



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

KEVIN DE PAULA AMORIM

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE AQUISIÇÃO DE DADOS
METEOROLÓGICOS DE BAIXO CUSTO BASEADO EM PLATAFORMA IOT E
ARDUINO**

REDENÇÃO

2021

KEVIN DE PAULA AMORIM

DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE AQUISIÇÃO DE DADOS
METEOROLÓGICOS DE BAIXO CUSTO BASEADO EM PLATAFORMA IOT E
ARDUINO

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Energias do Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energias.

Orientadora: Profa. Dra. Lígia Maria Carvalho Sousa Cordeiro.

REDENÇÃO

2021

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

Amorim, Kevin de Paula.

A543d

Desenvolvimento de protótipo de aquisição de dados meteorológicos de baixo custo baseado em plataforma IOT e Arduino / Kevin de Paula Amorim. - Redenção, 2021.
71f: il.

Monografia - Curso de Engenharia de Energias, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2021.

Orientador: Profa. Dra. Lígia Maria Carvalho Sousa Cordeiro.

1. Sistemas automáticos de aquisição de dados. 2. Geração de energia fotovoltaica. 3. Internet das Coisas. I. Título

CE/UF/BSP

CDD 621.47

KEVIN DE PAULA AMORIM

DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE AQUISIÇÃO DE DADOS
METEOROLÓGICOS DE BAIXO CUSTO BASEADO EM PLATAFORMA IOT E
ARDUINO

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Energias do Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energias.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Dr. Hermínio Miguel de Oliveira Filho
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Me. Caíke Damião Nascimento Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

À minha Mãe, a Larissa Chaves, a minha
família e aos meus amigos.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), ao Programa de Eficiência Energética da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL - PEE), (ANEEL - P&D) e Enel Distribuição Ceará por todo o suporte oferecido para a execução desta pesquisa.

À Profa. Dra. Lígia Maria Carvalho Sousa Cordeiro, pela excelente orientação.

À toda equipe de P&D.

Aos professores participantes da banca examinadora Prof. Dr. Hermínio Miguel de Oliveira Filho e Me. Caíke Damiano Nascimento Silva pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

À minha Mãe por todo empenho na minha educação e criação.

À Larissa Chaves pelo companheirismo e força nessa longa caminhada da vida.

À toda minha família.

A todos os meus amigos.

RESUMO

O desempenho dos módulos fotovoltaicos é influenciado principalmente pelos índices de radiação incidente e pela temperatura do ar. O uso de estações meteorológicas é de fundamental importância para o monitoramento dessas variáveis a fim de analisar a eficiência dos módulos fotovoltaicos. Embora a elevação da temperatura ambiente cause um pequeno aumento na corrente gerada pelos módulos fotovoltaicos, esse fator que causa a elevação pode resultar em uma redução significativa da tensão diminuindo a potência máxima fornecida pelo sistema. Assim, o conhecimento da temperatura do módulo fotovoltaico e da temperatura do ar, bem como da umidade relativa do ar, torna-se importante na análise da eficiência da geração fotovoltaica. Nesse contexto, o presente trabalho trata do desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados de temperatura e umidade de baixo custo baseado na plataforma de prototipagem Arduino MEGA e em um ambiente web voltado para aplicações de Internet das Coisas, o ThingSpeak. O presente trabalho faz parte do Projeto Prioritário de Eficiência Energética e Estratégico de P&D da Unilab em parceria com a Enel.

Palavras-chave: Aquisição de dados. Baixo Custo. Arduino. Internet das Coisas.

ABSTRACT

The performance of the photovoltaic modules is mainly influenced by the incident radiation levels and the air temperature. The use of meteorological stations is of fundamental importance for the monitoring of these variables in order to analyze the efficiency of the photovoltaic modules. Although the elevation of the ambient temperature causes a small increase in the current generated by the photovoltaic modules, this factor that causes the elevation can result in a reduced voltage reduction, decreasing the maximum power required by the system. Thus, the knowledge of the temperature of the photovoltaic module and the air temperature, as well as the relative humidity of the air, becomes important in the analysis of the efficiency of photovoltaic generation. In this context, the present work deals with the development of a low-cost temperature and humidity data acquisition system based on the Arduino MEGA prototyping platform and in a web, environment aimed at Internet of Things applications, ThingSpeak. This work is part of Unilab Priority Project for Energy Efficiency and Strategic R&D in partnership with Enel.

Keywords: Data acquisition. Low cost. Arduino. Internet of Things.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	- Módulos Fotovoltaicos de Primeira Geração.....	17
Figura 3.2	- Curva IxV conforme a variação da temperatura da célula.....	18
Figura 3.2	- Eficiência x Temperatura	19
Figura 3.4	- Estação Meteorológica Móvel Campbell.....	22
Figura 3.5	- Sensor de Temperatura e Umidade de Alta Performance.....	24
Figura 4.1	- Placa de Desenvolvimento Arduino Mega.....	27
Figura 4.2	- Sensor de temperatura e umidade DHT11.....	29
Figura 4.3	- Termopar tipo K + módulo MAX6675.....	30
Figura 4.4	- Módulo Wifi ESP8266-01S.....	32
Figura 4.5	- Módulo GPS NEO 6M.....	33
Figura 4.6	- Módulo RTC DS1307.....	34
Figura 4.7	- Módulo micro SD.....	35
Figura 4.8	- Regulador de tensão LM2596.....	36
Figura 4.9	- Estação Meteorológica do Campus das Auroras UNILAB.....	37
Figura 4.10	- Sensor de temperatura e umidade relativa do ar EE060.....	38
Figura 4.11	- Sensor de Temperatura de Superfície PT100.....	39
Figura 4.12	- Sistema proposto.....	40
Figura 4.13	- Esquemático desenvolvido no Eagle.....	41
Figura 4.14	- Testes em campo e laboratório.....	42
Figura 4.15	- Protótipo de Aquisição de Dados.....	43
Figura 4.16	- Plataforma IoT ThingSpeak.....	44
Figura 5.1	- Medições dos dados em campo.....	47
Figura 5.2	- Gráfico da temperatura do ar no ThingSpeak.....	48
Figura 5.3	- Gráfico da umidade relativa do ar no ThingSpeak.....	48
Figura 5.4	- Gráfico da temperatura do módulo fotovoltaico no ThingSpeak.....	49
Figura 5.5	- Localização do Protótipo no ThingSpeak.....	49
Figura 5.6	- Gráfico de comparação da temperatura do ar.....	50
Figura 5.7	- Gráfico de comparação da umidade relativa do ar.....	51
Figura 5.8	- Gráfico de comparação da temperatura do módulo fotovoltaico.....	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1 – Especificações Arduino Mega 2560 R3.....	27
Quadro 4.2 – Parâmetros Técnicos Sensor DHT11.....	28
Quadro 4.3 – Especificações técnicas MAX6675.....	30
Quadro 4.4 – Especificações Técnicas ESP8266-01S.....	31
Quadro 4.5 – Especificações Técnicas GPS NEO 6M.....	34
Quadro 5.1 – Comparativo de Custo entre o protótipo e a estação meteorológica.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
IoT	Internet of Things
WMO	World Meteorological Organization
PWM	Pulse Width Modulation
NTC	Negative Temperature Coefficient
SPI	Serial Peripheral Interface

