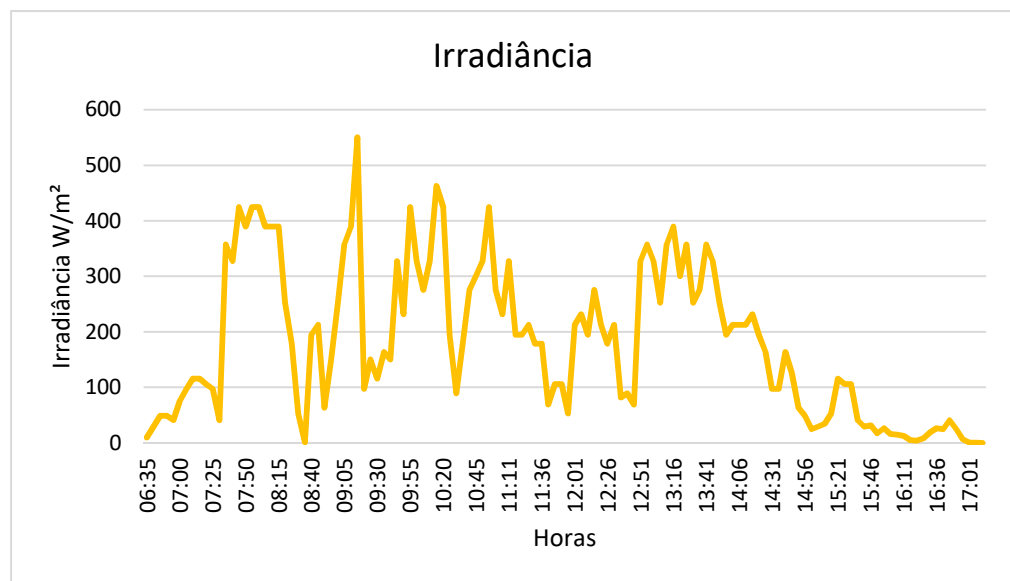


Fonte: Próprio autor.

Já para a umidade, vista na Figura 4.10, o dia começou bastante úmido, em seu máximo de 68% às 6:30h e diminuindo até 19% entre 14:30h e 15h. A média foi de 36,36% de UR, e logo após as 15h teve-se a umidade aumentando e início de chuva leve por volta de 17h. O céu durante aproximadamente todo o dia, principalmente a tarde, esteve coberto por nuvens, dificultando bastante a passagem de raios solares e prejudicando a geração fotovoltaica. Observa-se mais uma vez um aumento da temperatura no mesmo período em que acontece a queda da umidade.

Adiante, é desenhado na Figura 4.11 o gráfico da irradiância solar medida no dia 18.

Figura 4.11 - Irradiância medida em 18/10/2020.



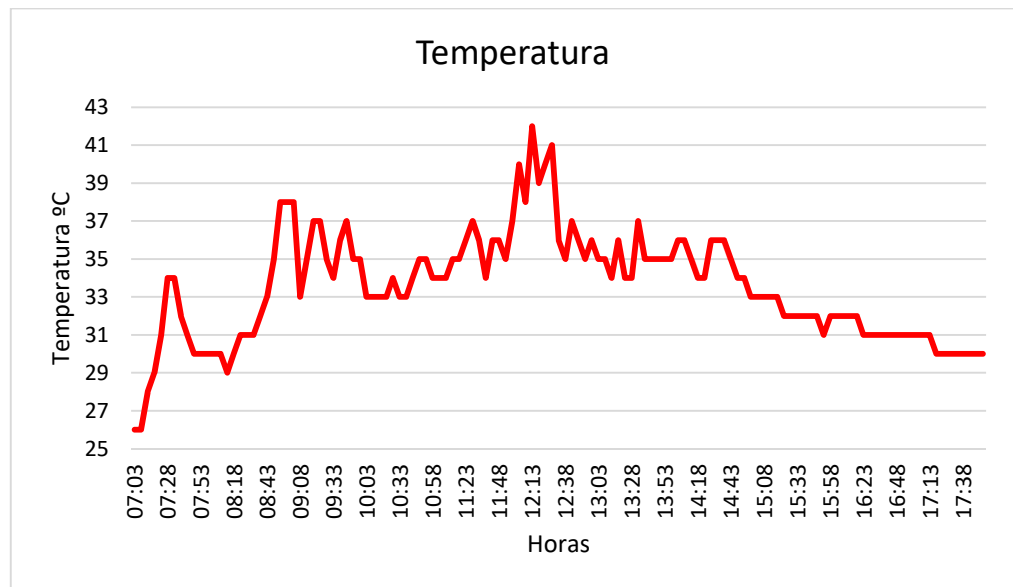
Fonte: Próprio autor.

