

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

MICHAEL NUNES FIGUEIRÓ

**PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE ESTAÇÃO METEOROLÓGICA COM RTC
E COMUNICAÇÃO WI-FI**

SÃO LEOPOLDO

2022

Michael Nunes Figueiró

PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE ESTAÇÃO METEOROLÓGICA COM RTC E
COMUNICAÇÃO WI-FI

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Elétrica, pelo Curso de
Engenharia Elétrica, da Universidade do
Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. João Olegário de
Oliveira de Souza

São Leopoldo

2022

AGRADECIMENTOS

Desejo expressar meus agradecimentos:

Primeiramente a Deus, por tem me guiado e me dado forças para chegar até este momento.

Aos meus pais, Júlio Cesar Severo Figueiró e Neuza Prates Nunes, por terem me ensinado a ser uma pessoa íntegra e sempre terem me apoiado em todas minhas decisões.

Ao meu companheiro e melhor amigo Jonathan Tafarel de Souza Carpes, por ter me apoiado a cada momento, em cada situação difícil. Por estar sempre ao meu lado, ter me motivado, acreditado em mim e contribuído com meu crescimento pessoal e espiritual.

Aos amigos e colegas, Juliane de Araújo dos Santos e Thales Augusto Gelingier, por terem me apoiado e acreditado em mim. Por cada momento difícil que passamos juntos e por tudo que vivemos nesta caminhada. Se em algum momento desanimamos, isso já não existe mais, aqui estamos e fomos juntos até o final.

Ao professor e orientador João Olegário de Oliveira de Souza, por ter acreditado em meu potencial, apoiado e instruído cada etapa deste processo.

Ao professor e amigo Régis da Silva Guterres (*in memoriam*), por ter me ensinado a ser um profissional, por cada instrução e conselho. Por cada abraço caloroso e sorriso acolhedor, onde quer que você esteja, saiba que tens uma pessoa eternamente grata por tudo que você foi e sempre será, um exemplo de ser humano, íntegro e batalhador, que amava a vida e a família. Obrigado por ter nos acolhido e ter feito da turma EM2 uma extensão da sua família.

E a todos que fizeram parte desta caminhada de maneira direta ou indireta que acreditaram em mim, por cada palavra de ajuda e cada conselho, minha eterna gratidão.

RESUMO

A crescente preocupação com o meio ambiente, traz consigo uma busca incessante por fontes de energia limpa e sustentável. O setor de geração de energia com sistemas solares é um dos mais visados devido à grande incidência de irradiação solar no território nacional. Assim, criam-se expectativas para a construção de parques solares, mas, primeiramente, devemos realizar um estudo das grandezas físicas presentes na região para analisar se um projeto de implantação é viável.

Deste modo, a utilização de estações meteorológicas se faz necessária para que haja uma análise precisa e uma previsão de geração de energia do sistema.

Para atender a demanda exposta, no projeto é desenvolvida uma estação meteorológica de baixo custo, que efetuará medições das grandezas físicas que influenciam diretamente na geração de energia. Os dados coletados são disponibilizados em duas plataformas online, onde é possível efetuar o acompanhamento das grandezas analisadas em um determinado período, assim pode ser feita uma análise crítica de suas variações e onde podemos emitir relatórios completos das amostras que são apresentadas nos gráficos. As informações obtidas por cada sensor do protótipo da estação meteorológica foram validadas com base em instrumentos dedicados e calibrados de medição e dados técnicos disponibilizados em site meteorológico na internet. Após a validação das informações e cálculos de desvio padrão e média para cada amostra, podemos afirmar que as variações das medições estão dentro dos padrões estabelecidos pelo fabricante dos sensores. Assim é demonstrada a viabilidade técnica da utilização dos dados para previsão de geração de energia a partir de um protótipo de baixo custo.

Palavras-chave: Estação meteorológica, Protótipo, Grandezas físicas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Total diário de irradiação global horizontal.....	11
Figura 2 – Estação meteorológica automática.....	16
Figura 3 – Estação meteorológica convencional.....	17
Figura 4 – Fluxograma de desenvolvimento projeto.....	19
Figura 5 – Protótipo estação meteorológica.....	19
Figura 6 – Esquema do sistema desenvolvido.....	20
Figura 7 – Interface gráfica desenvolvida no ScadaBR.....	21
Figura 8 – Gráficos ThingSpeak.....	22
Figura 9 – Esquema de ligação estação meteorológica.....	23
Figura 10 – Tela de monitoramento estação meteorológica.....	23
Figura 11 – Módulo ESP32.....	25
Figura 12 – Diagrama de blocos ESP32.....	26
Figura 13 – Módulo RTC DS3231.....	27
Figura 14 – Curva I-V (para uma irradiância de 1.000 W/m ²).....	28
Figura 15 – Fluxo de potência global (em W/m ²).....	30
Figura 16 – Componentes de radiação solar.....	31
Figura 17 – Espectros de irradiância.....	32
Figura 18 – Influência irradiação solar em células fotovoltaicas de silício cristalino..	33
Figura 19 – MQTT visão geral.....	34
Figura 20 – Página inicial ThingSpeak.....	35
Figura 21 – Página inicial Blynk.....	36
Figura 22 – Diagrama de blocos estação meteorológica.....	37
Figura 23 – Display LCD 16x2.....	38
Figura 24 – Sensor DHT22 / AM2302.....	39
Figura 25 – Sensor BMP280.....	39
Figura 26 – Mini célula fotovoltaica.....	40
Figura 27 – Fluxograma de funcionamento do protótipo.....	41
Figura 28 – Esquemático da estação meteorológica.....	43
Figura 29 – Protótipo estação meteorológica – parte 1.....	44
Figura 30 – Protótipo estação meteorológica – parte 2.....	44
Figura 31 – Protótipo estação meteorológica – completo.....	45
Figura 32 – Interface aplicativo Blynk.....	46
Figura 33 – Personalização do período.....	46

Figura 34 – Interface gráfica aplicativo Blynk via smartphone.....	47
Figura 35 – Interface ThingSpeak.....	48
Figura 36 – Cabeçalho arquivo exportado via aplicativo.....	48
Figura 37 – Gráficos ThingSpeak.....	49
Figura 38 – Termo-higrômetro Instrutherm.....	50
Figura 39 – Validação dados de temperatura.....	51
Figura 40 – Validação dados de umidade.....	52
Figura 41 – Dados meteorológicos de Montenegro no dia 23/10/2022.....	54
Figura 42 – Leitura de pressão atmosférica no protótipo.....	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Materiais utilizados na montagem do protótipo e respectivos valores....	42
Quadro 2 – Estações meteorológicas comerciais e respectivos valores.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Amostras de temperatura sensor e termo-higrômetro.....	51
Tabela 2 – Amostras de umidade sensor e termo-higrômetro.....	52
Tabela 3 – Validação dados de temperatura.....	53
Tabela 4 – Validação dados de umidade.....	53

LISTA DE SIGLAS

FV	Fotovoltaico
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
GW	Giga Watt
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das coisas)
RTC	<i>Real Time Clock</i> (Relógio de Tempo Real)
PHP	<i>Personal Home Page</i>
CSS	<i>Cascading Style Sheet</i> (Folhas de estilo em cascata)
HTML	<i>HyperText Markup Language</i> (Linguagem de marcação de hipertexto)
XLS	<i>Extensible Style Language</i> (Linguagem de estilo extensível)
INMET	Instituto nacional de meteorologia
PWM	Pulse-Width Modulation (Modulação por largura de pulso)
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i> (Entrada e saída de uso geral)
LoRa	<i>Long Range</i> (Longo alcance)
km	Quilômetro
I2C	<i>Inter-Integrated Circuit</i> (Circuito interintegrado)
SDA	<i>Serial Data</i> (Dado serial)
SCL	<i>Serial Clock</i> (Relógio serial)
C	Celsius
V	Volt
I	Corrente
W	Watt
m	Metro
WRC	<i>World Radiation Center</i> (Centro mundial de radiação)
IBM	<i>International Business Machine</i> (Corporação internacional de máquinas de negócios)
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i> (Transporte de telemetria de enfileiramento de mensagens)
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i> (Protocolo de controle de transmissão)
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i> (Display de cristal líquido)
mA	mili Amperè
NTP	<i>Network Time Protocol</i> (Protocolo rede de tempo)

HVAC *Heating, Ventilating and Air Conditioning* (Aquecimento, ventilação e ar condicionado)

UFC Universidade Federal do Ceará

SUMÁRIO

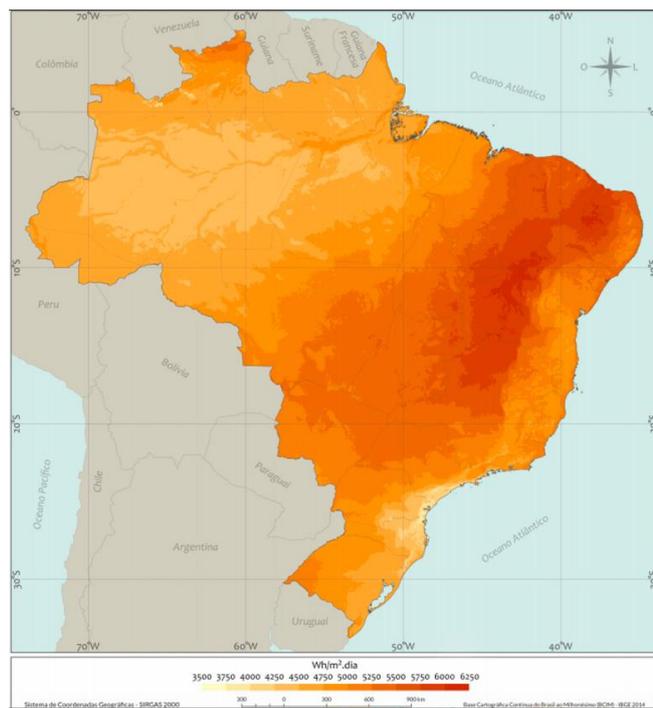
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivos	13
1.1.1 Objetivos gerais	13
1.1.2 Objetivos específicos	13
1.2 Delimitações	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 Sistemas Fotovoltaicos	15
2.2 Estado da Arte	18
2.3 Sistemas Embarcados	24
2.3.1 ESP32	25
2.3.2 Real Time Clock (RTC)	26
2.4 Instrumentação	27
2.4.1 Temperatura ambiente	27
2.4.2 Umidade do ar	28
2.4.3 Pressão atmosférica.....	29
2.4.4 Irradiância solar	29
2.5 Protocolos de comunicação	33
2.5.1 MQTT	33
2.6 Supervisório	34
2.6.1 ThingSpeak	34
2.6.2 Plataforma Blynk	35
3 METODOLOGIA	37
3.1 Fluxograma do sistema	41
3.2 Viabilidade econômica	42
3.3 Montagem do protótipo	43
3.4 Supervisório e banco de dados	45
4 TESTES REALIZADOS	50
5 CONCLUSÃO	55
5.1 Trabalhos futuros	55
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

1 INTRODUÇÃO

A incessante busca pela preservação e cuidado com o meio ambiente, traz consigo a crescente necessidade de diversificação da matriz energética no Brasil (Nascimento, 2017). Esta procura por alternativas para geração de energia sustentável traz grande visibilidade aos sistemas fotovoltaicos (FV), tanto para residências particulares, quanto para pequenos negócios e até mesmo para indústrias.

O Brasil pode ser citado como um grande potencial para geração de energia solar, visto que o país recebe uma quantidade considerável de irradiação solar, conforme mostrado na figura 1.

Figura 1 - Total diário de irradiação global horizontal.



Fonte: Atlas solar (2017)

A irradiação solar pode ser citada como um dos fatores que mais influenciam na geração de energia elétrica com sistemas FV. A geração de energia sustentável no Brasil é uma realidade, visto que as hidrelétricas geram 65,2% da energia elétrica no Brasil (BEN, 2021). Porém há períodos que a escassez de água influencia diretamente nos reservatórios das hidrelétricas, neste momento a geração de energia

em parques solares seria uma alternativa, sendo que nestes períodos a intensidade da irradiação solar aumenta (INPE, 2017).

Para que possamos prever a quantidade de energia gerada por usinas solares em tempos de baixa intensidade de chuvas no país, pode-se utilizar uma estação meteorológica ou estação solarimétrica. Uma estação meteorológica é um equipamento que analisa grandezas físicas do ambiente em que está localizada. Grandezas estas que tem influência direta sobre a geração de energia com sistemas FV, tais como temperatura ambiente, umidade do ar, pressão atmosférica e irradiância solar, citado anteriormente. Estes dados coletados podem ser analisados e, com isso, gerar previsões de geração de energia em períodos específicos do ano.

Em grandes parques solares, o monitoramento das grandezas físicas e potenciais falhas do sistema são feitos com equipamentos dedicados. O que, conseqüentemente, faz com que o equipamento tenha um custo elevado. A previsão de geração de energia é importante não apenas para usinas de geração solar, mas também para usinas de geração eólica. A variação dos ventos torna o processo de previsão de geração de energia eólica mais complexo (Zhang *et al.*, 2014). Porém esta previsão é de grande importância, pois pode ser utilizada a curto ou a longo prazo, sendo a longo prazo para execução de manutenção em redes ou planejamento de manutenção em parques eólicos (LEI *et al.*, 2009).

Assim, a implementação de uma estação meteorológica pode ser feita em qualquer sistema em que necessite de controle de grandezas físicas, visando um dispositivo confiável e acessível, para previsões futuras a partir de dados coletados e analisados.

Há no mercado estações robustas de análise meteorológica, porém com um elevado valor comercial. Assim torna-se inviável que todo sistema tenha um equipamento, porém, com o advento da tecnologia e a acessibilidade à dispositivos e sensores, é possível que seja desenvolvido uma estação com valores acessíveis e que entregarão o resultado esperado.

Os dados obtidos pela estação meteorológica serão utilizados para gerar uma previsão de geração de energia baseado em séries temporais, para isso é necessário um banco de dados com informações climáticas e de geração de energia no período para que seja possível efetuar a previsões assertivas. Outra ferramenta para que se destaca neste processo de previsão de geração de energia são as redes neurais artificiais (Bastos *et al.* 2020). Segundo Haykin (2007) a rede neural artificial é capaz

de adquirir e armazenar conhecimento para uso futuro, pois é um processador paralelamente distribuído que é constituído por unidades simples de processamento.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos gerais

Realizar um estudo e prototipação de uma estação meteorológica com levantamento de dados, bem como temperatura, umidade, pressão atmosférica e irradiância solar, para previsões de geração de energia elétrica a partir de sistemas fotovoltaicos, viabilizado com um suporte de baixo custo.

1.1.2 Objetivos específicos

- Estudo de viabilização para a montagem de uma estação meteorológica com materiais acessíveis e plataforma de prototipagem eletrônica de *hardware* livre.
- Projetar e implementar medidores de grandezas físicas como temperatura, irradiância, pressão e umidade;
- Desenvolver um sistema de aquisição e comunicação;
- Desenvolver sistema supervisor;
- Testar e validar o protótipo desenvolvido;
- Disponibilizar os dados em plataforma *online*.

1.2 Delimitações

O desenvolvimento deste trabalho, será focado em prototipação, execução e coleta de dados. As análises das informações coletadas, bem como a previsão de geração de energia, serão desenvolvidas em outras duas etapas de trabalho de conclusão futuros. A estruturação do presente trabalho é apresentada a seguir.