LISTA DE SÍMBOLOS

a-Si	Silício Amorfo
CIS	Disseleneto De Cobre e Índio
CIGS	Disseleneto de Cobre, Índio e Gálio
I	Corrente Elétrica
V	Tensão Elétrica
TeCd	Telureto de Cádmiio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVO	15
2.1	Geral	15
2.2	Específico	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	Energia solar fotovoltaica.....	16
3.2	Influência da temperatura na geração fotovoltaica.....	17
3.3	Sistema de Aquisição e Monitoramento de Dados	19
3.4	Sistema comercial de aquisição de dados meteorológicos - Estação meteorológica.....	21
3.5	Medição de Temperatura e Umidade do Ar.....	22
3.5.1	<i>Temperatura do Ar</i>	22
3.5.2	<i>Umidade Relativa do Ar</i>	23
3.6	Sistema de aquisição de dados meteorológicos de baixo custo.....	24
3.7	Arduino.....	25
4	METODOLOGIA	26
4.1	Materiais utilizados.....	26
4.1.1	<i>Arduíno mega 2560 R3</i>	26
4.1.2	<i>Sensor de Temperatura e Umidade DHT11</i>	28
4.1.3	<i>Sensor de Temperatura de Superfície (Termopar tipo K + Módulo MAX6675)</i> .	29
4.1.4	<i>Módulo Wi-fi ESP8266-01S</i>	31
4.1.5	<i>Módulo gps NEO-6M</i>	33
4.1.6	<i>Clock RTC DS1307</i>	35
4.1.7	<i>Módulo leitor de cartão SD</i>	35
4.1.8	<i>Módulo regulador de tensão LM2596</i>	36
4.2	Estação meteorológica comercial da UNILAB.....	36
4.2.1	<i>Sensor de temperatura e umidade relativa do ar – EE060</i>	39
4.2.2	<i>Sensor de temperatura de superfície – PT100</i>	39
4.3	Sistema proposto.....	41
4.4	Esquemático.....	42
4.5	Desenvolvimento da placa de condicionamento de sinais.....	43

4.6	Configuração da plataforma IoT ThingSpeak.....	44
4.7	Coeficiente de pearson.....	45
5	RESULTADOS.....	46
5.1	Comparativos de custo.....	46
5.2	Sistema de monitoramento de dados.....	47
5.3	Análise quantitativa dos dados de medição.....	51
6	CONCLUSÃO.....	53
	REFERÊNCIAS.....	55
	APÊNDICE A - CÓDIGO UTILIZADO NO PROTÓTIPO.....	59

1 INTRODUÇÃO

Sistemas baseados em conversão solar fotovoltaica para geração energética têm se tornado cada dia mais utilizados. No Brasil, a energia solar apresenta-se como a fonte de energia com maior potencial, principalmente para mineração distribuída. Entretanto, existem aspectos que limitam a popularização mais abrangente dessa fonte de geração, tais como, investimento inicial elevado e eficiência baixa do sistema que, por consequência, aumenta os custos de implementação. Além disso, existem outros fatores que podem limitar o rendimento dessa tecnologia, como, sujeira, sombreamento, temperatura do módulo fotovoltaico, umidade e temperatura do ar e principalmente a radiação solar (BEZZO, 2017; SOUZA, 2018).

O desempenho dos sistemas fotovoltaicos apresenta muita suscetibilidade às alterações climáticas à qual estão expostos. A radiação solar bem como a temperatura ambiente e a temperatura dos módulos fotovoltaicos são fatores cruciais para o desempenho de sistemas de geração fotovoltaica. A temperatura do módulo que é dada em função da temperatura do ar influencia diretamente na capacidade de geração. Percebe-se que uma elevação na temperatura do módulo resulta em uma queda de tensão significativa, fator este, responsável pela redução da capacidade de geração causado pela queda da potência máxima dos módulos (BEZZO, 2017; PEROZA, 2015; RUVIARO, 2018).

Devido ao uso crescente de tecnologias voltadas ao aproveitamento da energia solar fotovoltaica para geração energética, vem a necessidade de ter o controle sob as variáveis que podem potencialmente interferir no rendimento dos módulos fotovoltaicos. O desenvolvimento de sistemas capazes de realizar monitoramentos constantes desses processos tem sido alvo de estudos que visam minimizar os custos desses sistemas. Devido ao alto custo dos sistemas de aquisição comerciais, a implementação desses sistemas torna-se inviável em muitos casos, sendo de grande importância a criação de alternativas de baixo custo, tendo em vista que o fator econômico é uma etapa crucial em todos os projetos (DUPONT, 2017).

A aquisição de dados ambientais, tais como temperatura e umidade relativa do ar, é realizada por sensores que convertem um sinal obtido, através das medições, em informações interpretáveis. O armazenamento dos dados de medição dos sensores é realizado por sistemas com *dataloggers* comerciais ou sistemas de baixo custo baseados em plataformas microcontroladas, tais como Arduino ou Raspberry (ZAGO, 2018).

Tendo em vista o contexto previamente citado, o presente trabalho tem como proposta o desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados de baixo custo baseado em placa de

desenvolvimento Arduino e em ambiente web voltado para aplicações de Internet da Coisas (IoT, do inglês *Internet of Things*), o ThingSpeak IoT. Os dados são medidos através de sensores de temperatura e umidade relativa do ar e um sensor de temperatura de superfície, todos de baixo custo, o sistema conta ainda com um módulo GPS informando dados de geolocalização. Os dados coletados são processados pelo microcontrolador ATmega 2560 e enviados para plataforma ThingSpeak via Wi-fi através do módulo Wi-fi ESP8266-01S.

O sistema de aquisição de dados de temperatura e umidade proposto ficará instalado na usina de minigeração fotovoltaica localizada no campus das Auroras da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB). A usina de minigeração fotovoltaica (FV) faz parte do Projeto Prioritário de Eficiência Energética (PEE) e Minigeração de Energia Fotovoltaica da UNILAB em parceria com a Enel Distribuição Ceará, fruto da chamada pública ANEEL nº 001/2016. Além da implantação da usina fotovoltaica, a interação entre a UNILAB e a Enel também contempla o Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) intitulado “Desenvolvimento de Sistemas de Monitoramento de Dados e Mitigação de Oscilações da Rede de Distribuição para Avaliação de Impactos da Minigeração na Qualidade da Energia da Unidade Didática da Auroras – UNILAB”.

2 OBJETIVO

2.1 Geral

Desenvolvimento e testes em campo de um protótipo de estação meteorológica de baixo custo na usina solar do Campus das Auroras – UNILAB, utilizando a plataforma Arduino integrado a sensores de monitoramento de variáveis ambientais, e envio de dados meteorológicos via Wi-fi acessados remotamente através da plataforma IoT ThingSpeak.

2.2 Específico

- Desenvolvimento do *firmware* do sistema de aquisição e comunicação;
- Caracterização de um algoritmo para a aquisição de dados meteorológicos de temperatura ambiente, temperatura de superfície do módulo fotovoltaico e umidade do ar, além de dados sobre geolocalização.
- Integração do protótipo de aquisição e monitoramento de dados com a plataforma IoT ThingSpeak;

- Realização de montagens e testes do sistema de aquisição de dados de forma funcional em campo;
- Coleta das amostras dos dados da estação meteorológica comercial e da estação de baixo custo desenvolvida e proposta;
- Validação dos dados da estação de baixo custo através da comparação com os dados coletados na estação meteorológica comercial.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Energia solar fotovoltaica

O aproveitamento energético a partir de fonte solar para fins de engenharia se dá basicamente de duas formas, a energia solar térmica e solar fotovoltaica. A energia solar térmica funciona pelo aquecimento de fluidos por intermédio de coletores térmicos que têm a capacidade de absorver uma quantidade considerável de calor para fins de produção industrial, geração de energia ou até aquecimento doméstico.