Analisando-se a irradiância na Figura 4.11, nota-se que em média o valor foi bem reduzido comparado ao dia 15, devido a nebulosidade. A média foi de 180,56 W/m² de irradiância, apresentando vários picos e quedas conforme as nuvens se movimentavam, reduzindo drasticamente os valores após as 15h devido a iminente chuva e umidade aumentando. Nesse dia em questão, a partir dos cálculos, registrou-se uma radiação de 1,929 kWh/m².dia, bem abaixo do esperado conforme os bancos de dados apresentaram.

Tomando o menor valor do CRESESB, verifica-se um erro de 64,34%, e para o Global Solar Data, 60,48%. Deve-se lembrar que essa variação é esperada de se ocorrer em dias nublados e chuvosos, tendo como consequência a drástica redução de energia fotovoltaica gerada por um sistema.

Ao observar os dados do dia 19, o qual foi ensolarado em maior parte do tempo, porém com momentos de céu parcialmente nublado, chega-se aos seguintes gráficos. Na Figura 4.12 é exibido a temperatura registrada nesse mesmo dia.

Figura 4.12 - Temperatura medida em 19/10/2020.

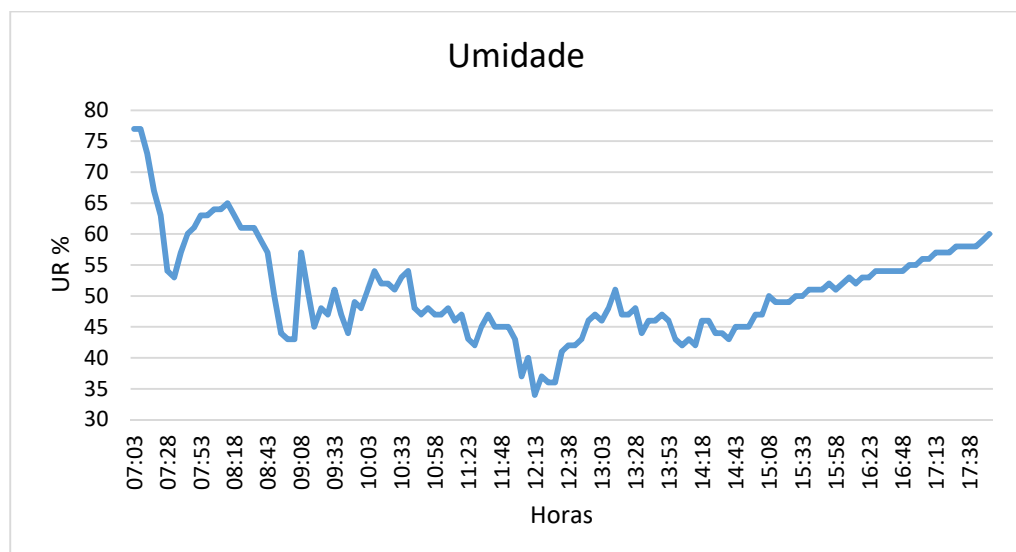


Fonte: Próprio autor.

A temperatura nesse dia manteve-se bastante estável em relação aos dias analisados anteriormente. A média foi de 33,53°C, com mínima de 26°C pela manhã às 7h e máxima de 42°C às 12:13h, sendo essa a menor variação entre os 3 dias apresentados. Estima-se que com um aumento de 20°C típico na superfície dos painéis, de acordo com o demonstrado anteriormente, espera-se que o módulo opere a 53,53°C na média, chegando até a 62°C em sua máxima. O dia em questão foi mais quente que o dia 18, próximo do que se presenciou no dia 15, logo, também se prevê redução na tensão de saída por conta da alta temperatura.

Para observar a umidade, vê-se o gráfico da Figura 4.13.

Figura 4.13 - Umidade medida em 19/10/2020.