Capítulo 1, contextualiza a situação atual do Brasil frente a geração de energia de maneira sustentável e qual o papel de uma estação meteorológica no contexto da geração de energia e previsões futuras. Capítulo 2, traz a fundamentação teórica,

onde são descritos os sistemas fotovoltaicos, dados de geração de energia no país, informações sobre estações meteorológicas e sua importância no contexto dos sistemas solares, sistemas embarcados com descrição dos componentes que serão utilizados no desenvolvimento do protótipo, instrumentação com a descrição dos sensores que serão utilizados no protótipo e protocolos de comunicação utilizados. Capítulo 3, detalha a metodologia utilizada no desenvolvimento do projeto, diagramas de blocos, descrição de funcionamento do protótipo e fluxograma do processo. Capítulo 4, a validação dos dados coletados pela estação meteorológica, com evidência do método de medição e comparação. Capítulo 5, a conclusão do desenvolvimento e resultados do projeto e sugestões de trabalhos futuros. Capítulo 6, revisão bibliográfica, onde são citados todos os materiais utilizados na pesquisa e no estudo do tema proposto, como artigos, textos, trabalhos e páginas de internet.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Sistemas Fotovoltaicos

O sol é uma fonte de energia abundante, o que faz com que a geração de energia fotovoltaica seja uma das que mais cresce (Merten, 2018). Segundo dados da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) em 2021, no Brasil foram gerados 3,5 GW de potência instalada em sistemas residenciais, tanto em casa, quanto em fachadas e pequenos terrenos (ITSOLAR, 2022).

Os sistemas solares no país geram mais de 70% de toda potência da usina hidrelétrica de Itaipu, segundo a ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica), com previsão de alcançar a capacidade da hidrelétrica em setembro de 2022 (Folha de S. Paulo, 2022).

Buscando um melhor desempenho na geração de energia a partir de módulos fotovoltaicos temos que entender a relação entre as grandezas físicas do ambiente e como elas impactam no sistema FV. A irradiação de luz solar, temperatura ambiente, pressão atmosférica, entre outras grandezas não controláveis impactam diretamente na geração de energia (Cantor, 2017).

Para grandes parques de geração de energia com sistema FV, são utilizados instrumentos de coleta de dados para monitoramento e avaliação de desempenho da usina, que são em sua maioria instrumentos com alto valor agregado (Frontin, 2017). Visto o crescimento de sistemas FV em pequenas e médias construções, se faz necessário um monitoramento das grandezas físicas que seja acessível e de baixo custo.

Existem dois tipos de estações meteorológicas: as automáticas e as convencionais. Automáticas são as estações onde são utilizados sensores eletrônicos para efetuar as medições das grandezas físicas, sendo estes dados enviados para uma central, onde são tratados, assim permitindo análise das condições climáticas (Mundoclima, 2017), mostrada na figura 2.

Figura 2 - Estação meteorológica automática.



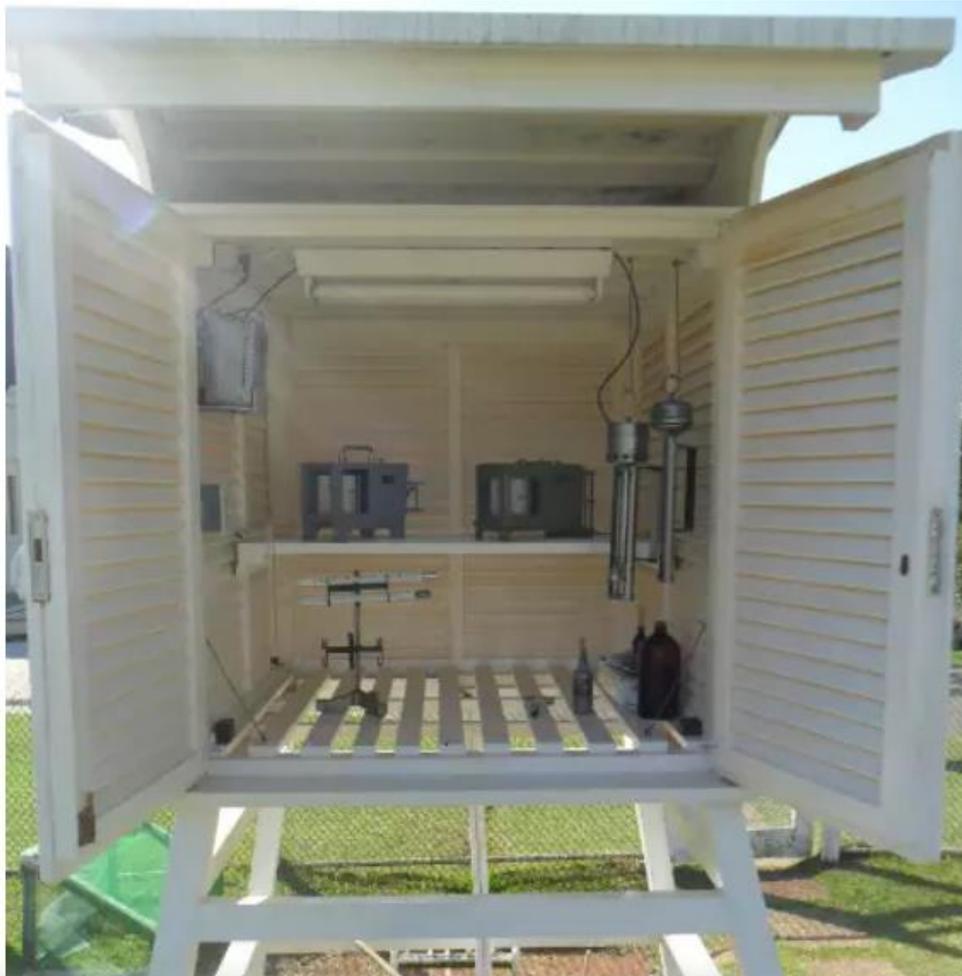
Fonte:AgSolve (c2022)

Fazem parte de uma estação meteorológica automática:

- Sensor de temperatura e umidade relativa do ar;
- Sensor de precipitação;
- Sensor de radiação solar global;
- Sensor de velocidade e direção do vento;
- Sensor de pressão atmosférica;
- Sensor de temperatura e umidade do solo;
- Sensor de molhamento foliar.

Nas estações convencionais o monitoramento é feito de forma presencial, onde o técnico coleta os dados quatro vezes por dia utilizando instrumentos adequados situados em cada área, sistematizando as informações e criando um banco de dados (Mundoclima, 2017), mostrada na figura 3.

Figura 3 - Estação meteorológica convencional.



Fonte: Rocha, V. (2014)

Fazem parte da estação meteorológica convencional os sensores citados abaixo:

- Barômetro;
- Anemômetro;
- Termômetro;
- Higrômetro;
- Psicrômetro;
- Pluviômetro;
- Evaporímetro;
- Heliógrafo;
- Actinógrafo.

Uma estação meteorológica pode ser dividida em três partes principais: sensores, registradores e comunicação. Onde os sensores transformam eventos

físicos em sinais elétricos ou eletrônicos. Um sistema de monitoramento em tempo real pode, além de avaliar desempenho, identificar falhas no sistema ou no projeto (Frontin, 2017).

Segundo Rampinelli *et al.* (2016), a avaliação dos recursos solar e eólico disponíveis em uma determinada área é de extrema importância na etapa de decisão de um projeto de sistemas fotovoltaicos e eólicos. Caracterizar os recursos permite estimativas precisas de dados econômicos e energéticos futuros para os sistemas, que são de suma importância para a viabilização de projetos.

Os dados de caracterização dos recursos de uma localidade que servirão de base para os estudos de viabilidade, são coletados a partir de estações meteorológicas (Araújo *et al.* 2020).

Para Tiba *et al.* (2014), ao iniciar o projeto de uma usina fotovoltaica, o recurso solar deve ser o primeiro aspecto analisado, após o estudo são verificadas questões de disponibilidade de terreno, proximidade de linhas de transmissão e acesso para transporte de equipamentos.

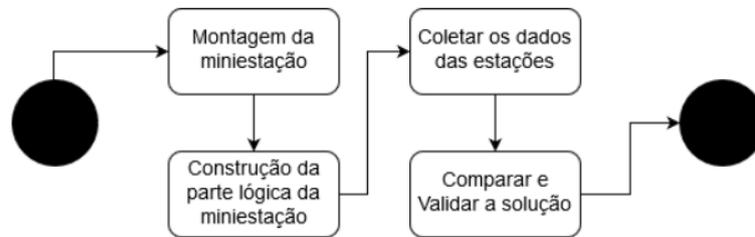
Deste modo, uma estação meteorológica é responsável por coletar dados consideráveis para tomada de decisões quando está em pauta a disponibilidade de recursos para a construção de parques solares. Partindo das informações obtidas é possível a análise dos períodos de maior incidência de luz solar, de variação de temperatura, de umidade do ar, dentre outros fatores que afetam diretamente na geração de energia e na eficiência das placas solares.

2.2 Estado da Arte

Nesta seção serão apresentados trabalhos que tiveram desenvolvimento de sistemas para estações meteorológicas para diversas aplicações, mas que se assemelham devido ao levantamento de dados a partir de um sistema de baixo custo.

No trabalho de Moreira (2019) foi implementada uma miniestação meteorológica de baixo custo para análise dos recursos hídricos na agricultura. O desenvolvimento partiu do fluxograma apresentado na figura 4, onde são descritos os procedimentos que serão executados até a comparação e a validação dos dados obtidos.

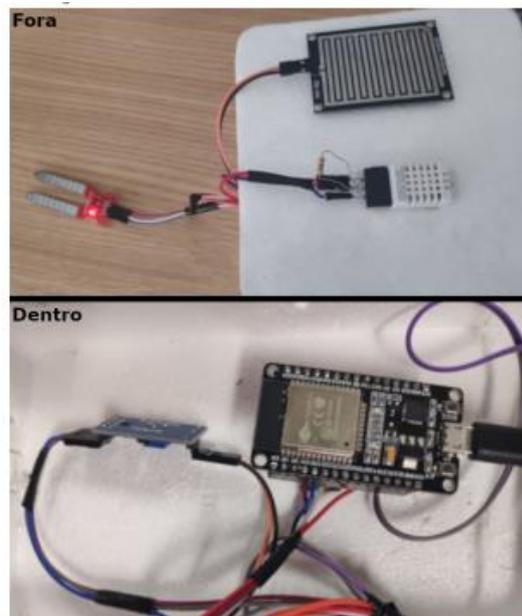
Figura 4 - Fluxograma de desenvolvimento projeto.



Fonte: Moreira, E. (2019)

O protótipo da miniestação utilizou um módulo ESP32 com recursos Wi-Fi para coletas de dados. Para a leitura das variáveis, foram utilizados sensor de temperatura e umidade DTH22, sensor de temperatura e umidade CS215 (para comparação de leituras), sensor de chuva YL-83 e um sensor de umidade de solo. A figura 5, apresenta a montagem do protótipo desenvolvido no projeto.

Figura 5 - Protótipo estação meteorológica



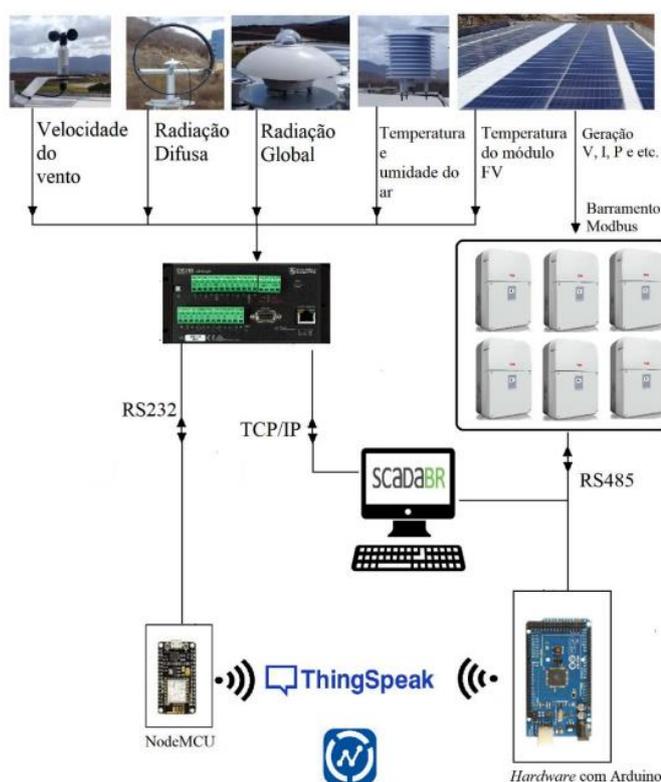
Fonte: Moreira, E. (2019)

O protótipo foi montado dentro de uma caixa de isopor, para que a parte eletrônica ficasse protegida, enquanto os sensores efetuam as leituras. Foi desenvolvido, também, um *data logger* utilizando a memória *flash* do ESP32. Os dados são lidos a cada 60 s e são armazenados temporariamente em vetores, após 60 min são salvos na memória do microcontrolador.

A coleta dos dados foi feita por 24 h e comparado com os dados coletados no mesmo período pela estação meteorológica do Campus da UFC (Universidade Federal do Ceará) de Quixadá. Conclui-se que a miniestação é viável, visto que os dados obtidos pela estação meteorológica estão muito próximos dos dados obtidos pela miniestação, assim a implementação com baixo custo torna-se uma possibilidade, porém em trabalhos futuros será necessário fazer algumas melhorias para proteção dos sensores e do microcontrolador.

Em sua monografia Pontes (2021) implementa uma estação solarimétrica com um sistema supervisorio com SCADABR e plataforma IoT (*Internet of Things*) em usina fotovoltaica na UNILAB-CE, apresentando análise de desempenho do protótipo para aquisição dos dados e sistema de comunicação de baixo custo utilizando placas IoT. A figura 6 apresenta o todo o sistema desenvolvido com seus componentes.

Figura 6 - Esquema do sistema desenvolvido.

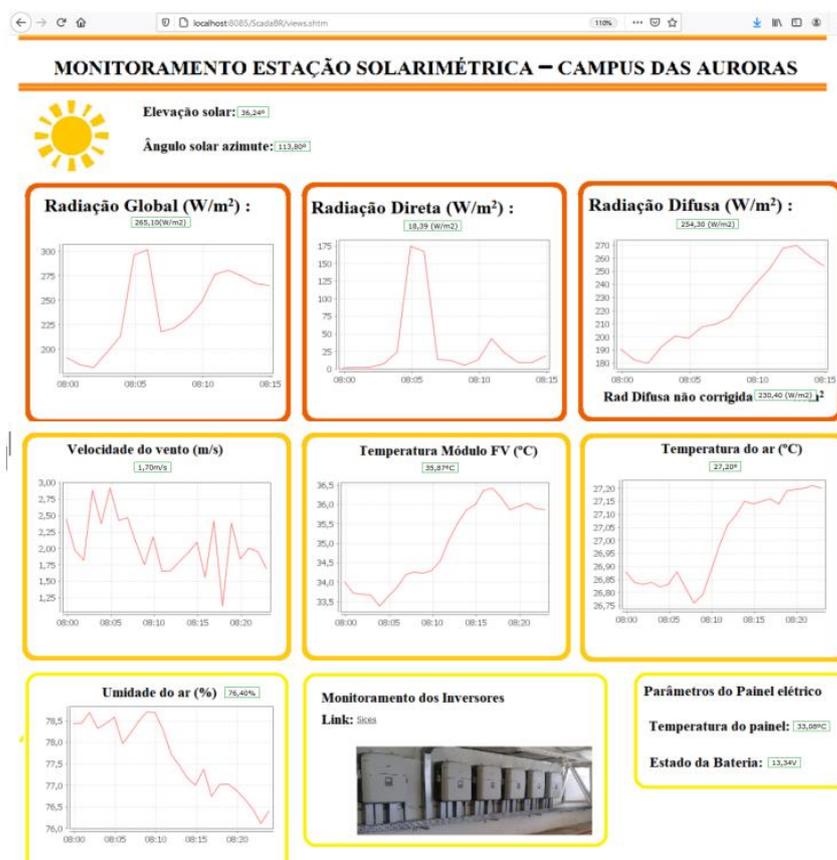


Fonte: Pontes, W. (2021)

O esquema acima mostra do *datalogger*, conectado aos sensores que fazem parte da estação meteorológica e a comunicação com o ScadaBR e com o NodeMCU ESP8266.

Foram desenvolvidas duas ferramentas para visualização dos dados obtidos pela estação meteorológica, um utilizando o ScadaBR e outro utilizando o *ThingSpeak*. Na figura 7 é apresentada a interface gráfica do supervisor ScadaBR e na figura 8 é apresentada a interface no *ThingSpeak*.