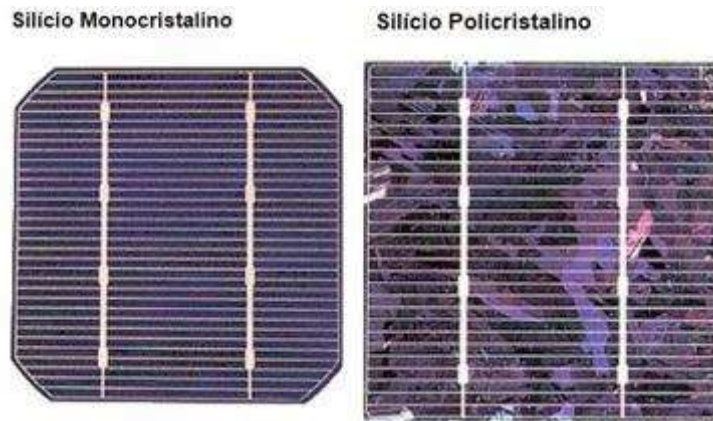
A energia solar fotovoltaica é a forma de utilização de energia solar mais explorada e encontra-se em constante expansão. Essa forma de energia é adquirida pela conversão energética da incidência de luz sobre um material semicondutor gerando corrente elétrica, efeito conhecido como efeito fotoelétrico. O efeito fotovoltaico foi descrito pela primeira vez pelo físico francês Edmond Becquerel, em 1839. Através de seus experimentos observou que a incidência de luminosidade sobre um material semicondutor gerava uma corrente elétrica (CRESESB, 2014).

O efeito fotovoltaico é a força motriz da geração solar fotovoltaica, e é adquirido a partir de materiais denominados de semicondutores. O semicondutor mais utilizado em placas fotovoltaicas é o silício, característico pelos seus aspectos de ligação por possuir quatro elétrons livres formando assim uma rede cristalina (CRESESB, 2014).

As placas fotovoltaicas são categorizadas em gerações, segundo a tecnologia empregada e o tipo de material semicondutor utilizado. A primeira geração, Figura 3.1, consiste na produção de placas de silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si), representando hoje 85% do mercado. A segunda geração de placas fotovoltaicas é denominada de filmes finos e dividida em três materiais utilizados: Silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre e índio (CIS) ou disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (TeCd). A terceira geração é caracterizada por utilizar materiais que estão em fase de pesquisa

e desenvolvimento, tais como, células de multijunção, células para concentração e as poliméricas (CRESESB, 2014).

Figura 3.1 - Módulos Fotovoltaicos de Primeira Geração.



Fonte: Adaptado de Cresesb, 2014.

As células solares de primeira geração representam a maioria no mercado de energia solar, principalmente por serem de tecnologia confiável e consolidada. Já as células de segunda geração ainda geram desconfiança aos investidores, algumas por possuírem baixa eficiência, outras por terem um custo elevado e baixa durabilidade. As células de terceira geração têm a característica de apresentar alta eficiência de conversão, entretanto, possuem um custo elevado por ainda não estarem consolidadas comercialmente.

3.2 Influência da temperatura na geração fotovoltaica

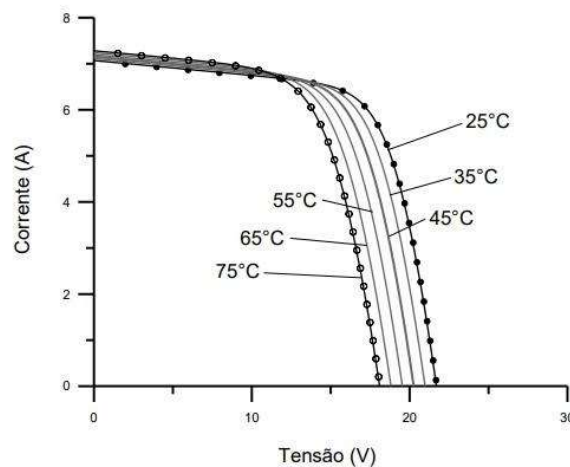
Na geração de energia solar existem variáveis que afetam a qualidade e eficiência de conversão. A irradiância, bem como sua distribuição espectral, a temperatura do módulo e a temperatura ambiente estão entre os fatores que determinam as condições da geração fotovoltaica. A irradiância quando encontra-se em níveis ideais de operação, a eficiência da célula fotovoltaica aumenta significativamente. Entretanto, para que esse fator seja preponderante, é necessário que a temperatura da placa seja mantida constante (CRESESB, 2014).

A temperatura da célula fotovoltaica em regiões cuja temperatura ambiente seja amena, ou não apresente níveis que possam interferir na potência produzida, pode não ser um fator de grande importância para a instalação. Entretanto, em regiões em que a temperatura chega a níveis muito elevados de modo que possa restringir a capacidade geração, é

necessário a realização do controle desta temperatura. Tal procedimento pode ser executado através de sensores acoplados a um sistema de monitoramento, e preferencialmente a um sistema de resfriamento, para adequação do sistema em caso de situações que possam interferir na eficiência de conversão energética.

A temperatura de operação do painel fotovoltaico está condicionada às variações de incidência solar e temperatura ambiente. O aumento da irradiância solar sobre a célula contribui com o aumento da temperatura de operação. A Figura 3.2 mostra a variação de tensão e corrente geradas conforme o aumento de temperatura de um módulo fotovoltaico de silício cristalino, sob uma irradiância de 1000 W/m^2 . Na curva corrente versus tensão (IxV) é possível observar um pequeno aumento da corrente elétrica e uma diminuição significativa da tensão gerada quando a temperatura ambiente aumenta. Este aumento de corrente, quase desprezível, não compensa a diminuição da potência de pico produzida pelo módulo que decresce conforme o aumento de temperatura (CRESESB, 2014).

Figura 3.2 - Curva IxV conforme a variação da temperatura da célula.

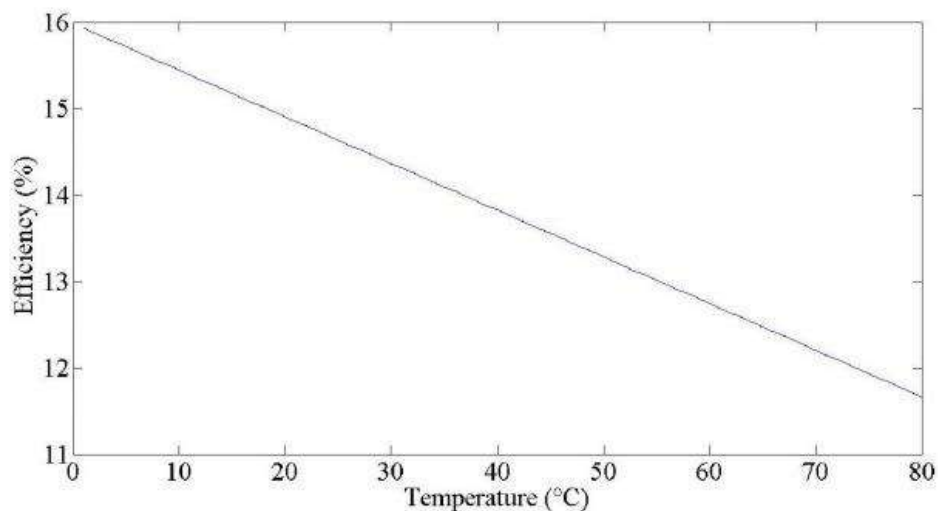


Fonte: CRESESB, 2014.