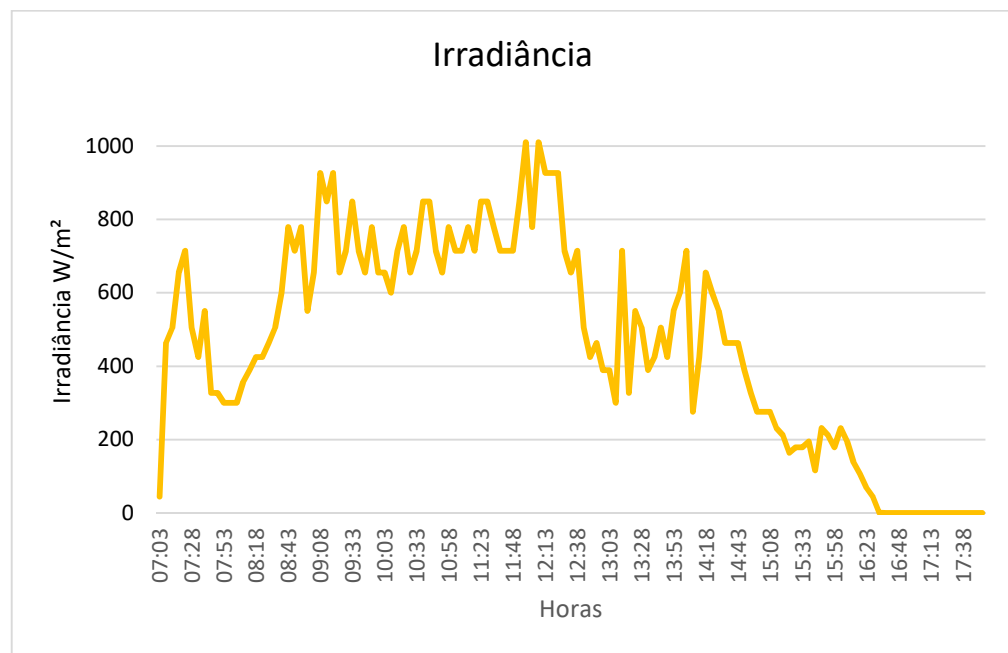


Fonte: Próprio autor.

Nota-se que, na Figura 4.13, a umidade também esteve estável, com baixa variação e uma média de 50,68% de UR. Seu máximo foi de 77% às 7h e mínimo de 34% às 12:13h. A umidade esteve em valores médios próximos ao ocorrido no dia 15, podendo-se assim esperar que nos momentos em que estava parcialmente nublado houve redução da radiação solar por causa das partículas de água, como foi discutido previamente.

Adiante na Figura 4.14 é apresentado o gráfico da irradiância registrado no dia 19.

Figura 4.14 - Irradiância medida em 19/10/2020.



Fonte: Próprio autor.

É possível constatar que a irradiância se manteve bem mais estável do que o dia 18, apresentando quedas apenas no começo da manhã e final da tarde, períodos onde o céu ficou parcialmente nublado. Em média teve-se $496,66 W/m^2$, próximo do valor do dia 15, e realizando-se os cálculos, chega-se ao valor de $5,137 kWh/m^2.dia$, um valor bem mais expressivo que no dia 18.

Ao se comparar com o CRESESB com o valor mínimo esperado, tem-se um erro de 5,04%, e para o Global Solar Data o erro é de 5,22%. Dessa forma, percebe-se que o comportamento do sensor foi adequado ao que se esperava, mostrando as variações derivadas dos sombreamentos pelas nuvens e também o potencial alto quando exposto diretamente aos raios solares. Com esse valor, o resultado é uma geração ligeiramente menor em relação ao dia 15, porém bem mais expressiva do que o dia 18, notando-se, assim, a interferência direta causada pelas nuvens na geração fotovoltaica.

Capítulo V

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse trabalho desenvolvido, foi apresentado a maneira como estão dispostas as matrizes energéticas e elétricas no Brasil e a corrida crescente para a implantação de usinas fotovoltaicas. Também foi exposto os principais tipos de painéis que se encontram no mercado, o princípio de funcionamento e construção dos mesmos, além da influência de variáveis climáticas na eficiência de sua produção de energia elétrica.

Foi possível realizar uma pesquisa e estudo de componentes da eletrônica, como microcontroladores e sensores, relacionando os mesmo para desenvolver uma estação solarimétrica de baixo custo. Calcula-se que foram gastos aproximadamente R\$ 171,36 na construção do projeto, sendo esse um valor que representa apenas 8,58% do valor de uma estação comum, de custo mínimo estimado em R\$ 2.000,00.