Figura 7 - Interface gráfica desenvolvida no ScadaBR.



Fonte: Pontes, W. (2021)

Figura 8 - Gráficos ThingSpeak.

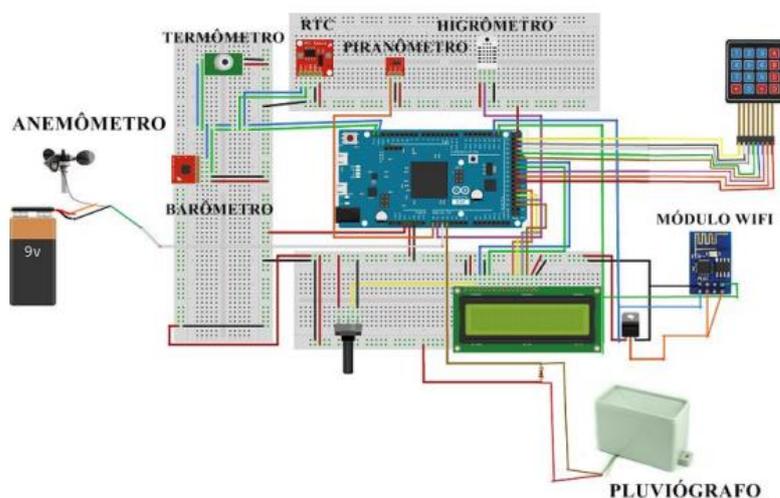


Fonte: Pontes, W. (2021)

A partir dos dados apresentados, concluiu-se que ambas ferramentas atendem seu propósito de acompanhamento das informações da estação meteorológica. O supervisório ScadaBR permite o monitoramento dos dados de forma fixa, por um computador, já o *ThingSpeak* permite acesso remoto via smartphone.

O trabalho de Da Silva *et al.* (2016) desenvolve uma estação meteorológica automática de baixo custo utilizando a plataforma Arduino DUE, RTC, comunicação *Wi-Fi* (módulo ESP8266), sensores de velocidade do vento, pressão atmosférica, umidade do ar, intensidade de luz solar, temperatura e precipitação atmosférica. A figura 9 mostra o esquema de ligação do protótipo desenvolvido.

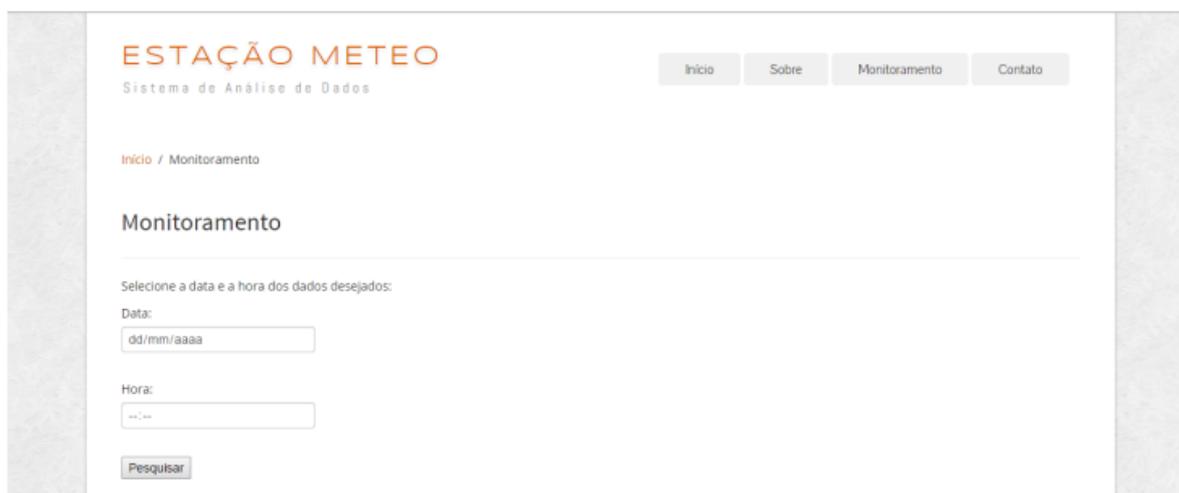
Figura 9 - Esquema de ligação estação meteorológica.



Fonte: Da Silva *et al.* (2016)

Para facilitar a consulta aos dados foi desenvolvido um ambiente em PHP, CSS3 e HTML5. O sistema permite gerar um arquivo XLS para tratar os dados. A figura 10 mostra a tela do sistema *web* desenvolvido.

Figura 10 - Tela de monitoramento estação meteorológica.



Fonte: Da Silva *et al.* (2016)

Concluiu-se que o desenvolvimento do protótipo de baixo custo não comprometeu em nada a qualidade dos dados obtidos. Os dados foram comparados com as informações do INMET e não houve nenhuma diferença relevante.

De acordo com as informações encontradas e analisada em cada um dos trabalhos apresentados, podemos citar que uma estação meteorológica pode ter diversas implementações. Os dados que serão analisados que vão informar o padrão das grandezas físicas de uma determinada localidade, assim viabilizando estudos para melhorar sistemas na agricultura, auxiliar na previsão do tempo, previsões futuras de geração de energia elétrica em usinas solares ou eólicas e até mesmo estudo para o projeto de implantação de usinas na localidade estudada.

Cada trabalho citado agrega no desenvolvimento do projeto desenvolvido, visto que Pontes (2021) utiliza um supervisor *ThingSpeak*, o mesmo que será utilizado para o acompanhamento dos dados obtidos no protótipo desenvolvido. Já Da Silva *et al.* (2016) e Moreira (2019) desenvolvem protótipos que utilizam sensores de temperatura e umidade, rede *Wi-Fi*, *datalogger*, sistemas *web* e sempre visando o baixo custo, que são os que mais se assemelham ao protótipo desenvolvido neste projeto.

2.3 Sistemas Embarcados

Nesta seção serão citados em detalhes todos os componentes que serão utilizados para a montagem do protótipo, dados de funcionamento, informações dos sistemas aplicados e imagens exemplificando cada componente.

Segundo Cunha (2017), um sistema embarcado é um dispositivo com capacidade computacional. Um sistema completo e independente, que foi programado para executar tarefas específicas. Tendo a possibilidade do usuário final interagir com o sistema através de teclados, *displays* ou qualquer outra interface conectada. Todavia para que o sistema tenha o funcionamento esperado, é necessário um microprocessador ou microcontrolador para controlar todo sistema, visto que ambos podem ser aplicados para leitura de sinais externos, processamento de sinais e execução de programas com tarefas.

A criação do Arduino, projeto desenvolvido pelo professor Massimo Banzi e pelo pesquisador David Cuartielles, partiu da necessidade de adquirir um equipamento barato para que alunos do curso de design pudessem trabalhar com tecnologia. A popularização das placas ocorreu devido à facilidade na manipulação do dispositivo e com valor acessível (Evans, 2013).

O equipamento é uma plataforma de *hardware open source*, que se baseia em uma linguagem de programação C/C++, com entradas digitais e analógicas, saídas digitais e PWM.

O Arduino tem diversas aplicações podendo controlar dispositivos, robótica e instrumentação embarcada. Utilizando um microcontrolador tem suas funções potencializadas, além de ser um equipamento muito versátil. Um dos pontos positivos do dispositivo é que temos acesso a placas nacionalizadas, o que torna o valor acessível, em vista das placas importadas (Souza *et al.*, 2011).

2.3.1 ESP32

Em setembro de 2016, a Espressif Systems lançou no mercado o módulo ESP32, um microcontrolador potente que suporta conexão com rede *Wi-Fi* e *bluetooth* 4.2, desenvolvido para ser um dispositivo IoT (Internet das Coisas) com amplas soluções e aplicações no mercado de comunicação e controle de dispositivos (Maier, 2017).

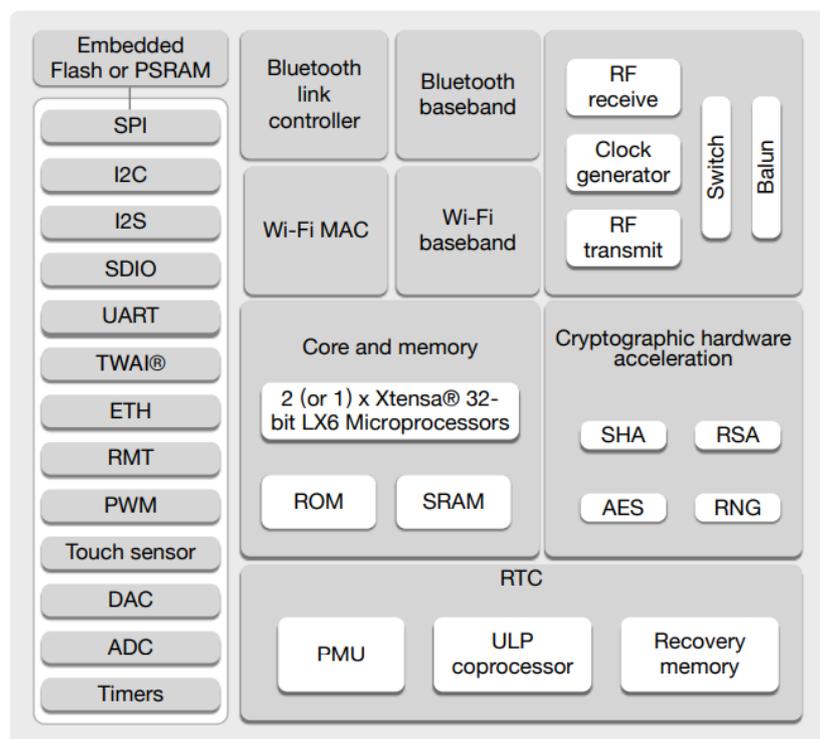
O módulo ESP32 utilizado no projeto é mostrado na figura 11, conta com 34 pinos GPIO (*general-purpose input/output*) que são portas programáveis definidas na programação se serão uma entrada ou uma saída de dados. Estas portas programáveis são a interface entre o microcontrolador e os dispositivos periféricos. Além dos pinos digitais programáveis, o ESP32 possui pinagem analógica habilitada, que podem ser configuradas como as GPIO digitais (Espressif, 2019).

Figura 11 – Módulo ESP32



Fonte: Oliveira, E. (2017)

Figura 12 - Diagrama de blocos ESP32.



Fonte: Espressif (2022).

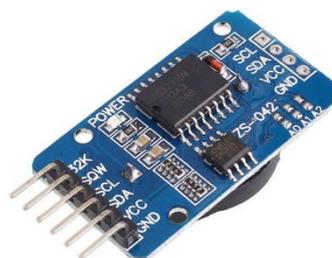
O diagrama de blocos apresentado na figura 12, descreve o funcionamento detalhado do componente ESP32. O sistema possui *dual core* e blocos dedicados para o controle do *Wi-Fi* e do *Bluetooth*. Pode-se realizar uma conexão com LoRa (*Long Range*) devido a aceleração de *hardware* para criptografia, o que pode alcançar distâncias de até 15km utilizando uma antena (Fernando K., 2018).

2.3.2 Real Time Clock (RTC)

O RTC (*Real Time Clock*) é um dispositivo que opera com uma bateria a parte do circuito de alimentação da placa principal, assim sua utilidade é manter informações como data e hora atualizados no sistema mesmo que a fonte de alimentação tenha sido desligada (Mahzan *et al.*, 2017). O RTC escolhido para o projeto é um relógio de baixo custo de energia e alta precisão, mostrado na figura 13. Agregado em sua placa, vem um cristal oscilador, que melhora a exatidão do componente, e um sensor de temperatura. Este módulo fornece dados de hora e data completos com ajustes automáticos para meses com 30 dias. Pode-se escolher o formato da hora que desejar, 12 h ou 24 h. Para transmissão de dados e endereço o sistema utiliza o protocolo I2C (Eletrogate, 2015).

O I2C é um protocolo de comunicação serial síncrono, muito utilizado para transferência de dados de baixa e média velocidade por periféricos integrados (Liu *et al.*, 2019). Trabalhando com uma tensão entre +3,3V e +5V, ele é um barramento serial multimestre, que utiliza duas linhas de transmissão sendo elas SDA (*Serial Data Line*) e SCL (*Serial Clock Line*) (Do Nascimento *et al.*, 2021).

Figura 13 – Módulo RTC DS3231



Fonte: Oliveira, E. (2018)

2.4 Instrumentação

Nesta seção serão citadas as grandezas físicas analisadas no processo e os sensores que serão utilizados para medir cada fenômeno físico. Todas as grandezas serão citadas com suas unidades de medida identificadas.

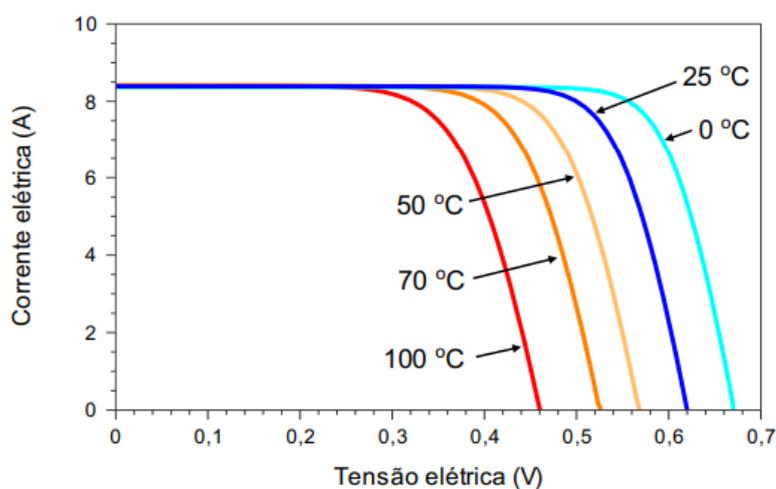
2.4.1 Temperatura ambiente

A temperatura é por definição uma grandeza física que informa o nível de calor, que pode ser de um corpo, objeto ou ambiente. Quanto maior a atividade molecular da matéria, maior será a temperatura (Conceito.de, 2012). A temperatura pode ser determinada em diferentes escalas, tais como Celsius, Fahrenheit e Kelvin (Schulz, 2009).

A temperatura está relacionada com a energia existente em cada corpo, objeto ou ambiente, quanto maior a energia presente, maior será a temperatura do corpo, logo dois corpos no mesmo ambiente tendem a trocar energia até que sejam equalizados.

A temperatura ambiente é uma das grandezas físicas que influenciam diretamente a temperatura do módulo FV, assim reduzindo a eficiência do módulo em aproximadamente 0,5% a cada aumento de 1°C (Luque, 2003). Na figura 14, é apresentado um gráfico com curva I-V de um módulo fotovoltaico que descreve a influência da temperatura em uma placa solar.

Figura 14 - Curva I-V (para uma irradiância de 1.000 W/m²)



Fonte: Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (2014)

A variação da temperatura ambiente afeta diretamente a eficiência das células fotovoltaicas que compõem os módulos. O aumento da temperatura das células reduz a eficiência, devido a diminuição significativa da tensão da célula enquanto a corrente tem uma elevação quase desprezível (GTES, 2014).

2.4.2 Umidade do ar

A umidade nada mais é que a quantidade de vapor de água que está presente no ar, ou em qualquer outro gás analisado. A concentração de umidade pode ser expressa em umidade absoluta, umidade específica e umidade relativa. Para efetuar a medição da umidade destacam-se três tipos de sensores o higrômetro, que efetua a medição da umidade de acordo com a alteração da capacitância ou com a condutividade de material orgânico com propriedades de absorção de umidade ambiente, o psicrômetro, que efetua a medida comparando a temperatura lida por dois

sensores, e o medidor *dew point* ou medidor ponto de orvalho, que é um equipamento óptico (Balbinot, 2007).