A tensão gerada pelo módulo fotovoltaico aumenta conforme o aumento da irradiação solar e reduz gradativamente com o aumento gradual da temperatura de operação do painel fotovoltaico (TINOCO, 2017). As características elétricas e a eficiência dos módulos são estimadas conforme a potência máxima de saída, sob condições de padronização (STC, do inglês *Standard Test Conditions*). Tais condicionalidades padrão são: irradiância solar de 1000 W/m^2 e temperatura de célula de 25° C . A diminuição da eficiência dos módulos fotovoltaicos está diretamente relacionada ao aumento de temperatura, portanto, podemos

inferir qual a eficiência do módulo conforme a aquisição de dados da temperatura ambiente em que o sistema está condicionado (FESHARAKI et al, 2011). A aquisição de variáveis ambientais é importante para avaliação da geração fotovoltaica e para a estimativa da eficiência do sistema. A Figura 3.3, demonstra a variação da eficiência versus temperatura de um painel fotovoltaico.

Figura 3.3 – Eficiência x Temperatura.



Fonte: FESHARAKI et al, 2011.

3.3 Sistema de aquisição e monitoramento de dados

Os avanços tecnológicos sempre evoluíram seguindo os princípios de necessidade do homem para cumprir funções as quais as limitações humanas impõem, sendo assim, essas ferramentas otimizaram métodos de produção, transporte de insumos, controle de variáveis ambientais e monitoramento de processos complexos. Para avaliação de variáveis que fazem parte de um processo, incluindo o de geração de energia fotovoltaica, são necessárias ferramentas como sensores, plataformas de aquisição, integração de análise de dados e um sistema supervisor, acessível remotamente na maioria dos casos.

A aquisição de dados relativos a variáveis ambientais temporais é um ramo da meteorologia que tem como especialidade a instrumentação meteorológica. Os fenômenos são estudados a partir de observações sensoriais e avaliados e validados conforme protocolos e parâmetros meteorológicos internacionais. Portanto, os instrumentos meteorológicos são equipamentos utilizados para aquisição de dados como: termômetros para medição de temperatura, barômetros para medidas de pressão atmosférica ou higrômetro para umidade

relativa do ar.

Os sistemas de aquisição e armazenamento de dados podem ser do tipo que permitem coletas de dados manualmente no local de instalação da estação, ou remotamente através de um sistema de transmissão de dados capaz de enviá-los de forma automática e periodicamente via satélite, internet ou através de dados móveis. Segundo o boletim da OMM (Organização Mundial de Meteorologia), o setor de energia possui diversos requisitos para aplicação de serviços de meteorologia. Os instrumentos de medição meteorológicos auxiliam no planejamento estratégico e nas tomadas de decisões operacionais na geração e distribuição de energia. Esses requisitos são impulsionados pela variação natural do clima e dos eventos proporcionados por essas variações, os quais por sua vez, têm o poder de afetar a capacidade, eficiência e qualidade da conversão energética (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2011).

Na geração de energia solar fotovoltaica a instrumentação meteorológica oferece muitos benefícios tendo em vista a existência de fatores ambientais que podem afetar a produtividade da geração. A topologia da planta fotovoltaica é essencial para a escolha de quais equipamentos de monitoramento utilizar. Para sistemas de geração de pequeno porte, com um pequeno número de painéis, o sistema de monitoramento necessita apenas de um *datalogger*, para o registro dos dados, e a coleta pode ser realizada de forma local. Contudo, se o sistema possuir grandes dimensões, a utilização de redes de comunicação sem fio, nos quais os dados possam ser enviados e acessados remotamente, é extremamente importante (REGES, 2017).

O monitoramento remoto dos sistemas de aquisição proporciona ao operador acesso em tempo real aos dados que estão sendo monitorados, bem como acesso ao banco de dados para extração de históricos. O uso da instrumentação meteorológica em usinas fotovoltaicas permite a detecção de falhas e anormalidades, permitindo que os parâmetros sejam verificados em intervalos de tempo relativamente pequenos (GUSA,2018; REGES,2017). Portanto, o sistema proposto mostra-se bastante eficiente tendo em vista que em situações indesejadas as variáveis sejam monitoradas remotamente permitindo um rápido diagnóstico de geração, solução de problemas e possíveis intervenções.

3.4 Sistema comercial de aquisição de dados meteorológicos - Estação meteorológica

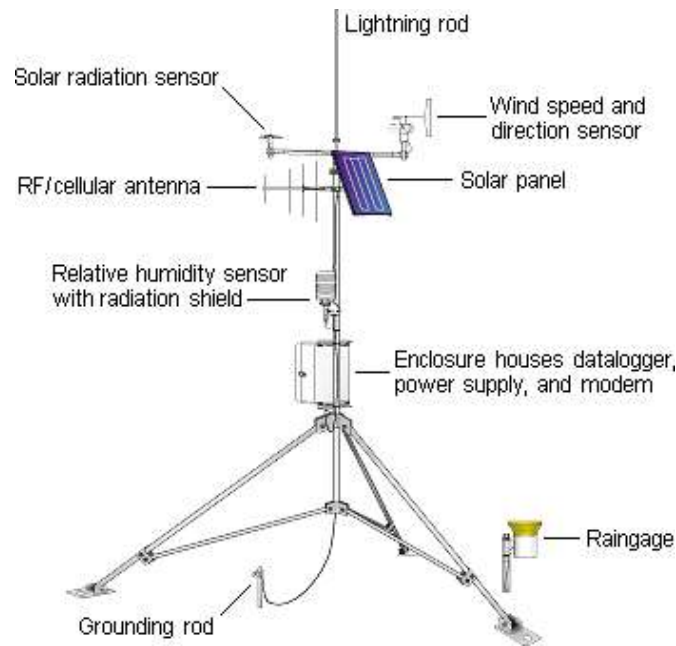
As estações de monitoramento comerciais, Figura 3.4, são amplamente utilizadas para

obtenção de dados meteorológicos que possam afetar na geração de energia. São também consideradas itens essenciais para montagem de uma base de dados sobre o funcionamento da usina, podendo ser utilizada para tomada de decisão sobre possíveis expansões de capacidade de geração da usina fotovoltaica. As estações meteorológicas devem ser compostas por sensores específicos para a função ao qual foram projetadas e para executar a aquisição das variáveis que possam interferir no processo, seja para fins didáticos, agrícolas, geração de energia, gestão de recursos hídricos, processos industriais ou monitoramento climático regional.

A medição das variáveis que estão sob influência das condições climáticas e atmosféricas são de grande importância para o desempenho e eficiência na geração de energia solar. O histórico obtido no armazenamento dessas medições é determinante para viabilizar a instalação de sistemas fotovoltaicos em determinadas regiões, garantindo um máximo aproveitamento do recurso em um intervalo de tempo em que os índices de irradiação solar, temperatura, umidade e velocidade do vento podem variar substancialmente ao longo do ano (CRESESB, 2014).

Os parâmetros e estimativas do recurso solar e sua confiabilidade em previsão de geração de energia elétrica convertida através de um sistema fotovoltaico são obtidos com base nos dados adquiridos por estações solarimétricas ou meteorológicas. A análise dos dados solarimétricos de diferentes fontes, a fim de obter resultados e um banco de dados sobre as variáveis ambientais que possam interferir na capacidade produtiva, é de fundamental importância para que a geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos se consolide como um dos principais modais de geração energética (CRESESB, 2014).

Figura 3.4 - Estação Meteorológica Móvel Campbell.



Fonte: www.campbellsci.com/systems.