Pôde-se estudar o funcionamento de cada plataforma de microcontrolador – tanto a maneira como os *hardwares* trabalham – tratando-se de dados analógicos e digitais como a forma de desenvolvimento do *software*, abordando as linguagens de programação e protocolos de comunicação.

O trabalho também permitiu a elaboração de soluções diversas para integrar todos os componentes necessários para que se pudesse construir a estação solarimétrica que atendesse aos objetivos propostos. Para isso, foi necessário também uma pesquisa em sistemas *web* e como dispor de um ambiente próprio para monitorar os dados, fazendo uso de linguagens de redes.

Por consequência, os resultados obtidos das medições foram apresentados e discutidos, pondo em pauta o significado de cada valor obtido e seu impacto na avaliação do cenário fotovoltaico que foi estudado. Sendo assim, exibiu-se um projeto de estação solarimétrica de baixo custo fazendo o uso de recursos da eletrônica disponíveis no mercado e de algoritmos de, relativamente, fácil construção.

Por motivos de fatores externos, não foi possível realizar uma comparação dos dados obtidos com a estação solarimétrica presente no campus do IFG. Dessa forma, seria feita uma análise de maior quantidade de dias, avaliando melhor a eficiência dos sensores quanto às variáveis que foram apresentadas.

Para além disso, recomenda-se um aprimoramento do projeto em futuros trabalhos nos seguintes quesitos:

- Armazenamento de dados localmente;
- Comparar com dados reais da estação solarimétrica do IFG.

- Utilizar-se de um *Shield Wi-Fi* para dispensar o uso do microcontrolador ESP32;
- Comparar o uso de outros sensores de temperatura e umidade, como o BME280;
- Verificar outros modelos de LDR para medir a irradiância solar;
- Substituir o LDR por sensores mais adequados e precisos quanto a irradiância, em detrimento do custo do projeto;
- Acrescentar o sensor anemômetro para monitorar o vento;
- O desenvolvimento de uma aplicação para celulares para monitorar os dados.

BIBLIOGRAFIA

Almanaque de metrologia – IPEM-SP. **Metrologia e Meteorologia: O Anemômetro**. 21 set. 2011. Disponível em: <https://ipemsp.wordpress.com/2011/09/21/metrologia-e-meteorologia-o-anemometro/>; Acesso em: 14 ago. 2020.

AOSONG. **Temperature and humidity module: DHT11 Product Manual**. Disponível em: https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet_DHT11.pdf; Acesso em: 14 ago. 2020.

Arduino e Cia. **Como funciona o conversor de nível lógico 3,3 – 5V**. 16 nov. 2015. Disponível em: <https://www.arduinoecia.com.br/conversor-de-nivel-logico-33-5v-arduino/>; Acesso em: 14 ago. 2020.

Arduino. **ARDUINO UNO REV3**. 5 maio 2015. Disponível em: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>; Acesso em: 14 ago. 2020.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Micro e Minigeração Distribuída (REN482/2012)**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>; Acesso em: 14 ago. 2020.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Energia no Mundo 2015 - 2016: matrizes energéticas, matrizes elétricas, indicadores**. Brasília: MME, 2017. 42 p.

CANTOR, G. A. R. **Influência dos fatores climáticos no desempenho de módulos fotovoltaicos em regiões de clima tropical**. 2017. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis) – Centro de energias alternativas e renováveis, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017. Disponível em: http://www.cear.ufpb.br/arquivos/ppger/documentos/versao_final_Guillermo.pdf; Acesso em: 14 ago. 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE (a). **Matriz Energética e Elétrica**. 2018. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica#ELETRICA>; Acesso em: 14 ago. 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE (b). **Expansão da geração – empreendimentos fotovoltaicos**. p. 19, seção 5.9.1.1. 2018. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/leiloes-de-energia/Documents/EPE-DEE-065_2013_R5_2017_UFV.pdf; Acesso em: 14 ago. 2020.

Espressif Systems. **ESP32 Datasheet**. 8 out. 2016. Disponível em: https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet_ESP8266_esp32_en.pdf; Acesso em: 14 ago. 2020.

FREIRE, L. A. D. **Desenvolvimento de um piranômetro fotovoltaico**. 2008. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) – Centro de tecnologia e geociência, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/9779>; Acesso em: 14 ago. 2020.