Este fator tem influência direta na temperatura, na sensação térmica e na precipitação. Locais próximos a mares e rios tendem a ter uma umidade do ar maior devido a evaporação da água. A variação de temperatura também está relacionada com umidade do ar, quanto maior a umidade do ar, menor será a amplitude térmica (Pena, c2022).

2.4.3 Pressão atmosférica

Pressão atmosférica, ou barométrica, é a pressão que o ar exerce sobre a terra e os objetos que há nela. Assim, podemos dizer que quanto maior a altitude em que se encontra, menor a pressão exercida sobre um corpo, isso por que a coluna de ar presente no espaço diminui (Balbinot, 2007).

A temperatura do ambiente também tem influência na pressão atmosférica. Em ambientes que temos uma baixa temperatura, as moléculas de ar se agrupam aumentando a densidade do ar. Já em ambientes com temperaturas elevadas, as moléculas se afastam. (Pena, c2022).

A pressão atmosférica interfere nas condições climáticas, pois as zonas de baixa pressão fazem com que as frentes de ar subam, assim auxiliando na formação das nuvens. Em contrapartida, as zonas de alta pressão fazem com que ocorra a descida do ar, impedindo a formação das nuvens (Pena, c2022).

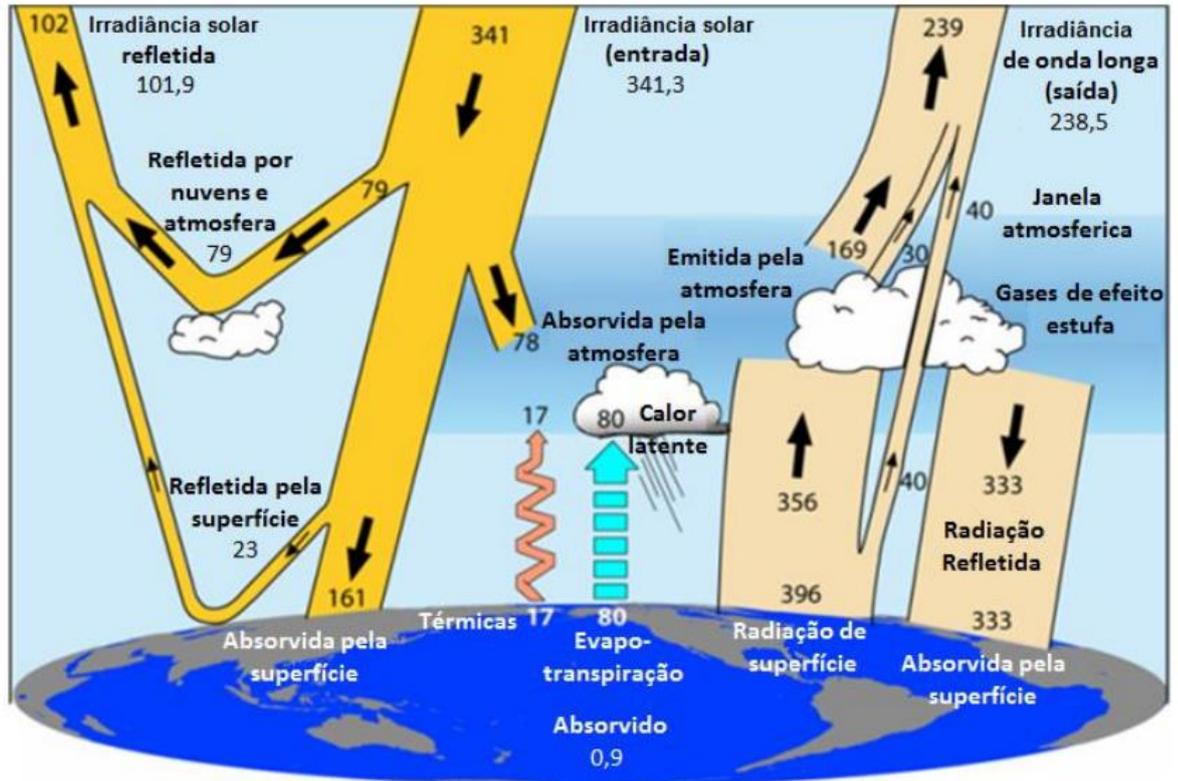
2.4.4 Irradiância solar

A irradiância solar são fluxos de potência, que variam conforme a incidência de raios solares sobre a Terra. Ao atingir o topo da camada atmosférica, essa irradiância é chamada de irradiância extraterrestre, tendo um valor aproximado de 1.367 W/m^2 , adotado pela WRC (*World Radiation Center*) (GTES, 2014).

Segundo Trenberth *et al.* (2009) analisar informações periódicas do espaço permite melhores análises dos fluxos de energia na Terra. Na figura 15, Trenberth *et al.* (2009), atualiza o fluxo de potência global, utilizando medições de março de 2000 a novembro de 2005. Onde nota-se que a irradiância solar que ultrapassa o topo da atmosfera, 47% são absorvidos pela superfície terrestre, 7% são refletidos pela

superfície e 46% são absorvidos pela atmosfera. O valor da irradiância solar no topo da atmosfera é o fluxo anual recebido por 24h ($341,3 \text{ W/m}^2$).

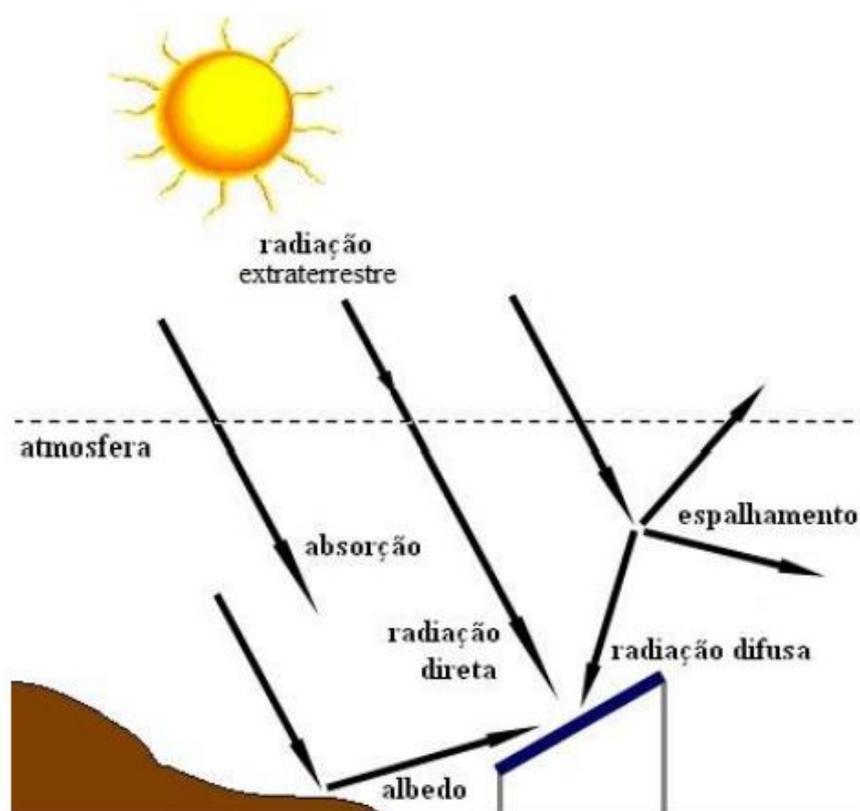
Figura 15 - Fluxo de potência global (em W/m^2)



Fonte: Trenberth et al. (2009).

A radiação solar incidente sobre um módulo fotovoltaico é constituída por uma componente direta, que é a radiação direta do sol, e por uma componente difusa, que é a radiação que sofre reflexão da superfície e que são recebidas de várias direções. Ainda pode haver mais uma componente, caso a placa esteja inclinada em relação a horizontal, chamada de albedo, esta componente é refletida pelo ambiente entorno do módulo (GTES, 2014). A figura 16 apresenta a radiação solar incidente sobre um módulo fotovoltaico com as componentes citadas.

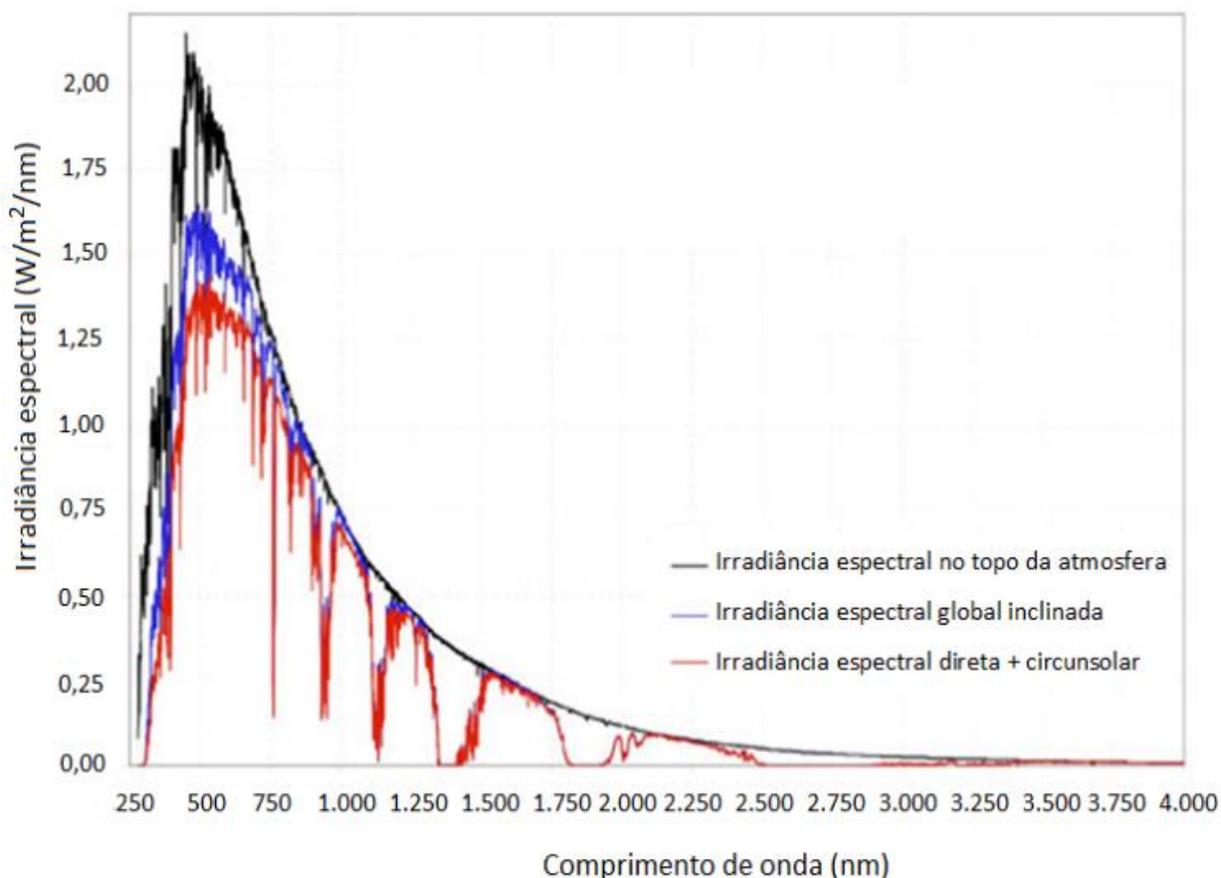
Figura 16 - Componentes de radiação solar.



Fonte: Pinho *et al.* (2008).

Em um dia nublado, a irradiação recebida é 100% difusa, já em dias sem nuvens cerca de 20% da radiação recebida é difusa. Existem perdas de fluxo de potência entre o espectro da irradiância incidente no topo da atmosfera e o espectro de irradiância global que atinge a superfície, que são de aproximadamente 27%, o que resulta nos 1.000 W/m^2 incidentes sobre a superfície, valor padrão que é utilizado para especificação de potência de um módulo fotovoltaico (GTES, 2014). A figura 17 apresenta os espectros de irradiância no topo da atmosfera, irradiância global inclinada, aproximadamente 37° , e irradiância direta e circumsolar.

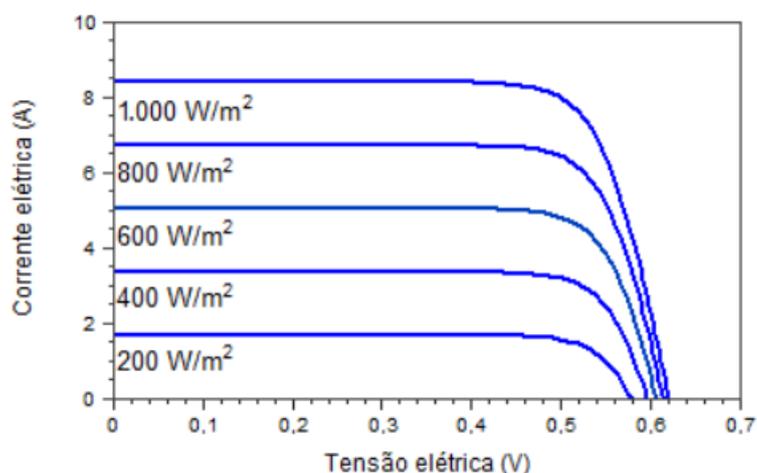
Figura 17 - Espectros de irradiância.



Fonte: Adaptado por GTES (2014) do site NREL (2012).

O desempenho na geração de energia em um sistema FV está diretamente relacionado a radiação solar absorvida nas placas solares (BESSO, 2017). A irradiação solar tem impacto diretamente sobre a curva I-V de uma célula fotovoltaica. O aumento da irradiância aumenta de forma linear a corrente elétrica gerada pela célula, enquanto a tensão de circuito aberto, se mantida a mesma temperatura, aumenta de forma logarítmica (GTES, 2014). A figura 18 mostra a influência da irradiação sobre a curva característica I-V da célula fotovoltaica com uma temperatura de 25°.

Figura 18 - Influência da irradiação solar em células fotovoltaicas de silício cristalino.



Fonte: Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (2014).

Foram citadas nesta seção, algumas das grandezas que impactam diretamente na geração de energia com sistema fotovoltaico. Com destaque para a temperatura ambiente e para a irradiância solar, que alteram as curvas I-V das células fotovoltaicas.

2.5 Protocolos de comunicação

Nesta seção será apresentado o protocolo utilizado para o desenvolvimento do projeto, bem como seus elementos de comunicação e transferência de dados.

2.5.1 MQTT

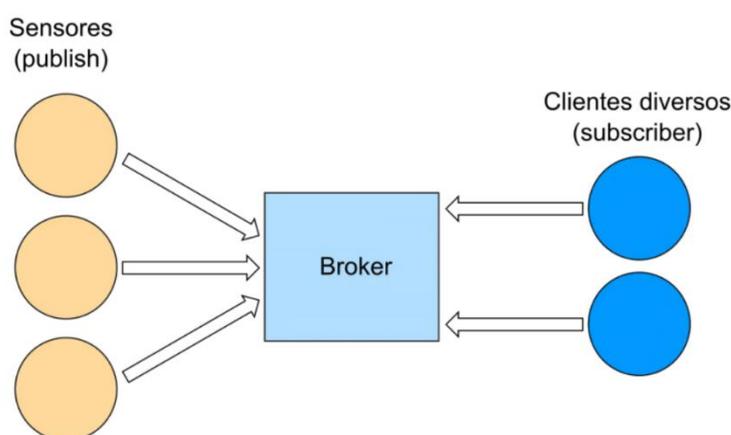
Criado em 1999 pela IBM, o protocolo de mensagens baseado em uma arquitetura *publish/subscribe*, o MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*), foi desenvolvido para aplicações com sensores e dispositivos móveis, sendo que trabalha com rede de alta latência e baixa largura de banda, entregando dados enviados com precisão (Kraijak, 2015).

Para que haja uma entrega de dados confiável, o protocolo utiliza uma conexão TCP. Os sensores se conectam ao servidor (*broker*) e publicam em tópicos os dados obtidos (Jaffey, 2014).

Para a arquitetura do protocolo MQTT o *broker* é um elemento indispensável, pois é ele que recebe as mensagens, filtra e encaminha as mensagens para seus respectivos destinos (Conceição, 2019).