3.5 Medição de temperatura e umidade do ar

3.5.1 Temperatura do ar

Para análise de dados meteorológicos, a temperatura é medida para vários fins, sendo a variável mais medida a temperatura do ar. Outras variáveis de temperatura são: temperatura do solo, temperatura de fluidos e temperatura de superfície. A definição de temperatura do ar é dada pela OMM (do inglês, WMO - *World Meteorological Organization*) como a temperatura ou quantidade termodinâmica indicada por um termômetro exposto ao ar em um local abrigado protegido da radiação solar direta. As medições dessas variáveis de forma local, regional ou global são utilizadas como entrada de modelos numéricos de previsão do tempo, para fins hidrológicos, agrícolas e como indicador de variação climática (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2008).

Na medição de temperatura do ar, alguns parâmetros são definidos a fim de regulamentar as condições mínimas para que os dados medidos estejam conforme os índices de qualidade para confiabilidade dos dados. Para temperatura do ar, o método de medição se faz através de instrumentos elétricos, em virtude de sua precisão e diminuição significativa da

ocorrência de erros. O erro de medição tolerado segundo parâmetros da OMM é de 0,2°C para medições de máxima e 0,3°C para mínimas. Esse erro médio pode variar conforme os tipos de sensores utilizados e as variáveis intrínsecas do ambiente de medição, como parâmetros de temperatura de operação e pressão, sendo necessário portanto um tratamento de dados posterior as medições ou um sistema de compensação eletrônica com as devidas correções (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2008).

3.5.2 Umidade relativa do ar

A umidade do ar é uma variável que possui uma grande importância para maioria das áreas que necessitam de monitoramento através de estações meteorológicas. Existem diferentes métodos de medição desta variável entre eles estão a medição por proporção de umidade, umidade específica do ar, umidade relativa do ar, pressão parcial de vapor e pressão parcial de vapor por saturação (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2008).

A umidade relativa do ar é o método de medição mais utilizado na maioria dos processos de obtenção meteorológica, e é responsável por medir a proporção, em níveis de porcentagem, da pressão de vapor observada de saturação em relação à pressão de água à mesma temperatura e pressão. A medição de umidade é extremamente necessária para a análise de processos em aplicação para hidrologia, agricultura, aeronáutica, serviços e estudos ambientais e, especialmente, na área energética, tendo em vista que a área energética depende das perspectivas e condições climáticas para geração de energia de forma eficiente. A medição de umidade relativa do ar segue parâmetros especificados pela OMM que determina que a medição da umidade deve ser feita sob um *range* entre 5-95%, com temperaturas que variam entre -10°C e 35°C, e acurácia de 1% como sendo alta e 5% como média, e com constância de medição entre 40 segundos e saída de no mínimo 60 segundos de diferença entre medições (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2008). A Figura 3.5, a seguir mostra um sensor de temperatura e umidade de alta performance.

Figura 3.5 - Sensor de Temperatura e Umidade de Alta Performance.



Fonte: Datasheet Campbell EE060.

3.6 Sistema de aquisição de dados meteorológicos de baixo custo

Os sistemas de aquisição de dados comerciais são amplamente aplicados ao monitoramento de sistemas fotovoltaicos seja ele de grande ou pequeno porte. Entretanto, as estações meteorológicas comerciais apresentam um alto custo de instalação e manutenção que pode comprometer o orçamento do projeto de implantação e desenvolvimento de usinas de pequeno porte. Como alternativa de monitoramento das variáveis ambientais, o seguinte trabalho propõe a implantação de um sistema de aquisição de dados de baixo custo.

O desenvolvimento tecnológico que tem ocorrido nos últimos anos na área da elétrica, eletrônica, automação e da computação, fez com que empresas, centros de pesquisa e universidades investissem em aprimoramento tecnológico fazendo com que desenvolvam equipamentos com melhores características e funções com baixo custo e com potenciais aplicações (DUPONT,2017). Na literatura é possível encontrar projetos de desenvolvimento de protótipos de aquisição de dados de baixo custo baseados nas plataformas microcontroladas Arduino e Raspberry Pi. Tais plataformas são de código aberto e possuem sensores e dispositivos de fácil integração, controle e medição de variáveis, possibilitando um grande número de aplicações em diversas áreas.

Os microcontroladores são plataformas de desenvolvimento bastante utilizadas para o desenvolvimento de sistemas de aquisição de dados, devido ao seu baixo custo, aplicabilidade e de fácil integração a outros sistemas. Os microcontroladores são sistemas computacionais

capazes de integrar, em um chip, microsistemas que contêm interfaces seriais de entrada/saída digitais e analógicas, periféricos como a memória RAM, memória FLASH, interfaces de comunicação integradas, conversores A/D, temporizadores e contadores.

Os microcontroladores têm a vantagem de consumirem pouca energia, geralmente são dispositivos que são alimentados através de baterias ou fontes de alimentação. Por este benefício, são preferencialmente aplicados em sistemas eletroeletrônicos como controle de motores, sistemas periféricos de computadores, dispositivos de testes e medição de variáveis. São adequados para aplicações que exigem um uso racional de consumo energético, aplicações em campo com baterias de longa duração ou em sistemas de aquisição e controle de variáveis que necessitem de conversores analógico/digital (ELPROCUS, 2020).

Existem inúmeros projetos de sistemas de aquisição de dados no mercado, e nos últimos anos têm surgido iniciativas que propõem baratear os custos, implementar aplicações e melhorar a eficiência destes sistemas. Nos sistemas de aquisição comerciais é comum o uso de conexões físicas de transferência de dados que são conectados a um computador que desempenha a função de gerenciamento de bancos de dados (FILHO, 2017).

Aplicações baseadas em plataformas microcontroladas monitoradas automaticamente via web tem se destacado no cenário de automação. Assim, servidores web com baixo custo são capazes de solucionar diversos problemas, como mobilidade e acesso restrito ao local de medição, além de gerar benefícios de economia de tempo e efetividade do projeto.

Em seu trabalho, Moreira (2019) implementou uma miniestação meteorológica que desempenha a aquisição de dados ambientais através de comunicação sem fio via Wi-fi. A miniestação foi construída a partir do microcontrolador ESP32 e sensores de baixo custo que realizaram a leitura de umidade do ar, temperatura, chuva e umidade do solo. Os dados armazenados eram compartilhados com outros usuários através de um sistema supervisor conectado à internet. O baixo custo de implementação de tais sistemas de aquisição, somados à alta flexibilidade e aplicações fazem com que sejam opções viáveis, funcionais e eficientes para o monitoramento, aberto a visualização e análise para qualquer usuário de maneira remota via internet.

3.7 Arduino

O Arduino é uma plataforma microcontrolada contendo uma conexão via USB (do inglês, *universal serial bus*) que permite a ligação com um computador. Além disso, a placa contém outros terminais que permitem conexões externas com diversos dispositivos, como

motores, relés, sensores, diodos, dispositivos alto-falantes e outros. A plataforma de prototipagem Arduino pode receber alimentação via plugue USB, por intermédio de uma fonte de alimentação ou por uma bateria 9V. O Arduino permite o controle diretamente pelo computador, através da interface Arduino IDE, ou pode ser programado pelo computador para em seguida ser desconectado para uso em campo, permitindo o funcionamento independente da presença do computador (MONK, 2013).

As placas de desenvolvimento Arduino, como Uno, Nano e Mega, dispõem de tecnologia de baixo custo que podem ser utilizadas em diversas aplicações, como integração a sistemas e processos, possui ainda uma plataforma de desenvolvimento a, IDE Arduino, que se encontra disponível gratuitamente para Windows, Mac e Linux. (MONK, 2013). O Arduino é composto por um microcontrolador, da fabricante americana Atmel, circuitos de entrada/saída, facilmente conectados a um sistema computacional, e programado via IDE (do inglês, *Integrated Development Environment*, ou *Ambiente de Desenvolvimento Integrado*) utilizando a linguagem baseada em C/C++ conectado através de um cabo USB (THOMSEN, 2014).