HALLIDAY, D. *et al.* **Fundamentos de Física: óptica e física moderna**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

International Energy Agency – IEA. **Electricity Statistics:** Detailed, comprehensive annual data on electricity and heat. 2018. Disponível em: <https://www.iea.org/statistics/electricity/>;. Acesso em: 14 ago. 2020.

International Energy Agency – IEA. **World Energy Investment 2018:** Investing in our energy future. 2018. Disponível em: <https://www.iea.org/wei2018/>;. Acesso em: 14 ago. 2020.

Laboratório de Sistemas Integráveis (LSI) – USP. **JUNÇÃO P-N.** São Paulo. Disponível em: <http://www.lsi.usp.br/~eletroni/milton/depl.htm>. Acesso em: 29 nov. 2020.

MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S. Photovoltaic Solar Energy: a briefly review. **Revista Virtual de Química**, Niterói, v. 7, n. 1, p. 126-143, out. 2015. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). DOI: <http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20150008>;. Acesso em: 14 ago. 2020.

MOTA, C. V. A história de Nikola Tesla, o excêntrico inventor rival de Thomas Edison que inspirou Elon Musk. **BBC Brasil**, São Paulo, 22 dez. 2017. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-42375111#orb-banner>;. Acesso em: 14 ago. 2020.

NEVES, G. A. R. *et al.* Desenvolvimento e Calibração de um Termohigrômetro para uso em Pesquisas de Micrometeorologia, Agrometeorologia e Climatológica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 8, n. 1, p. 136-143, set. 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233434>;. Acesso em: 14 ago. 2020.

PEREIRA, E. B. *et al.* **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** São José dos Campos: Inpe, 2006. 60 p.

PORTAL SOLAR. **Tipos de Painel Solar Fotovoltaico.** 30 mar. 2017. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>;. Acesso em: 14 ago. 2020.

REIS, P. Principais tipos de células fotovoltaicas constituintes de painéis solares. **PORTAL ENERGIA**, 28 nov. 2017. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/principais-tipos-de-celulas-fotovoltaicas-constituintes-de-paineis-solares>;. Acesso em: 14 ago. 2020.

RIBEIRO, M. R. S. *et al.* Desenvolvimento de um anemômetro digital ultra-sônico. In: X Encontro latino americano de iniciação científica, 10., 2006, São José dos Campos. **Programação e anais de resumos.** São José dos Campos: Univap, 2006. p. 290-293. Disponível em: http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2006/inic/inic/07/INIC0000904.ok.pdf;. Acesso em: 14 ago. 2020.

SANTIAGO, G. L. S. **Desenvolvimento de um medidor de radiação solar de baixo custo.** 2014. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2014.

SILVA, J. A. A. *et al.* Tratamento e análise de dados solarimétricos da estação meteorológica da EMC/UFG. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7. 2018, Gramado. **Anais CBENS.** Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/725>. Acesso em: 14 ago. 2020.

STAMBUK, R. H. **Influência da temperatura de operação no desempenho de sistemas fotovoltaicos**. 2017. 57 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialista em Energias Renováveis, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017. Disponível em:

https://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/13680/1/CT_CEER_I_2016_16.pdf;

Acesso em: 14 ago. 2020.

VIEIRA, R. G. **Análise Comparativa do Desempenho entre um Painel Solar Estático e com Rastreamento no Município de Mossoró-RN**. 2014. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sistemas de Comunicação e Automação, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/tede/519>;

Acesso em: 14 ago. 2020.

VIEIRA, R. G. *et al.* MEDIÇÃO DE RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL UTILIZANDO SENSOR LDR. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, Ponta Grossa, v. 7, n. 1, p. 48-54, abr. 2015. Disponível em: <https://revistas2.uepg.br/index.php/ret/article/view/11382>; Acesso em: 14 ago. 2020.