Na figura 19 é apresentado o diagrama do funcionamento do protocolo MQTT, onde são descritos os sensores (*publish*) que enviam os dados, o *broker* que armazena as informações e os clientes (*subscriber*) que acessam as informações no *broker*.

Figura 19 – MQTT visão geral.



Fonte: Barros, M. (2015)

2.6 Supervisório

2.6.1 ThingSpeak

Para este projeto de prototipação foi desenvolvido um supervisório para verificação das leituras de cada variável citada no item 2.4. Assim, foi escolhida a plataforma *ThingSpeak* para o desenvolvimento.

O *ThingSpeak* é uma plataforma analítica *open source* utilizada para desenvolvimento de projetos de IoT que permite agregar, visualizar e analisar dados em tempo real. Podemos enviar dados dos dispositivos para a plataforma, criar visualizações de dados e enviar alertas. (*ThingSpeak Home Page*, 2022). A plataforma utiliza ferramentas do MATLAB para análise e visualização de gráficos e possibilita o compartilhamento de dados em canais públicos ou apenas coleta de

dados em canais privados. A figura 20 apresenta o *layout* da página inicial da plataforma.

Figura 20 - Página inicial ThingSpeak.



Autor: <https://thingspeak.com/>

A plataforma conta com recursos gráficos de alta performance, visualização de dados em tempo real e um banco de dados que disponibiliza as informações para exportação em arquivo CSV.

2.6.2 Plataforma Blynk

O Blynk é uma plataforma *open source* disponível em lojas de aplicativos como a *Play Store* e com acesso à Blynk.Cloud onde se encontram os dados coletados no projeto. Assim cria-se um histórico que pode ser analisado visualmente a partir dos gráficos apresentados ou a partir da base de dados que é composta pelas informações obtidas pelos sensores utilizados no projeto.

A plataforma é utilizada tanto para desenvolvimento de projetos domésticos, quanto para desenvolvimento de sistemas HVAC complexos e equipamentos agrícolas, devido a suas funcionalidades. Conta com gerenciamento de hardware conectado, controle remoto com aplicativos móveis e web, visualização de dados de sensores, nuvem de dados segura, análise de dados e gerenciamento de usuários e acessos (*Blynk Home Page*, 2022). A figura 21 apresenta a ilustração da página inicial da plataforma.

Figura 21 – Página inicial Blynk.



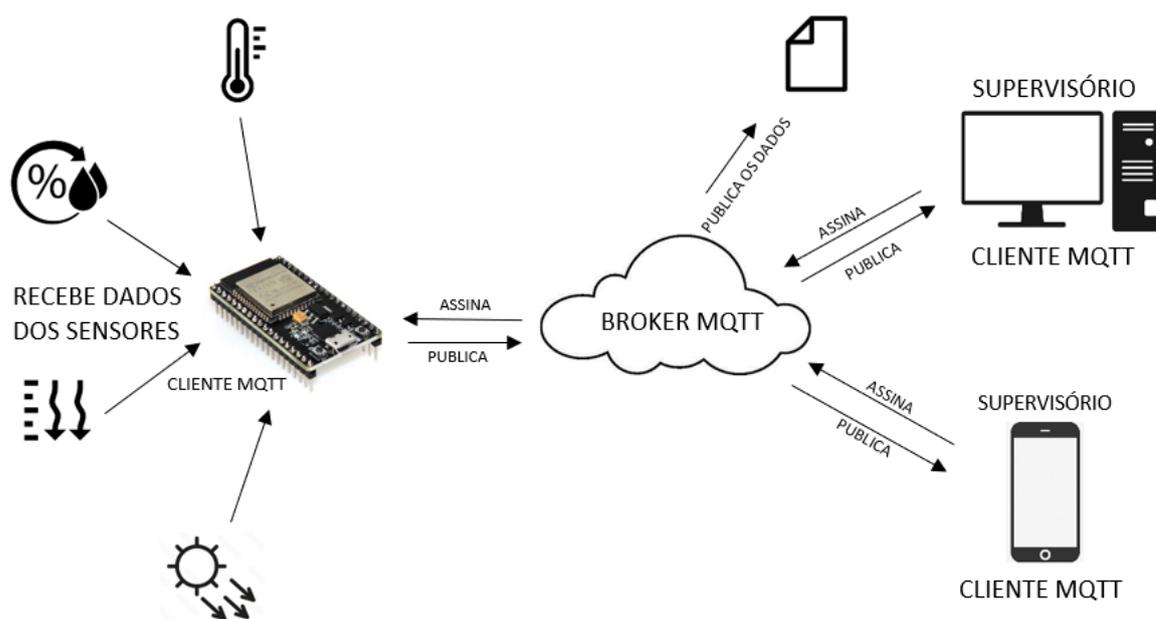
Autor: <https://blynk.io/>

Neste capítulo foi apresentado e embasado teoricamente os pontos abordados neste projeto, os componentes, protocolos de comunicação, grandezas físicas e plataformas utilizados no desenvolvimento. O próximo capítulo apresenta os passos da implementação do protótipo desenvolvido.

3 METODOLOGIA

Neste projeto de prototipação foi desenvolvida uma estação meteorológica para coleta de dados para posterior análise e previsão de geração de energia a partir de sistemas FV. Na figura 22 é apresentado o diagrama de blocos do protótipo. Os sensores enviam os dados das medições para o ESP32, que escreve no banco de dados online e no *broker* do MQTT, para acesso remoto.

Figura 22 - Diagrama de blocos estação meteorológica.



Fonte: Autor

A estação meteorológica é equipada com sensores para a medição das grandezas físicas que impactam diretamente na geração de energia com placas solares. Serão utilizados 3 sensores para a leitura de 4 grandezas, sendo o mesmo sensor para leitura de temperatura e umidade do ar. Também fará parte do sistema um RTC para leitura de data e hora, um *display* que indicará os valores medidos em cada variável e um banco de dados para armazenamento dos valores obtidos. O sistema será alimentado por uma fonte de 5V.

O *display* LCD (*Liquid Crystal Display*) 16x2 possui 16 colunas e 2 linhas, o que dá origem a sua descrição principal, que podem ser utilizadas para diversas combinações de caracteres alfanuméricos. O componente pode ser configurado para trabalhar em modo 4-bit e em 8-bit (Hitachi, 1998). A figura 23 mostra o componente

citado, que será utilizado no projeto para mostrar as variáveis obtidas pelos sensores do sistema.

Figura 23 - Display LCD 16x2.

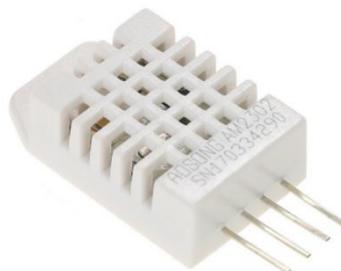


Fonte: Arduino e cia (2013).

Para uma comunicação simples e que não necessite de cabos ou barramentos, será utilizada a conexão *Wi-Fi*, visto que esta é uma necessidade de projeto, para isso está sendo proposta a utilização de uma placa ESP32, assim contamos com 34 pinos GPIO, conexão *Wi-Fi* e *bluetooth* 4.2, seus recursos dão suporte para todo desenvolvimento do protótipo.

A leitura de temperatura ambiente e da umidade será feita com o módulo de sensor DHT22, mostrado na figura 24, que atende a necessidade do projeto, por ter um range de leitura de -40°C à 80°C , com precisão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (Aosong, s.d.). O sensor atende às necessidades para a aplicação da estação no estado do Rio Grande do Sul onde a maior temperatura registrada foi de $42,9^{\circ}\text{C}$ em janeiro de 2022 e a menor temperatura já registrada foi de -5°C , segundo o site MetSul Meteorologia, sendo que há variações conforme a estação do ano. Para a medição da umidade o sensor tem um range de 0% a 99,9% e precisão de $\pm 2\%$, o que nos dá total disponibilidade de recursos para implementação no projeto (Aosong, s.d.).

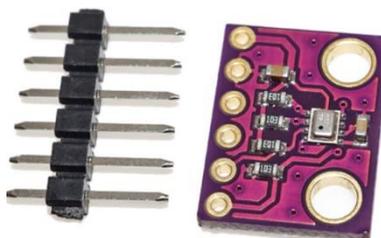
Figura 24 – Sensor DHT22 / AM2302



Fonte: Oliveira, E. (2016)

A pressão atmosférica será mensurada com um sensor BMP280, mostrado na figura 25, produzido pela Bosch Sensortec, o elemento tem uma faixa de leitura de 300 hPa à 1100 hPa (Bosch Sensortec, 2015). Utilizando um sensor de pressão atmosférica podemos encontrar na leitura o valor máximo no ambiente, de 1 atm (1013,25hPa), que é a pressão encontrada ao nível do mar.

Figura 25 – Sensor BMP280



Fonte: Oliveira, E. (2019)

Para a análise da irradiação solar será utilizada a placa solar de microgeração de energia de 5V/ 30mA, sendo que a geração será limitada a 3,3V, utilizando um divisor de tensão. Assim sabemos que a máxima irradiância será alcançada quando a tensão obtida for de 3,3V. Desta forma, utilizando uma entrada analógica do ESP32 será efetuada a leitura e posterior armazenamento do dado. A figura 26 mostra o componente que será utilizado para desenvolvimento do protótipo.

Figura 26 - Mini célula fotovoltaica



Fonte: FelipeFlop (s.d).

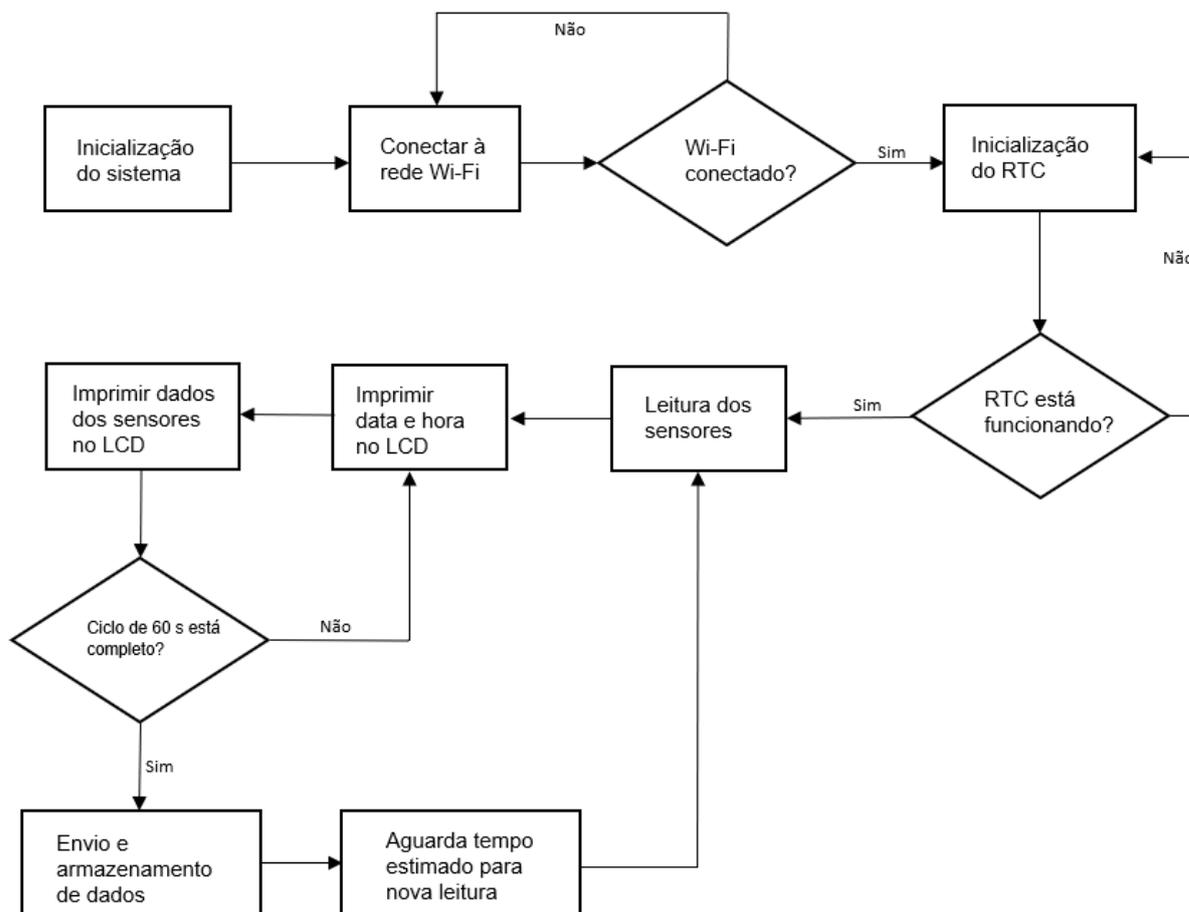
A configuração de data e hora do RTC é atualizada via internet, utilizando o protocolo NTP. Em caso de desconexão com a internet, o RTC mantém o fornecimento de data e hora que são apresentados no *display* LCD para que os dados sejam protocolados. Os dados de data e hora serão atualizados a cada 2 horas. A programação do ESP32 será feita em linguagem C com a IDE do Arduino, utilizando as bibliotecas necessárias para cada função implementada e para cada componente utilizado no desenvolvimento.

Há períodos do ano em que mudanças climáticas ocorrem em um curto espaço de tempo, assim para garantir que as informações geradas serão confiáveis os sensores serão programados para efetuar a leitura dos dados do ambiente a cada 60 s, neste período de tempo teremos dados precisos e qualquer alteração será registrada, assim os gráficos apresentados estarão com informações precisas, o que possibilitará análises detalhadas de cada variável. Os dados serão disponibilizados em uma plataforma *online*, aplicando o protocolo MQTT e em um supervisor, os dados poderão ser acessados através de qualquer dispositivo que esteja conectado à rede.

3.1 Fluxograma do sistema

A figura 27 descreve o fluxograma de funcionamento do *firmware* do protótipo.

Figura 27 – Fluxograma de funcionamento do protótipo



Fonte: Autor.

No diagrama definiu-se o passo-a-passo que será adotado para o desenvolvimento do projeto de prototipação da estação meteorológica.

O sistema é inicializado e inicia a conexão com a rede *Wi-Fi*, caso haja algum problema, o *display* exibirá uma mensagem informativa. Com a conexão *Wi-Fi* estabelecida, o RTC é inicializado, caso o periférico esteja em erro, o *display* exibirá a informação de erro ao ser inicializado. A verificação dos sensores só será iniciada após o sistema sinalizar que está em pleno funcionamento. Após esta etapa inicia-se a leitura dos sensores, com a coleta dos dados estes são processados e enviados para o *broker* do MQTT, onde será disponibilizado para acesso remoto às informações. O tempo estimado para cada leitura pode variar de acordo com cada

aplicação, para dados confiáveis este protótipo será programado com um intervalo de 60 s entre cada leitura.

3.2 Viabilidade econômica

O principal foco deste projeto é o desenvolvimento e montagem de uma estação meteorológica de baixo custo. É apresentado no quadro 1 os equipamentos utilizados para desenvolvimento e seus respectivos valores de mercado, na data de aquisição.

Quadro 1: Materiais utilizados na montagem do protótipo e respectivos valores.

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA	
Equipamento	Valor
ESP32	R\$ 95,90
Sensor de pressão BMP280	R\$ 14,90
Sensor de umidade e temperatura DHT22	R\$ 69,90
Real Time Clock (RTC) DS3231	R\$ 38,91
Mini célula fotovoltaica 5V/30mA	R\$ 19,90
Módulo serial I2C para display LCD	R\$ 10,90
Display LCD 16x2	R\$ 20,90
Total	R\$ 271,31

Fonte: Autor.

No quadro 2 são demonstradas três estações meteorológicas disponíveis no mercado que contém sensores de temperatura, umidade, radiação solar, velocidade do vento, comunicação *Wi-Fi* e acesso por aplicativos via celular.