4 METODOLOGIA

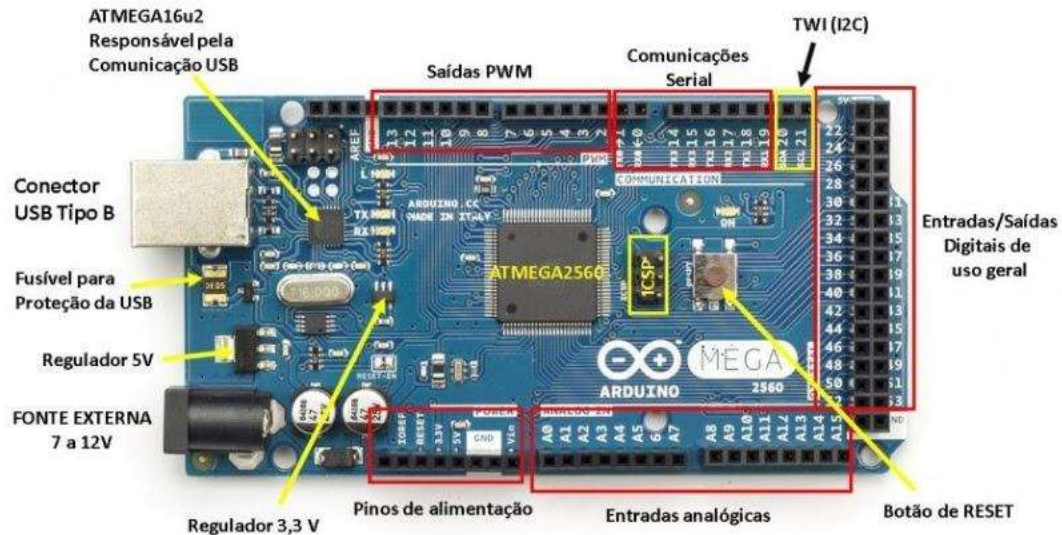
4.1 Materiais utilizados

A seguir serão descritos os materiais utilizados para elaboração do projeto, incluindo a plataforma de desenvolvimento, sensores e módulos.

4.1.1 Arduino Mega 2560 R3

O Arduino Mega foi lançado em 2010 pela fabricante italiana Smart Projects em relação ao modelo mais popular da categoria, o Uno, possui *upgrades* em relação a capacidade de processamento das versões anteriores. A plataforma de desenvolvimento Mega usa o microcontrolador ATmega 2560 e tem maior capacidade de memória, maior número de pinos e funções (MURTA, 2018). Na Figura 4.1 são demonstradas as especificações físicas do Arduino Mega 2560, bem como seu aspecto demonstrativo.

Figura 4.1 – Placa de Desenvolvimento Arduino Mega.



Fonte: <https://www.embarcados.com.br/arduino-mega-2560/>.

O Arduino Mega 2560 é uma plataforma microcontrolada baseada no microprocessador ATmega2560. Possui 54 pinos de entrada/saída digitais, dos quais 15 podem ser utilizadas como saídas PWM (do inglês, *Pulse Width Modulation*), utilizada para variação no formato de uma onda periódica de um sinal, 16 entradas analógicas, 4 portas seriais de hardware, um oscilador de cristal de 16MHz, conexão USB, uma conexão para alimentação externa, conexão de transferência de dados ICSP e um botão reset. A plataforma Arduino Mega também é compatível com outros dispositivos Arduino, como Uno, Duemilanove, Diecimila e Nano, pode também ser integrada com outros microcontroladores. No Quadro 4.1 a seguir estão descritas as especificações técnicas disponibilizadas pelo fabricante.

Quadro 4.1 - Especificações Arduino Mega 2560 R3.

Arduino Mega 2560	
Microcontrolador	Atmega 2560
Tensão de operação	5V
Tensão de entrada	7V-12V
Pinos de E/S digitais	54 (15 saídas PWM)

Pinos Analógicos	16
Corrente DC/pino	20mA
Memória Flash	256 KB
SRAM	8KB
EEPROM	4KB
Clock Speed	16MHz
Dimensões	101,52 X 53,3 mm

Fonte: <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>.

4.1.2 Sensor de temperatura e umidade DHT11

O sensor de temperatura e umidade DHT11 é um sensor composto que tem como saída um sinal digital calibrado. O dispositivo inclui um sensor capacitivo para umidade e um dispositivo de medição de temperatura NTC (do inglês, *Negative Temperature Coefficient*) integrado. A tecnologia integrada aos dois sensores possui uma boa estabilidade e durabilidade (DATASHEET AOSONG, [200-?]). O Quadro 4.2 apresenta os parâmetros técnicos do sensor de temperatura e umidade DHT11 da fabricante Aosong.

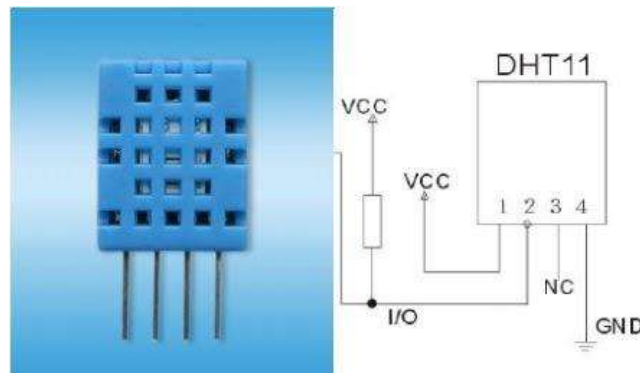
Quadro 4.2 - Parâmetros Técnicos Sensor DHT11.

DHT 11	
Precisão Umidade (% HR)	± 5
Faixa de Operação (% HR)	5~95
Tempo de Resposta	6 s
Precisão Temperatura (°C)	± 1
Faixa de Operação (°C)	-20~60
Tempo de Resposta	10 s
Tensão de Entrada	3.3~5V
Dimensões	23,3 x 12,5 x 5,8 mm

Fonte: Datasheet Aosong [200-?].

O sensor de temperatura e umidade DHT11, Figura 4.2, tem várias aplicações como, em sistemas de umidificadores de ar, controle de irrigação na agricultura, sistemas de refrigeração, automóveis, controle automático de temperatura, registradores de dados, controle de postos de gás, aplicações em equipamentos médicos, estações meteorológicas, entre outras.

Figura 4.2 - Sensor de temperatura e umidade DHT11.



Fonte: Datasheet Aosong [200-?].

São encontrados na literatura diversos trabalhos e aplicações para sensores de temperatura em sistemas de aquisição de dados ambientais. No trabalho de Parthasarathy et al (2016); Moura et al (2018); Parikh et al (2015), é utilizado o sensor de temperatura LM35 que apresenta baixo custo e possui ampla aplicabilidade. Em Gusa et al (2018) utilizou-se o sensor de temperatura e umidade DHT11 integrado a um sistema de monitoramento fotovoltaico, destacando-se por seu baixo custo.

4.1.3 Sensor de temperatura de superfície (Termopar tipo K + Módulo MAX6675)

O sensor de temperatura de superfície possui um módulo conversor analógico/digital de 12 bits embutido, MAX6675, que tem como função converter o sinal recebido pelo termopar. O módulo MAX6675 é composto por uma junção fria capaz de fazer a compensação caso alguma falha for detectada. Possui ainda um controlador digital e uma interface de comunicação SPI (do inglês, *Serial Peripheral Interface*) que permite a integração com dispositivos microcontrolados. O módulo foi projetado para funcionar integrado a um microcontrolador ou outros sistemas inteligentes para aplicações

termostáticas, controle de processos ou monitoramento (DATASHEET MAX6675, [200-?]). No Quadro 4.3 são descritas algumas informações técnicas disponibilizadas pelo fabricante.