GLOSSÁRIO

<i>\$Query</i>	Comando de busca dentro da tabela do banco de dados
<i>Ajax</i>	Linguagem JavaScript e XML assíncrona
<i>Ajax(from,to)</i>	Função denominada ajax que utiliza como parâmetros as variáveis de data <i>from</i> (de) e <i>to</i> (para).
<i>ApiKeyValue</i>	Chave de acesso à interface de programação de aplicações
<i>Array</i>	Arranjo de elementos em uma única linha ou coluna
<i>Bar</i>	Barra
<i>Body</i>	Corpo
<i>Boot</i>	Processo de inicialização de um computador
<i>Bootstrap</i>	Conjunto de bibliotecas para desenvolvimento de interfaces para sites
<i>Container</i>	Delimitador abstrato de objetos dentro da programação
<i>Data</i>	Dados
<i>Database</i>	Banco de dados
<i>Database_connection.php</i>	Código em PHP que permite conexão ao banco de dados
<i>Datalogger</i>	Equipamento de coleta e armazenamento de dados
<i>Datasheet</i>	Folha de especificações técnicas de um equipamento
<i>Datepickers</i>	Calendário interativo para seleção de datas
<i>Dht.h</i>	Biblioteca de programação do DHT
<i>DHT11</i>	Sensor de temperatura e umidade de baixo custo
<i>Dopagem N</i>	Dopagem eletrônica com cargas negativas
<i>Dopagem P</i>	Dopagem eletrônica com cargas positivas
<i>Download</i>	Baixar um arquivo disponível em outro dispositivo
<i>Drawcharts</i>	Função que desenha gráficos
<i>Echo</i>	Comando utilizado para exibir mensagens em tela ou arquivo
<i>Excel</i>	Editor de planilhas produzido pela Microsoft para computadores
<i>Float</i>	Formato de variável que contém números reais
<i>Footer</i>	Rodapé
<i>From</i>	De algum lugar, momento.
<i>Google charts</i>	Biblioteca do Google que permite desenhar gráficos
<i>Hardware</i>	Parte física de um equipamento
<i>Heading tags</i>	Etiquetas de títulos

Http.POST	Função da biblioteca HTTP que permite envio de dados
Httpclient.h	Biblioteca de programação HTTP
<i>HttpRequestData</i>	Vetor de informações a serem enviadas para o banco de dados
Index.php	Código em PHP que organiza a página principal do site
<i>Internet</i>	Sistema global de rede de computadores
JavaScript	Linguagem de programação orientada a objetos
JQuery	Biblioteca de funções do JavaScript que interage com HTML
<i>Layout</i>	Projeto gráfico
<i>Link</i>	Ligação que te encaminha para uma página na internet
<i>Loop</i>	Ciclo
Math.h	Biblioteca de programação de contas matemáticas
<i>One-Wire</i>	Comunicação de dados utilizando apenas um fio
<i>Online</i>	Disponível via conexão de internet
P-I-N	Dopagem eletrônica de camada positiva-intrínseca-negativa
<i>POST</i>	Método HTML para envio de informações
POST.php	Código em PHP que trata o envio de dados até o banco de dados
<i>Protoboard</i>	Placa de conexões internas para montagem de circuitos
<i>Range</i>	Diferença entre um valor máximo e mínimo de um instrumento
<i>Ready</i>	Função “Pronto”, executada após carregamento da página
<i>Script</i>	Linguagem de programação estruturada
Serial.println()	Função de envio de dados através da comunicação serial
<i>Setup</i>	Configuração inicial da máquina
<i>Shield</i>	Módulos que podem ser acoplados à placa Arduino
<i>Site</i>	Endereço eletrônico de página disponível na internet
<i>Software</i>	Parte lógica de um equipamento
Style.css	Código que define o estilo gráfico do site
tensao	Variável virtual que armazena a tensão
<i>Title</i>	Título
<i>To</i>	Para algum lugar, momento
<i>Void loop</i>	Função que não retorna resposta, executada em ciclos
<i>Web</i>	Nome para rede mundial de computadores, internet.
Wifi.h	Biblioteca de programação para acesso <i>Wi-Fi</i>

APÊNDICE A – Código Arduino UNO

```
#include <dht.h>           // inclui biblioteca do DHT
#include <math.h>          // inclui biblioteca de contas matematicas
#define dht_pin 2         // DHT11 conectado no pin 2 do Arduino
dht DHT;                  //Criou o objeto DHT
//Variaveis globais
// DHT
float temperatura = 0.0;
float umidade = 0.0;
//LDR
float ldr;
float tensao;
float rad;
//Chave do post-data.php
String apiKeyValue = "chave";
void setup() {
    Serial.begin(115200);
    delay(2000);
}
void loop() {
    //TEMPERATURA E UMIDADE
    DHT.read11(dht_pin);           //Le as informações do sensor
    temperatura = DHT.temperature; //Pega informação de temperatura
    umidade = DHT.humidity;        //Pega informação de umidade
    //IRRADIANCIA
    int ldr = analogRead(A0);
    float tensao = ldr*(5.0/1023.0);
    //float rad = 4464.9*pow(M_E, (-17.73*tensao));
    float rad = 4464.9*exp(-17.73*tensao);
    String httpRequestData = "api_key=" + apiKeyValue + "&value1=" +
String(temperatura) + "&value2=" + String(umidade) + "&value3=" +
String(rad) + "";
    Serial.println(httpRequestData);
    delay(300000);
}
```