Quadro 2: Estações meteorológicas comerciais e respectivos valores.

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA COMERCIAL	
Equipamento	Valor
Ambient Weather WS-2902C Wifi Estação Meteorológica Inteligente	R\$ 4.490,00
Estação Meteorológica Profissional Sem Fio 433MHz Wi-Fi NOVOTEST.BR 3010	R\$ 1.799,99
Estação Meteorológica - Modelo WS-HP2K-1 – Misol	R\$ 3.841,99

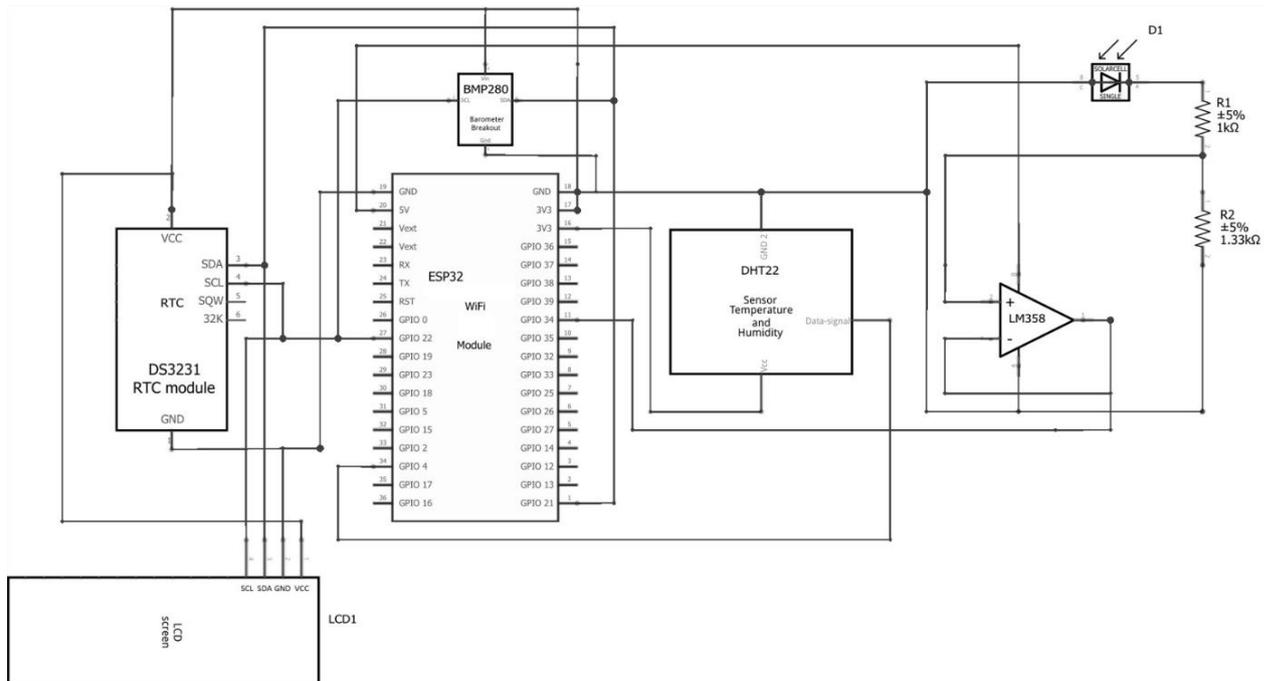
Fonte: Mercado livre/ Loja do mecânico/ Magazine Luiza.

Assim conclui-se que a estação meteorológica desenvolvida atende os mesmos princípios das estações comerciais, mas apresenta baixo custo para ser montada e colocadas em operação.

3.3 Montagem do protótipo

O esquema do circuito utilizado na montagem da estação é apresentado na figura 28.

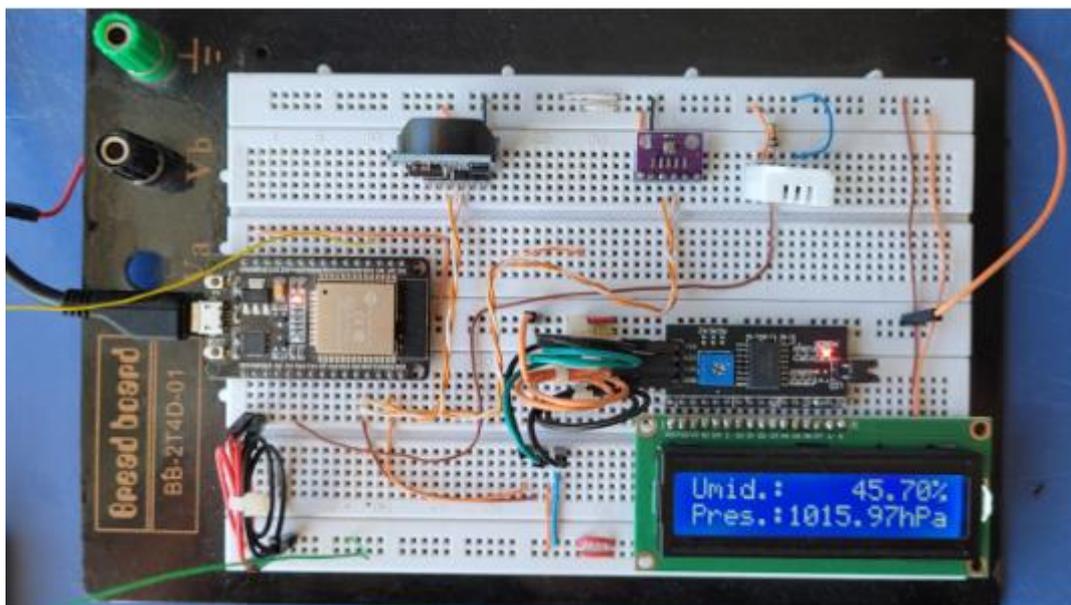
Figura 28 – Esquemático da estação meteorológica.



Fonte: Autor.

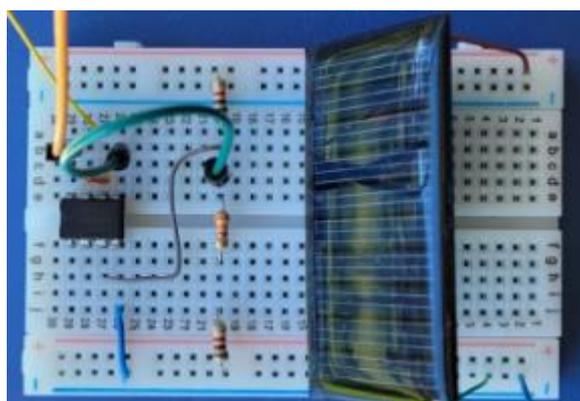
Partindo da aquisição dos componentes, a montagem do protótipo foi realizada em duas *protoboards*, uma delas contém a placa ESP32, *display* 16x2 e sensores de temperatura, umidade e pressão, apresentada na figura 29. A outra contém a placa solar de microgeração, divisor de tensão e um buffer com o LM538, apresentada na figura 30.

Figura 29 - Protótipo estação meteorológica – parte 1



Fonte: Autor

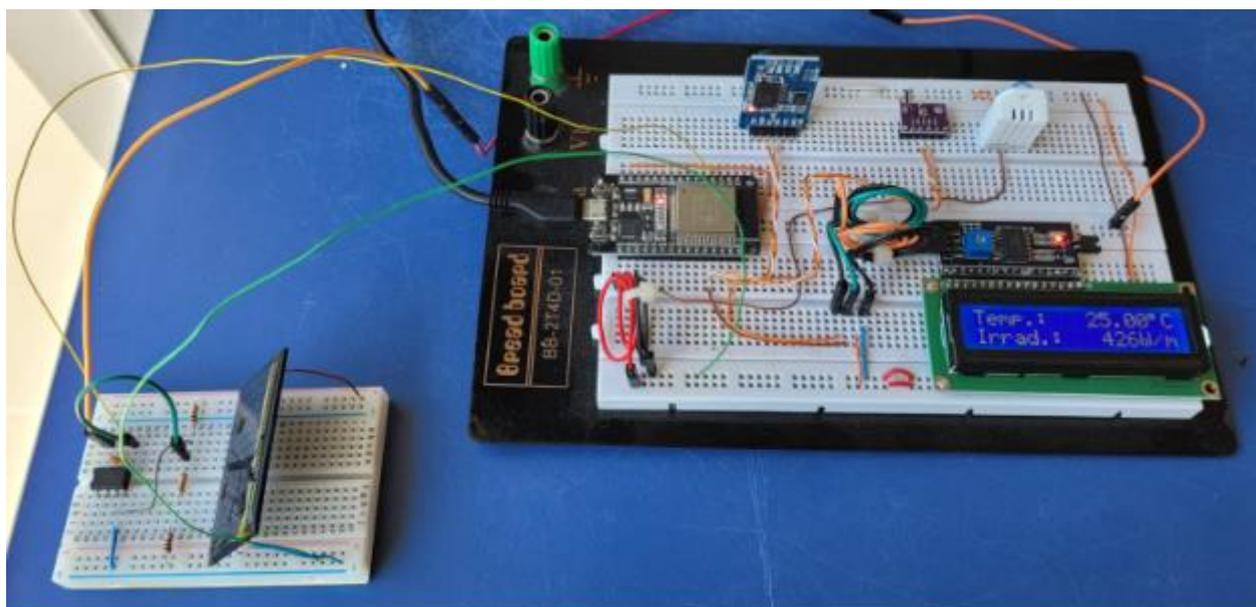
Figura 30 - Protótipo estação meteorológica – parte 2



Fonte: Autor

Na figura 31 é apresentado o protótipo montado.

Figura 31 - Protótipo estação meteorológica – completo



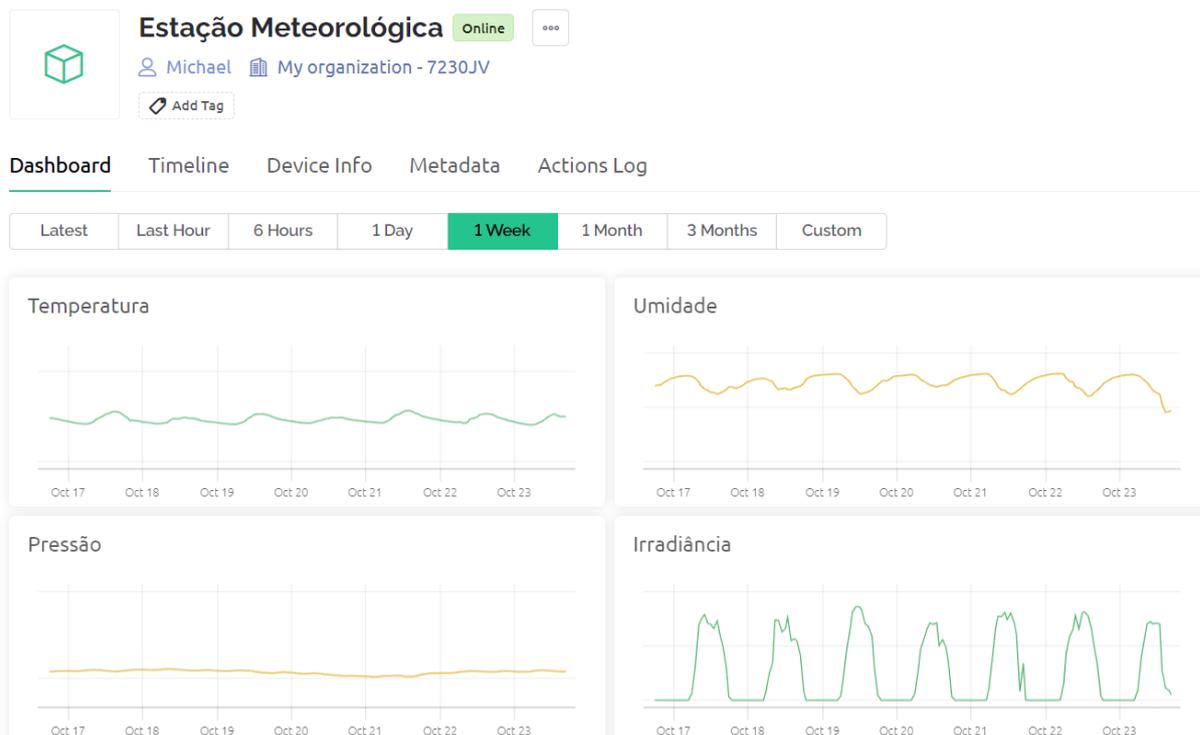
Fonte: Autor.

3.4 Supervisório e banco de dados

Para o desenvolvimento do supervisório foi utilizado o aplicativo Blynk, apresentado na figura 32, pois a visualização dos dados obtidos é feita de forma direta a partir dos gráficos gerados.

A plataforma apresenta gráficos didáticos e com ótima visualização. Contando com histórico completo dos dados obtidos, o sistema proporciona interação em tempo real, o que permite que o usuário altere a visualização da maneira que desejar para uma análise mais detalhada e precisa. Para o projeto da estação meteorológica, foram implementados gráficos de linha que apresentam a evolução dos dados e contadores que apresentam o último dado recebido.

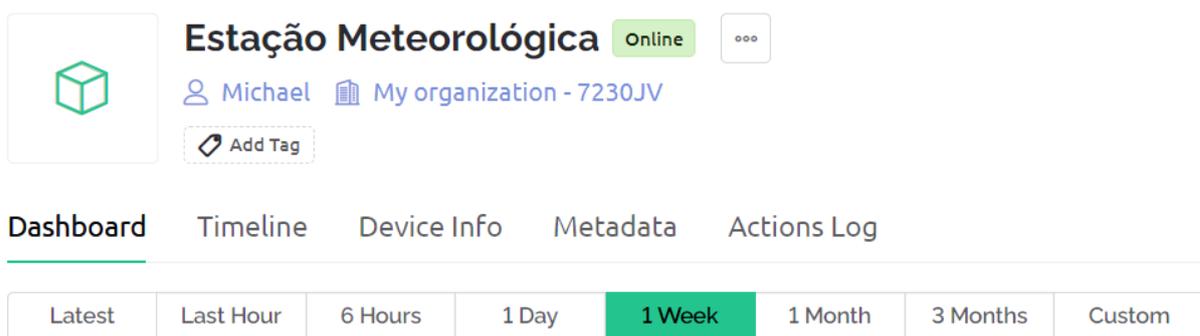
Figura 32 - Interface aplicativo Blynk.



Fonte: Autor.

Podemos alterar a visualização dos dados para diário, semanal, mensal, 3 meses e até um período específico desejado, conforme demonstração na figura 33.