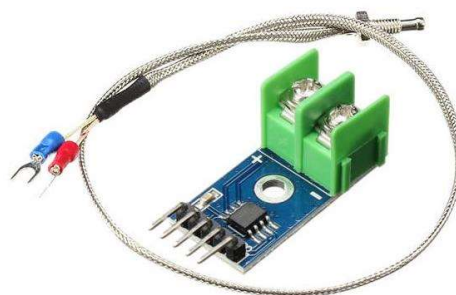
Quadro 4.3 - Especificações técnicas MAX6675

Módulo MAX6675 + Termopar tipo K	
Precisão (%)	~1,5
Tensão de Entrada	5V
Faixa de Operação (°C)	0~800
Comprimento do termopar	50 cm
Dimensões do módulo	32 x 15 x 14 mm

Fonte: Datasheet MAX6675 [200-?].

O módulo MAX6675, Figura 4.3, é capaz de verificar e detectar uma diferença de temperatura entre as extremidades dos fios do termopar. A junção quente do sensor lê em um intervalo de 0 ° C a + 1023,75 ° C, enquanto a junção fria do sensor lê intervalos de -20 ° C a + 85 ° C. Enquanto a temperatura da extremidade fria apresenta valores flutuantes, o módulo detecta com precisão a diferença de temperatura para a junção quente, com isso, são realizados ajustes e alterações necessárias de compensação para atribuir a temperatura correta da superfície medida (DATASHEET MAX6675, [200-?]).

Figura 4.3 - Termopar tipo K + módulo MAX6675.



Fonte: <https://www.filipeflop.com/produto/termopar-tipo-k-com-modulo-MAX6675/>.

O sensor termopar com módulo MAX6675, como dito anteriormente, pode ser utilizado para medir a temperatura de superfície através do termopar, que é um sensor robusto e que apresenta um baixo custo ao projeto. Diferente da maioria dos métodos para medição de temperatura, os termopares não exigem alimentação externa. A principal limitação desse

dispositivo é a precisão de medida onde variações menores do que 1°C são difíceis de alcançar. No trabalho desenvolvido por (TINOCO et al, 2017) foi utilizado um termopar tipo K para avaliar o desempenho térmico de um painel fotovoltaico. Esse sensor possui uma ampla aplicação proporcionada também pela sua ampla faixa de operação que varia de -270 até 1260°C e seu cabo de extensão de 0 até 200°C.

4.1.4 Módulo Wi-fi ESP8266-01S

O módulo Wi-fi ESP8266-01S foi projetado para aplicações móveis, transmitindo informações via internet Wi-fi para um banco de dados, é conhecido na automação como, Internet das Coisas (IoT, do inglês *Internet of things*) recurso esse reconhecido pela interconexão física de módulos e sistema web capaz de ser acessado remotamente em qualquer lugar do mundo. O módulo ESP8266-01S possui um alcance de 1 a 100 metros da rede de transmissão Wi-fi, com frequência de 2,4 e 5 GHz e taxa de transmissão de dados entre 11 e 54 Mbits/s. Entretanto, esse modelo apresenta um alto consumo de energia. Visando a economia energética, o sistema opera em três modos: modo ativo, modo de suspensão e modo suspensão prolongada. Tal estratégia utiliza técnicas avançadas de otimização no consumo de energia enquanto não recebe comandos de transmissão de dados. Para o controle de alternância entre os modos de funcionamento, o módulo utiliza-se de funções pré-programadas de fábrica para funcionar conforme uma condição especificada, permitindo que o dispositivo fique em modo de espera e consumindo o mínimo de energia até o Wi-fi ser detectado (Datasheet ESP8266-01S, [200-?]). No Quadro 4.4 são apresentadas algumas especificações do módulo ESP8266-01S e na Figura 4.4 é mostrado o módulo e suas características físicas.

Quadro 4.4 - Especificações Técnicas ESP8266-01S.

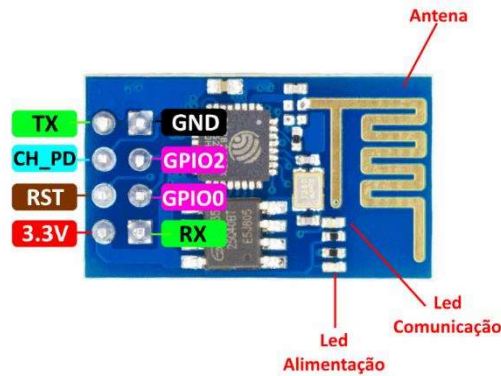
Módulo Wi-fi ESP8266-01S	
Modelo	ESP-01S
Tensão de Operação	3,3V
Suporte à Redes	802.11 b/g/n
Alcance	90~100 m
Comunicação	Serial (RX/TX)
Dimensões	25 x 14 x 1 mm

Fonte: Datasheet ESP8266-01S [200-?].

O ESP-01S possui um alcance de 1 a 100 metros da rede de transmissão Wi-fi, com frequência de 2,4 e 5 GHz, e taxa de transmissão de dados entre 11 e 54 Mbits/s, entretanto esse modelo apresenta um alto consumo de energia. Nos sistemas desenvolvidos por Kandimalla (2017), Moura e Gusa (2018) foi utilizada transmissão de dados via Wifi. No trabalho desenvolvido por Bogan (2017) e Zago (2018) uma das formas de realizar a transmissão de dados via Wifi entre o Arduino e o computador é utilizando um shield Ethernet, dispositivo que permite acesso a uma rede local cabeada. Também é possível transmitir dados utilizando um Módulo Wireless ESP8266-01S, Figura 4.4.

O módulo ESP8266-01S possibilita a integração da plataforma Arduino nas redes wireless 802.11 b/g/n, enviando e recebendo os dados através do modo AP (*Access Point*/Ponto de acesso) e STA (*Station*). Essa comunicação com o microcontrolador é possibilitada através de uma interface serial que é integrada a plataforma de desenvolvimento. O ESP8266-01S possui uma antena interna e 8 pinos conectores, além de LEDs indicadores de funcionamento (vermelho) e comunicação (azul). Nos módulos atuais da série ESP8266-01S há apenas um LED indicador de funcionamento, que quando energizado, acende, e quando transmite dados, o LED pisca. A comunicação é feita através das conexões RX/TX do ESP-01S com os pinos RX/TX do Arduino. O módulo Wi-fi ESP8266-01S é um dispositivo que apresenta baixo custo e aplicabilidade em sistemas de monitoramento de dados remotos, ocupando poucas saídas do microcontrolador permitindo assim que outros dispositivos sejam integrados ao sistema.

Figura 4.4 - Módulo Wi-fi ESP8266-01S.



Fonte: <https://www.filipeflop.com/produto/modulo-Wifi-ESP8266-01S-esp-01/#tab-description>.