APÊNDICE B – Código ESP32

```
#include <WiFi.h>
#include <HTTPClient.h>
// Conexão wifi
const char* ssid      = "usuário";
const char* password = "senha";
// Conexão post-data.php
const char* serverName = "http://nycollas.000webhostapp.com/post-data.php";
void setup() {
    Serial.begin(115200);
    WiFi.begin(ssid, password);
    while(WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(100);
    }
}
void loop() {
    if (Serial.available() > 0){
        String httpRequestData = Serial.readStringUntil('\r');
        while(WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
            WiFi.begin(ssid, password);
            delay(100);
        }
        if(WiFi.status() == WL_CONNECTED){
            //Inicia o HTTP
            HTTPClient http;
            http.begin(serverName);
            http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");
            // Enviando a mensagem HTTP
            int httpResponseCode = http.POST(httpRequestData);
            http.end();
        }
    }
}
```


APÊNDICE C – Código site

INDEX.PHP

```
<?php
//index.php
date_default_timezone_set('America/Sao_Paulo');
include("database_connection.php");
?>
<!DOCTYPE html>
<html>
    <head>
        <meta http-equiv="Content-type" value="text/html; charset=UTF-8" />
        <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1,
maximum-scale=1"/>
        <title>Estação Solarimétrica - IFG Itumbiara</title>
        <link rel="stylesheet"
href="https://maxcdn.bootstrapcdn.com/bootstrap/3.3.7/css/bootstrap.min.css
">
        <link rel="stylesheet"
href="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/jqueryui/1.12.1/jquery-
ui.css"/>
        <link rel="stylesheet" type="text/css" href="css/style.css">
        <script src="https://code.jquery.com/jquery-1.12.4.js"></script>
    </head>
    <body>
        <nav class="menu">
            
        </nav>
        <br/>
        <div class="container">
            <h3 align="center">Estação Solarimétrica - IFG Itumbiara</h3>
            <br/>
            <h4 align="center">Selecione um intervalo de tempo para
visualizar as medições</h4>
            <br/>
            <div class="bar">
                <input type="text" name="From" id="From" class="form-control"
placeholder="Do dia" style="width:120px;min-width:80px;"/>
                <input type="text" name="to" id="to" class="form-control"
placeholder="Ao dia" style="width:120px;min-width:80px;"/>
            </div>
        </div>
    </body>
</html>
```

```

        <input type="button" name="range" id="range" value="Buscar" class="btn
btn-success" style="width:120px;min-width:80px;"/>
    </div>
</br></br>
    <div class="g" style="width=device-width, initial-scale=1;">
        <div id="chart_1" class="g1" style="width=device-width,
initial-scale=1; height: 300px;"></div>
        </br>
        <div id="chart_2" class="g2" style="width=device-width,
initial-scale=1; height: 300px;"></div>
        </br>
        <div id="chart_3" class="g3" style="width=device-width,
initial-scale=1; height: 300px;"></div>
        </div>
    </div>

<script
src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/jquery/3.1.1/jquery.min.js"></s
cript>
<script src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/jqueryui/1.12.1/jquery-
ui.js"></script>

<footer class="rodape">
    TCC desenvolvido por Nycollas Kaíque - 2020
</footer>
</body>
</html>

<script type="text/javascript"
src="https://www.gstatic.com/charts/loader.js"></script>
<script type="text/javascript">
google.charts.load('current', {packages: ['corechart', 'line']});
google.charts.setOnLoadCallback(drawChart);

function ajax(From,to)
{
    $.ajax({
        url:'busca.php',
        method:'POST',
        data:{From:From, to:to},
        dataType:'JSON',