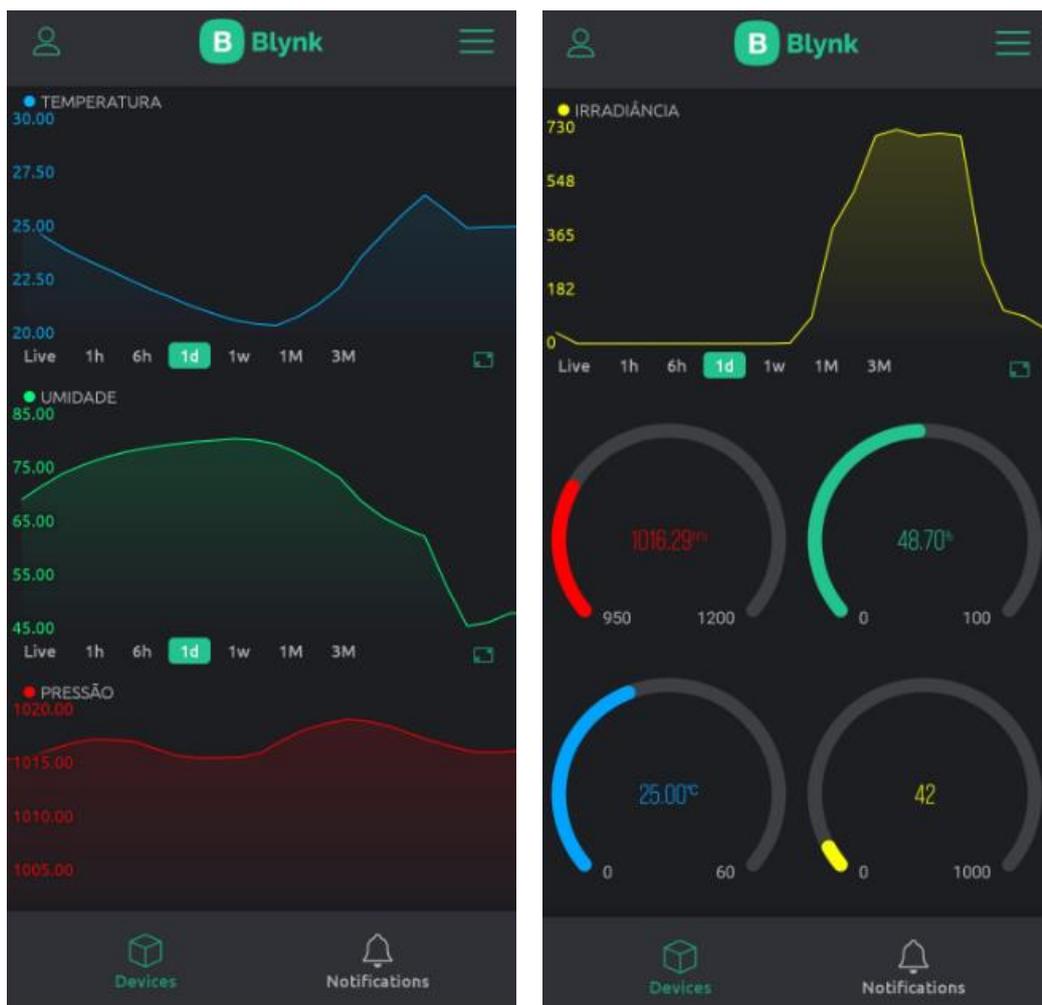
Figura 33 - Personalização de período.



Fonte: Autor.

Os gráficos dos dados também podem ser acessados via *smartphone* pelo aplicativo Blynk. No desenvolvimento do projeto o aplicativo mostra os gráficos e a última leitura obtida, conforme figura 34.

Figura 34 - Interface gráfica aplicativo Blynk, via *smartphone*.



Fonte: Autor.

Para o banco de dados, foi utilizado o aplicativo *ThingSpeak*, apresentado na figura 35. O *software* exporta um arquivo CSV com todos os dados obtidos pelos sensores da estação meteorológica, conforme figura 36. Assim, podemos utilizar este arquivo para analisar os dados de determinados períodos, conforme desejarmos. São apresentados na figura 37 os gráficos gerados no aplicativo.

Figura 35 - Interface ThingSpeak.

The screenshot shows the ThingSpeak interface for a channel named "Estação Meteorológica". The channel ID is 1887243, the author is mwa0000027799275, and the access is Public. The channel description is "Leitura de temperatura, umidade, pressão atmosférica e irradiância". The interface includes navigation tabs for Private View, Public View, Channel Settings, Sharing, API Keys, and Data Import / Export. There are buttons for "Add Visualizations", "Add Widgets", "Export recent data", "MATLAB Analysis", and "MATLAB Visualization". The Channel Stats section shows the channel was created 14 days ago, the last entry was less than a minute ago, and there are 18602 entries.

Fonte: Autor.

O arquivo exportado da plataforma *ThingSpeak* é apresentado em formato CSV, assim os dados são separados todos por vírgula. No cabeçalho temos a informação da data e hora que os dados foram enviados, a identificação da entrada do dado e os campos que foram utilizados no projeto. Neste caso temos, respectivamente, temperatura, umidade, pressão e irradiância. Os itens citados após os campos não foram utilizados no desenvolvimento.

Figura 36 - Cabeçalho arquivo exportado via aplicativo.

	A
1	created_at,entry_id,field1,field2,field3,field4,latitude,longitude,elevation,status
2	2022-10-09T21:20:38-03:00,1,19.00000,71.00000,1023.11737,0,,,,
3	2022-10-09T21:21:18-03:00,2,19.10000,74.70000,1023.17096,0,,,,
4	2022-10-09T21:21:59-03:00,3,19.30000,74.40000,1023.16327,0,,,,
5	2022-10-09T21:22:40-03:00,4,19.40000,75.20000,1023.16803,0,,,,
6	2022-10-09T21:23:21-03:00,5,19.60000,74.60000,1023.09125,0,,,,
7	2022-10-09T21:24:01-03:00,6,19.70000,65.90000,1023.02985,0,,,,

Fonte: Autor.

Figura 37 - Gráficos ThingSpeak.



Fonte: Autor.

Neste capítulo foi apresentado o desenvolvimento do projeto, desde o diagrama de blocos, apresentação dos componentes, um breve demonstrativo de viabilidade econômica da estação meteorológica, circuito esquemático, apresentação da montagem do protótipo e as telas das plataformas utilizadas.

4 TESTES REALIZADOS

A validação dos dados de temperatura e umidade foi realizada utilizando um termo-higrômetro Instrutherm, modelo THAL-300, apresentado na figura 38, calibrado em agosto de 2022.

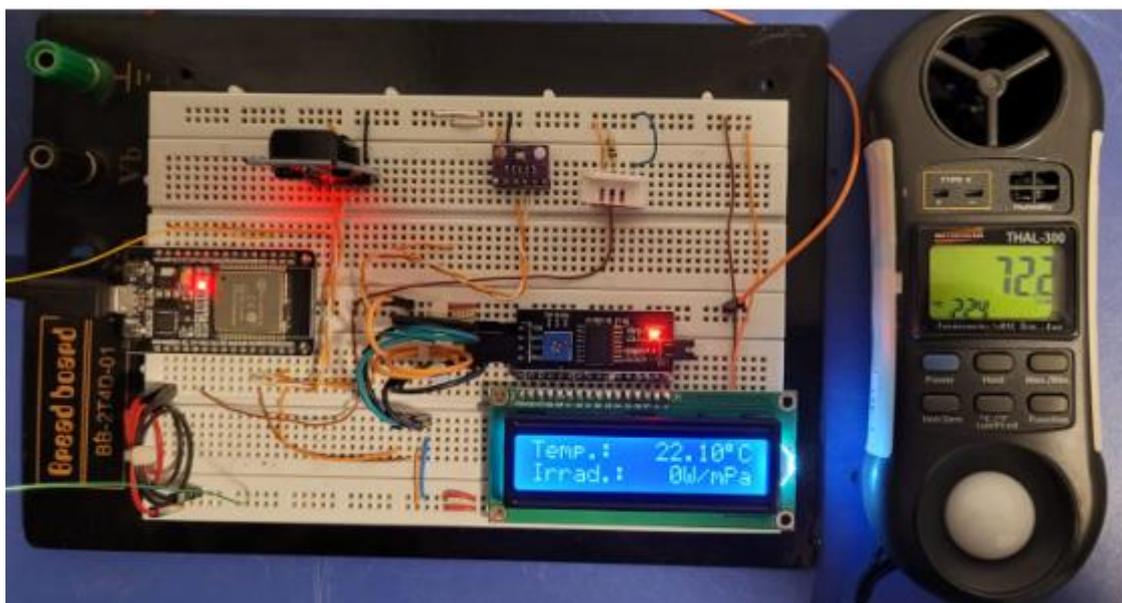
Figura 38 - Termo-higrômetro Instrutherm



Fonte: Autor.

Nas figuras 39 e 40 são demonstradas as verificações da temperatura e umidade obtidas pelo sensor e a medição feita pelo equipamento.

Figura 39 - Validação dados de temperatura.



Fonte: Autor

Os dados obtidos pelo sensor de temperatura no momento da medição foi de 22,10°C, enquanto no equipamento a temperatura indicada é de 22,4°C. Assim os dados estão dentro da variação informada pelo fabricante, que é de 0,5°C

Para verificação dos dados obtidos tanto pelo sensor, quanto pelo aparelho, foi realizado teste para amostragem de 3 temperaturas diferentes. Deste modo, as amostras foram utilizadas para verificação do desvio padrão e média dos valores.

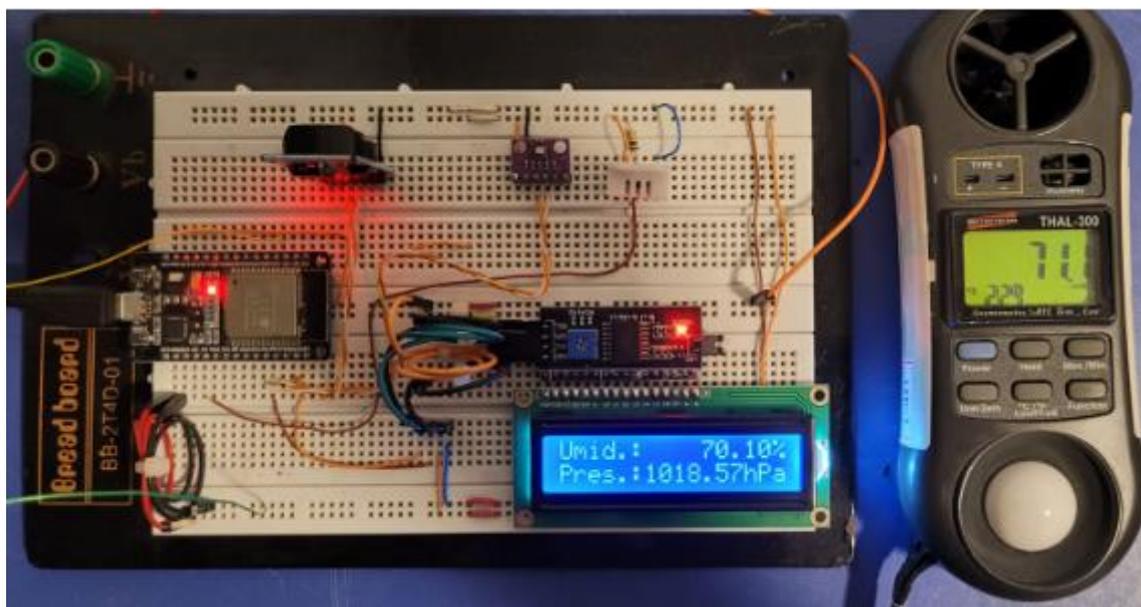
Os valores das amostras são referentes a temperatura de 14°C, 22°C e 47°C, conforme citado na tabela 1.

Tabela 1 – Amostras de temperatura sensor e termo-higrômetro

Temperatura (°C)	14°C		22°C		47°C	
	Protótipo (°C)	Equipamento (°C)	Protótipo (°C)	Equipamento (°C)	Protótipo (°C)	Equipamento (°C)
	13,9	14,1	22,2	22	47,1	47
	13,9	14	22,2	22	47,1	47
	13,9	14	22,2	22	47,1	47
	13,9	14	22,2	22	47,1	47
	13,9	14	22,2	21,9	47,1	47
	13,9	14	22,2	22	47,1	46,9
	13,9	14,1	22,2	22	47,1	46,9
	13,9	14	22,2	22	47,1	46,9
	14	14	22,1	22	47,1	46,9
	13,9	14	22,1	22	47,1	46,9
Desvio padrão	0,03	0,04	0,04	0,03	0,00	0,05
Média	13,91	14,02	22,18	21,99	47,1	46,95
	(13,91+/-0,03) °C	(14,02+/-0,04) °C	(22,18+/-0,04) °C	(21,99+/-0,03) °C	(47,1) °C	(46,95+/-0,05) °C

Fonte: Autor.

Figura 40 - Validação dados de umidade.



Fonte: Autor.

Nota-se que o dado de umidade obtidos pelo sensor está dentro da faixa de variação indicada pelo fabricante do DHT22, que é de 2%. Enquanto o valor medido no sensor é de 70,1%, no equipamento a leitura é de 71,1% de umidade.

Para verificação dos dados obtidos tanto pelo sensor e pelo aparelho, foi realizada amostragem de 3 valores de umidade diferentes. Deste modo, as amostras foram utilizadas para verificação do desvio padrão e média dos valores. As amostras foram efetuadas com base nos valores de umidade de 48%, 63% e 77%, conforme tabela 2.

Tabela 2 – Amostras de umidade sensor e termo-higrômetro

Umidade (%)	48%		63%		77%	
	Protótipo (%)	Equipamento (%)	Protótipo (%)	Equipamento (%)	Protótipo (%)	Equipamento (%)
	47,5	48,1	63,7	63	76,3	77,1
	47,5	48,2	63,7	63,1	76,3	77,1
	47,5	48,1	63,7	63,1	76,3	77,1
	47,6	47,9	63,7	63,1	76,3	77,2
	47,6	48,1	63,7	63,2	76,3	77,2
	47,6	48,1	63,7	63,1	76,3	77,2
	47,6	48	63,8	63,1	76,3	77,1
	47,6	48	63,8	63,1	76,4	77
	47,6	47,9	63,7	63,1	76,5	77
	47,6	47,8	63,7	63,1	76,5	76,9
Desvio padrão	0,05	0,12	0,04	0,05	0,08	0,10
Média	47,57	48,02	63,72	63,1	76,35	77,09
	(47,57+/-0,05) %	(48,02+/-0,12) %	(63,72+/-0,04) %	(63,1+/-0,05) %	(76,35+/-0,08) %	(77,09+/-0,10) %

Fonte: Autor.

Para validação dos dados foi feito acompanhamento das medições por 10 dias, em horários diferentes, conforme citado nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3: Validação dados de temperatura.

Dados de temperatura (°C)			
Data	Hora	DHT22	Termo-higrômetro
15/10/2022	18:30	21,9°C	22,3°C
16/10/2022	09:00	21°C	20,7°C
17/10/2022	15:45	27,7°C	27,6°C
18/10/2022	17:00	24°C	24,2°C
19/10/2022	07:00	20,8°C	20,5°C
20/10/2022	12:00	23,8°C	23,7°C
21/10/2022	18:10	26°C	26,3°C
22/10/2022	10:00	22,9°C	22,8°C
23/10/2022	08:00	21,1°C	20,7°C
24/10/2022	22:35	22,6°C	22,9°C

Fonte: Autor.

Tabela 4: Validação dados de umidade.

Dados de umidade (%)			
Data	Hora	DHT22	Termo-higrômetro
15/10/2022	18:30	67%	67,70%
16/10/2022	09:00	71,10%	72,30%
17/10/2022	15:45	63,50%	63,20%
18/10/2022	17:00	69,10%	68,40%
19/10/2022	07:00	80,10%	81%
20/10/2022	12:00	70,10%	70,80%
21/10/2022	18:10	70,70%	69,60%
22/10/2022	10:00	71,20%	72,50%
23/10/2022	08:00	76,90%	76,50%
24/10/2022	22:35	70,10%	71,10%

Fonte: Autor.

Os dados de pressão atmosférica foram validados a partir da comparação dos dados obtidos pelo protótipo e do site ClimaOnline, conforme figura 41.

Figura 41 - Dados meteorológicos de Montenegro no dia 23/10/2022.

Previsão do Tempo em Montenegro - RS



Veja aqui qual a Temperatura, sensação térmica e informações meteorológicas da Cidade de **Montenegro - RS**

Hoje o clima aqui na cidade de Montenegro está **Ensolarado**.

DADOS ATUALIZADOS DE DUAS EM DUAS HORAS. HOJE É DOMINGO, 23 DE OUTUBRO DE 2022

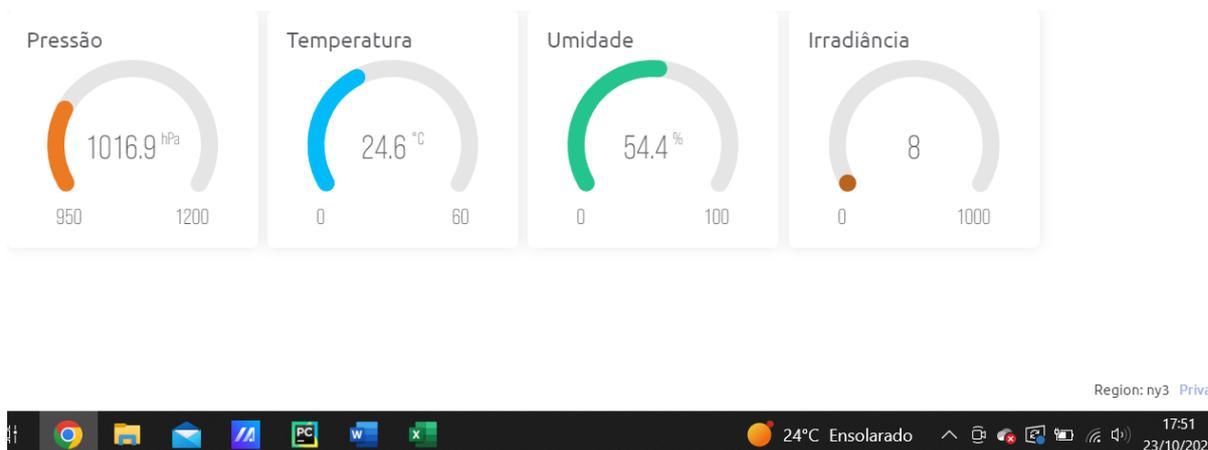
Como está o clima na cidade de Montenegro - RS neste momento?

Sensação Térmica 25° graus	Temperatura 25° graus	Temp. Máxima e Mínima ↑ 25° ↓ 14°
Velocidade do Vento 16 km/h	Direção do vento Oés-Sudoeste	Pressão Atmosférica 1016 hPa

Fonte: Autor.

Na figura 42, é apresentada a pressão atmosférica obtida pelo protótipo.

Figura 42 - Leitura de pressão atmosférica no protótipo.



Fonte: Autor.

A partir dos dados expostos, conclui-se que a pressão atmosférica obtida via protótipo é confiável e pode ser utilizada para análise. Não temos disponível um equipamento para efetuar a medida de irradiância para validar os dados obtidos.

5 CONCLUSÃO

Partindo das informações citadas no início do trabalho, nota-se que o principal objetivo do projeto foi o desenvolvimento de um protótipo, montagem, validação de dados e teste de funcionamento, o que ficou evidente no desenvolvimento do projeto que o objetivo geral e específicos foram atendidos, conforme expectativa.

A funcionalidade da estação se mostra confiável, os dados são precisos e com uma baixa taxa de variação. As informações disponibilizadas nas plataformas são fáceis de analisar através dos gráficos apresentados e o banco de dados é robusto e com informações completas. Podem ser acessadas através do computador ou via *smartphone*, como o usuário preferir.

O projeto foi desenvolvido com poucos recursos financeiros, o que atende ao princípio de que a estação seja de baixo custo, sendo que mantem suas funções sem nenhuma perda de performance por parte dos sensores.

5.1 Trabalhos futuros

Para dar continuidade a este projeto de previsão de geração de energia em parques solares, são necessários dois tópicos para desenvolvimento:

- Análise dos dados coletados, que será um trabalho mais teórico que deve verificar os dados obtidos em determinadas regiões em um determinado período do ano;
- Previsão de geração de energia em sistemas fotovoltaicos com redes neurais, que verificará os dados, cruzará padrões e por fim provisionará a geração de energia em determinados períodos do ano.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGSOLVE. Estação meteorológica, c2022. Disponível em: <https://www.agsolve.com.br/produto/1006/estacao-meteorologica> . Acesso em: 16 de junho de 2022.

AOSONG. Temperature and humidity module, s.d. Disponível em: https://www.filipeflop.com/img/files/download/Datasheet_DHT22_AM2302.pdf . Acesso em: 29 de maio de 2022.

Atlas Brasileiro de Energia Solar, INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), 2017. Disponível em: <http://labren.ccst.inpe.br/> . Acesso em: 28 de maio de 2022.

ARAÚJO, Gracielle Antunes et al. Aplicação do modelo Weibull na modelação matemática para análise da viabilidade de geração de energia eólica. Revista Engenharia de Interesse Social, v. 5, n. 5, 2020.

BASTOS, Icaro Gabriel Paiva et al. PREVISÃO DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA A PARTIR DE DADOS METEOROLÓGICOS UTILIZANDO REDE LSTM. In: VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018. 2020.

BESSO, R. Sistema solar fotovoltaico conectado à rede – estudo de caso no Centro de Tecnologia da UFRJ. Monografia. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, fevereiro, 2017.

BLYNK. Blynk Home. Disponível em: <https://blynk.io/> . Acesso em: 12 de setembro de 2022.

CANTOR, G. A. R., 2017. Influência dos fatores climáticos no desempenho de módulos fotovoltaicos em regiões de clima tropical.

CEPEL/CRESESB, GTES – Grupo de Trabalho de Energia Solar. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. 2014

CLIMAONLINE. Previsão do tempo em Montenegro. Disponível em: <<https://climaonline.com.br/montenegro-rs>>. Acesso em 23 de outubro de 2022.

Como usar módulo cartão SD Arduino. Arduino e Cia, 2020. Disponível em: <<https://www.arduinoecia.com.br/como-usar-modulo-cartao-micro-sd-arduino/>>. Acesso em: 29 de maio de 2022.

CONCEITO.DE. Conceito de temperatura, 2012. Disponível em: <https://conceito.de/temperatura> . Acesso em: 14 de junho de 2022.

CUNHA, A. F. O que são sistemas embarcados. Saber eletrônica, v. 43, n. 414, p. 1–6, 2007.

CUNHA, Joana. Geração de energia solar em telhados de casas deve alcançar Itaipu em setembro. **Folha de S.Paulo**, São Paulo, 08 de abr. de 2022. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/colunas/painelsa/2022/04/geracao-de-energia-solar-em-telhados-de-casas-deve-alcancar-itaipu-em-setembro.shtml>> . Acesso em: 20 de abr. de 2022.

DA CONCEIÇÃO, Wellington Nogueira Elizeu; DE RESENDE COSTA, Romualdo Monteiro. Análise do Protocolo MQTT para Comunicação IoT através de um Cenário de Comunicação. Caderno de Estudos em Sistemas de Informação, v. 5, n.2, 2019.

DA SILVA, Angelo Cesar Mendes et al. Estação Meteorológica Automática de Baixo Custo-Low Cost Automatic Meteorological Station. Multiverso: Revista Eletrônica do Campus Juiz de Fora-IF Sudeste MG, v. 1, n. 1, p. 46-56, 2016.

Display LCD 16x2 Arduino HD44780. Arduino e Cia, 2013. Disponível em: <<https://www.arduinoecia.com.br/lcd-16x2-arduino-hd44780>>. Acesso em: 29 de maio de 2022.

DO NASCIMENTO, Guilherme Araujo Machado; NETO, Manoel Moraes Lemos; DA SILVA, Wyllian Bezerra. Uma Aplicação Didática do Protocolo I2C em Sistemas de Comunicação A Didactic Application of the I2C Protocol in Communication Systems. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 10, p. 94837-94853, 2021.

ELETROGATE. Sensores e Módulos. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/real-time-clock-rtc-ds3231> . Acesso em 17 de maio de 2022.

Eletronics, A. *Temperature and humidity module AM2302 Product Manual*. Disponível em: https://www.filipeflop.com/img/files/download/Datasheet_DHT22_AM2302.pdf>. Acesso em: 29 de maio de 2022.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética] Balanço Energético Nacional (BEN) 2021. Disponível em < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben> >. Acesso em: 28 de maio de 2022.

Equipe editorial de Conceito.de. *Conceito de temperatura*, 2012. Disponível em: <https://conceito.de/temperatura>>. Acesso em: 14 de junho de 2022.

ESPRESSIF. ESP32 Series Datasheet. 2022. Disponível em: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf . Acesso em: 12 de maio de 2022.

EVANS, Martin; NOBLE, Joshua; HOCHENBAUM, Jordan. *Arduino em ação*. Novatec Editora, 2013.

FERNANDO K. ESP32: Detalhes internos e pinagem. 2018. Disponível em:< <https://www.fernandok.com/2018/03/esp32-detalhes-internos-e-pinagem.html>>. Acesso em: 29 de maio de 2022.

HAYKIN, S. *Redes Neurais: Princípios e Prática*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.

HITACHI. *Dot Matrix Liquid Crystal Display Controller/Driver*, 1998. Rev. 00. Disponível em: < <https://circuitdigest.com/sites/default/files/HD44780U.pdf>>. Acesso em: 29 de maio de 2022.

HUKSEFLUX BRASIL. Piranômetro para Medição de Radiação Solar. [S.l.] 2022. Disponível em: <https://huksefluxbrasil.com.br/produtos/piranometro-padrao-secundario-sr20>. Acesso em: 14 de junho de 2022.

ITSOLAR. Brasil termina 2021 com recordes na geração de energia solar, 2022. Disponível em: <https://itsolar.com.br/energia-solar/brasil-termina-2021-com-recordes-na-geracao-de-energia-solar/> . Acesso em: 20 de abril de 2022.

JAFFEY, Toby. MQTT and CoAP, IoT protocols. 2014. Disponível em: < http://www.eclipse.org/community/eclipse_newsletter/2014/february/article2.php>. Acesso em: 16 de maio de 2022.

KRAIJAK, Surapon; TUWANUT, Panwit. A survey on internet of things architecture, protocols, possible applications, security, privacy, real-world implementation and future trends. In: 2015 IEEE 16th International Conference on Communication Technology (ICCT). IEEE, 2015. p. 26-31.

LABORATORIES, S. Proximity/UV/ambiente light sensor IC with I2C interface, 2020. Rev. 1.4. Disponível em: <https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/Si1145-46-47.pdf>. Acesso em: 30 de maio de 2022.

LEI, M. et al. A review on the forecasting of wind speed and generated power. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 13, n. 4, p. 915-920, 2009. ISSN 1364-0321.

Liu, Q. Meng, T. Liao, X. Bao, e C. Xu. "A flexible hardware architecture for slave device of i2c bus". 2019 International Conference on Electronic Engineering and Informatics (EEI), 2019.

LOJA DO MECÂNICO. Estação Meteorológica Profissional Sem Fio 433MHz Wi-Fi NOVOTEST.BR 3010. Disponível em: www.lojadomecanico.com.br/produto/229926/72/897/estacao-meteorologica-profissional-sem-fio-433mhz-wi-fi-novotestbr-3010-novotest-229926 . Acesso em 24 de setembro de 2022.

López-Vargas, A., Fuentes, M., & Vivar, M., 2018. IoT application for real-time monitoring of solar home systems based on Arduino™ with 3G connectivity. IEEE Sensors Journal, 19(2), 679-691.

MAGAZINE LUIZA. Estação Meteorológica - Modelo WS-HP2K-1 - Misol. Disponível em: <https://www.magazineluiza.com.br/estacao-meteorologica-modelo-ws-hp2k-1-misol/p/heeifb0ja0/fs/fpmp/1>. Acesso em 24 de setembro de 2022.

MAHZAN, Najwa Nasuha et al. Design and development of an arduino based data logger for photovoltaic monitoring system. Int. J. Simul. Syst. Sci. Technol, v. 17, n. 41, p. 15.1-15.5, 2017.

MAIER, Alexander; SHARP, Andrew; VAGAPOV, Yuriy. Comparative analysis and practical implementation of the ESP32 microcontroller module for the internet of things. In: 2017 Internet Technologies and Applications (ITA). IEEE, 2017. p. 143-148.

MANUAL SCADABR. Manual do Software. Fundação Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras. 2010.

MERCADO LIVRE. Estação Meteorológica Ambient Weather Ws 2902. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1243275438-estacao-meteorologica-ambient-weather-ws-2902-pronta-entrega- JM> . Acesso em 24 de setembro de 2022.

MOREIRA, Esdras Emanuel Mariano. Desenvolvimento de uma miniestação meteorológica de baixo custo baseada na plataforma arduino. 2019.

MUNDOCLIMA. Como funciona e quais as vantagens da estação meteorológica? Disponível em: <http://blog.mundoclima.com.br/como-funciona-e-quais-as-vantagens-da-estacao-meteorologica> . Acesso em: 05 de junho de 2022.

NASCIMENTO, R. L. Energia Solar no Brasil: situação e perspectivas. Estudo Técnico. Consultoria Legislativa. 2017

OLIVEIRA, Euler. Como usar com Arduino – Módulo Real Time Clock RTC DS3231. [S.I.]: BLOG Master Walker Shop Eletronic, 2018. Disponível em: <https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-modulo-real-time-clock-rtc-ds3231> . Acesso em: 12 de maio de 2022.

OLIVEIRA E. Como usar com Arduino – Sensor de Pressão e Temperatura BMP280. [S.I.]: BLOG Master Walker Shop Eletronic, 2019. Disponível em: <https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-sensor-de-pressao-e-temperatura-bmp280> . Acesso em: 12 de maio de 2022.

OLIVEIRA E. Como usar com Arduino – Sensor de Umidade e Temperatura DHT22/AM2302. [S.I.]: BLOG Master Walker Shop Eletronic, 2016. Disponível em: <https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-sensor-de-umidade-e-temperatura-dht22-am2302> . Acesso em: 12 de maio de 2022.

OLIVEIRA E. ESP32 – Conhecendo o NodeMCU-32S ESP32. [S.I.]: BLOG Master Walker Shop Eletronic, 2017. Disponível em: <https://blogmasterwalkershop.com.br/embarcados/esp32/conhecendo-o-nodemcu-32s-esp32> . Acesso em: 17 de maio de 2022.

PENA, Rodolfo F. Alves. Pressão atmosférica. Mundo Educação, c2022. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/pressao-atmosferica.htm> . Acesso em: 16 de junho de 2022.

PENA, Rodolfo F. Alves. Umidade do ar. Mundo Educação, c2022. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/umidade->

[ar.htm#:~:text=A%20umidade%20do%20ar%20ou,at%C3%A9%20mesmo%20na%20noossa%20sa%C3%BAde>](#). Acesso em: 16 de junho de 2022.

PINHO, João Tavares et al. Sistemas híbridos. Soluções energéticas para a Amazônia, 2008.

PONTES, Wyara Maria Carlos Souza. Implantação de Estação Solarimétrica e de Sistema Supervisório com Scadabr e Plataforma IoT em usina fotovoltaica na UNILAB-CE. 2021.

RAMPINELLI, Giuliano Arns; DA SILVA, Milena Paim; MARCELINO, Roderval. Instalação e monitoramento de uma estação meteorológica de superfície automática em uma planta piloto bioclimática. In: XXIII Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente. 2016.

ROCHA, Vinicius R. da. Estação e instrumentos meteorológicos, 2014. Disponível em: <https://www.monolitonimbus.com.br/estacao-e-instrumentos-meteorologicos/> . Acesso em: 16 de junho de 2022.

SCADABR. Sistema SCADA Open Source. Disponível em: <https://scada.com.br/inicio/>. Acesso em: 12 de junho de 2022.

Sensortec, B. BPM280 *Digital Pressure Sensor*, 2015. Rev. 1.14. Disponível em: < <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/pressure-sensors/bmp280>> . Acesso em: 29 de maio de 2022.

SCHULZ, Daniel. Temperatura, 2009. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/temperatura.htm>> . Acesso em: 14 de junho de 2022.

SOUZA, A. R. de, Paixão, A. C., Uzêda, D. D., Dias, M. A., Duarte, S., & Amorin, H. S. de, 2011. A placa Arduino: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo PC.

TIBA, Chigueru et al. Metodologia para elaboração de mapas de radiação solar para Minas Gerais. In: V Congresso Brasileiro de Energia Solar. 2014.

TRENBERTH, Kevin E.; FASULLO, John T.; KIEHL, Jeffrey. Earth's global energy budget. Bulletin of the American Meteorological Society, v. 90, n. 3, p. 311-324, 2009.

ZHANG, Y.; WANG, J.; WANG, X. Review on probabilistic forecasting of wind power generation. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 32, p. 255-270, 2014. ISSN 1364-0321