```

```

        success:function(data)
        {
            drawChart(data);
        },
        error:function(data)
        {
            alert("Erro! Não há medições!");
        }
    });
}

function drawChart(chart_data)
{
    var jsonData = chart_data;
    //gráfico TEMPERATURA
    var data = new google.visualization.DataTable();
    data.addColumn('string', 'dia');
    data.addColumn('number', 'temperatura');
    var numRows = jsonData.length;
    for (var i = 1; i < numRows; i++)
        data.addRow([[jsonData[i].dia,jsonData[i].temperatura]]);
    var options = {
        title:"Temperatura",
        hAxis: {
            title: "Data"
        },
        vAxis: {
            title: "Temperatura °C"
        }
    };
    var chart = new
google.visualization.LineChart(document.getElementById('chart_1'));
    chart.draw(data, options);

    //gráfico UMIDADE
    var data = new google.visualization.DataTable();
    data.addColumn('string', 'dia');
    data.addColumn('number', 'umidade');
    var numRows = jsonData.length;
    for (var i = 1; i < numRows; i++)
        data.addRow([[jsonData[i].dia,jsonData[i].umidade]]);
    var options = {

```

```

        title:"Umidade",
        hAxis: {
            title: "Data"
        },
        vAxis: {
            title: "Umidade %"
        }
    };

    var chart = new
google.visualization.LineChart(document.getElementById('chart_2'));
    chart.draw(data, options);

    //gráfico IRRADIANCIA
    var data = new google.visualization.DataTable();
    data.addColumn('string', 'dia');
    data.addColumn('number', 'irradiancia');
    var numRows = jsonData.length;
    for (var i = 1; i < numRows; i++)
        data.addRow([[jsonData[i].dia,jsonData[i].irradiancia]]);
    var options = {
        title:"Irradiância",
        hAxis: {
            title: "Data"
        },
        vAxis: {
            title: "Irradiancia (W/m²)"
        }
    };

    var chart = new
google.visualization.LineChart(document.getElementById('chart_3'));
    chart.draw(data, options);
}

</script>

<script>
$(document).ready(function() {
$.datepicker.setDefaults({
    dateFormat: 'yy-mm-dd'

```

```

    });
    $(function() {
        $("#From").datepicker();
        $("#to").datepicker();
    });
    $('#range').click(function() {
        var From = $('#From').val();
        var to = $('#to').val();
        if(From != '' && to != '')
        {
            ajax(From,to);
        }
        else
        {
            alert("Por favor, selecione a data!");
        }
    });
});
</script>

```

BUSCA.PHP

```

<?php
//busca.php
date_default_timezone_set('America/Sao_Paulo');
header('Content-type: application/json; charset=UTF-8');
include('database_connection.php');

if(isset($_POST["From"],$_POST["to"]))
{
    $From = ($_POST["From"]);
    $to = ($_POST["to"]);
    $query = "SELECT * FROM Sensor WHERE reading_time BETWEEN '". $From ."
00:00:00' AND '". $to ." 23:59:59' ORDER BY reading_time ASC";

    $statement = $connect->prepare($query);
    $statement->execute();
    $result = $statement->fetchAll();
    foreach($result as $row)
    {
        $output[] = array(
            'id' => $row["id"],

```

```

        'temperatura' => floatval($row["value1"]),
        'umidade' => floatval($row["value2"]),
        'irradiancia' => floatval($row["value3"]),
        'dia' => $row["reading_time"]
    );
}
echo json_encode($output);
}
else{
    echo "Não foram encontradas medições!";
}
?>

```

STYLE.CSS

```

@media only screen and (min-width: 1200px) {
    body {
        margin: 0;
    }

    .logo{
        height:90px;
        float:right;
    }

    .menu{
        background-color:#fff966;
        width:100%;
        height:90px;
    }

    .g{
        margin-left: auto;
        margin-right: auto;
        justify-content: center;
        align-items: center;
    }

    .g1{
        border:1px solid #BEBEBE;
        border-radius: 7px;
    }

    .g2{
        border:1px solid #BEBEBE;
        border-radius: 7px;
    }
}

```

```
.g3{
  border:1px solid #BEBEBE;
  border-radius: 7px;
}
.bar{
  display: flex;
  flex-direction: row;
  justify-content: center;
  align-items: center;
}
.bar input{
  width:10%;
  margin-right: 10px;
}
.rodape{
  display: flex;
  flex-direction: row;
  justify-content: center;
  align-items: center;
  background-color:#fff966;
  margin-top: 40px;
}
}
```