4.1.5 Módulo GPS NEO-6M

O módulo GPS NEO-6M, conforme apresentado na Figura 4.5, é uma série da família NEO-6 de receptores GPS que tem o U-blox, que é o receptor de dados de posicionamento geográfico. Os receptores caracterizam-se pela aplicabilidade, além de serem flexíveis, econômicos e oferecerem inúmeras opções de conectividade. O módulo apresenta arquitetura compacta, opções de gerenciamento de uso de energia e memória, tornando-o ideal para dispositivos móveis ou que possam ser acessados remotamente, que apresentam restrições energéticas operados por baterias ou que apresentam pouco espaço para armazenamento de dados. O mecanismo de aquisição e comunicação do dispositivo apresenta 2 milhões de correlacionadores de transmissão, sendo capaz de realizar varreduras e buscas paralelas no espaço/tempo através de um sistema de triangulação, permitindo encontrar satélites quase que instantaneamente (DATASHEET GPS NEO 6M, [200-?]).

Figura 4.5 – Módulo GPS NEO 6M.



Fonte: Datasheet GPS NEO 6M [200-?].

O Módulo GPS NEO-6M é um módulo GPS pronto para uso junto a placas de desenvolvimento, capaz de determinar de maneira autônoma sua localização com 2,5m de precisão horizontal. O dispositivo utiliza a comunicação serial/TTL, utilizando os pinos RX/TX, possuindo somente quatro pinos. Com estas características, o módulo possui diversas aplicações como monitoramento de drones, veículos automotores, serviços de localização e monitoramento e serviços de mapeamento e rotas. No Quadro 4.5, estão algumas especificações do módulo (DATASHEET GPS NEO 6M, [200-?]).

Quadro 4.5 – Especificações técnicas GPS NEO 6M.

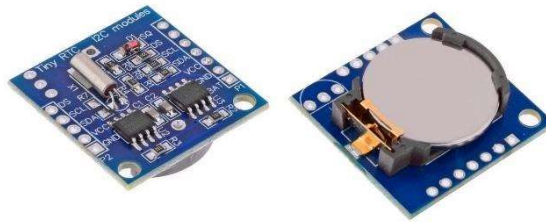
Módulo GPS NEO-6M	
Tensão de Operação	3~5V
Velocidade Padrão	9600 bps
Faixa de Atualização	5Hz
Velocidade Limite	500 m/s
Armazenamento	EEPROM
Dimensões	30 X 23 X 4 mm

Fonte: Adaptado de Datasheet GPS NEO 6M [200-?].

4.1.6 Clock RTC DS1307

O módulo RTC (do inglês, *Real Time Clock*) DS1307, mostrado na Figura 4.6, é um relógio de tempo real que apresenta uma alta precisão e baixo consumo de energia. O dispositivo possui um calendário decimal codificado em linguagem binária de baixa potência e uma memória de 56 bytes de NV SRAM, memória de acesso não volátil. O módulo se comunica com dispositivos embarcados por intermédio do protocolo I2C. Além disso, possui os pinos SCL, responsável pela comunicação com o *clock* do barramento, e o pino SDA, responsável pela transmissão de dados. Em seu circuito integrado, possui um cristal oscilador, responsável pela precisão de sincronia do tempo. O módulo conta ainda com o pino de GND e de alimentação VCC podendo ser alimentado por 3,3V ou 5V diretamente na placa Arduino (DataSheet RTC DS1307, [200-?]).

Figura 4.6 – Módulo RTC DS1307.



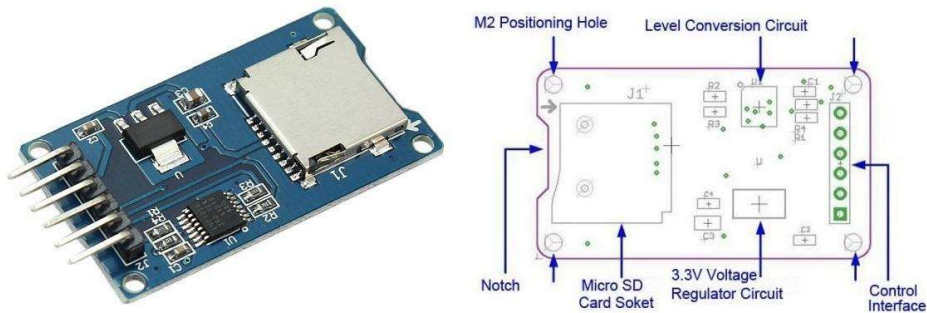
Fonte: <https://www.filipeflop.com/produto/real-time-clock-rtc-ds1307/>.

O módulo possui um relógio/calendário no formato de segundos, minutos, horas e informações de data, dia, meses e anos. Ao final de cada mês, o calendário é automaticamente ajustado para meses com menos de 31 dias e também a correção para mudança de ano. O RTC DS1307 possui um circuito integrado capaz de detectar falhas na energia de alimentação migrando para fonte de alimentação de *backup*, localizada na parte externa do dispositivo, sem alterações na cronologia do mesmo (DataSheet RTC DS1307, [200-?]).

4.1.7 Módulo leitor de cartão SD

O módulo adaptador de cartão micro SD, mostrado na Figura 4.7, é um dispositivo integrado para leitura e gravação de variáveis por intermédio de arquivos e drivers. Possui interface de comunicação SPI (do inglês, *Serial Peripheral Interface*) que permite a comunicação do módulo com sistemas embarcados por intermédio de comandos de requisição de gravação e armazenamento de variáveis. O módulo conta com uma entrada de cartão micro SD, o qual é acoplado ao circuito interno do dispositivo. A placa de circuito interno possui um conversor de nível de tensão de 5V e 3,3V, trazendo versatilidade na alimentação do módulo, o dispositivo possui também uma interface de controle com 6 pinos, sendo eles GND, VCC, MISO, MOSI, SCK e CS (Datasheet Módulo SD, [200-?]).

Figura 4.7 – Módulo micro SD.

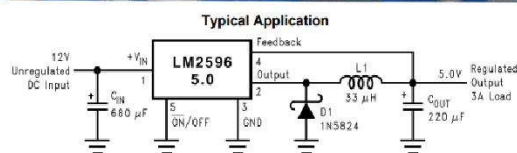
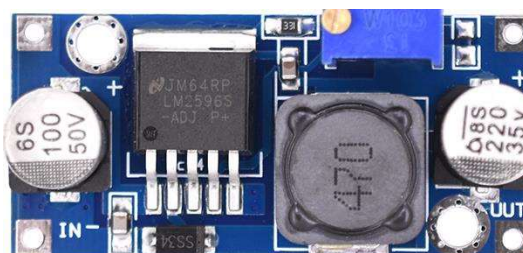


Fonte: Adaptado de datasheet módulo SD.

4.1.8 Módulo regulador de tensão LM2596

O módulo regulador de tensão LM2596, Figura 4.8, é utilizado para regulação da tensão de entrada do protótipo. O regulador de tensão da série LM2596 é um regulador do tipo monolíticos que possui características de abaixador de tensão, ou seja, possui característica *Buck*. O regulador LM2596 possui uma versão de saída fixa de tensões de 3,3V, 5V e 12V, e uma versão de saída ajustável a qual será utilizada no protótipo proposto. Esse tipo de regulador de tensão é de fácil uso e possui diversas aplicações em circuitos eletrônicos que são alimentados através de cargas irregulares. Possui ainda um oscilador de frequência fixa e um compensador de frequência interna, contando com uma frequência de comutação de 150 kHz, permitindo um filtro de menores dimensões.

Figura 4.8 – Módulo regulador de tensão LM2596.



Fonte: Adaptado de Datasheet LM2596 [200-?].

4.2 Estação meteorológica comercial da UNILAB

A estação meteorológica comercial, conforme apresentado na Figura 4.9, foi instalada nas proximidades da usina de mineração do campus das Auroras UNILAB, localizada no município de Redenção, Ceará. A estação conta com diversos sensores essenciais para o monitoramento e aquisição de dados meteorológicos e solarimétricos: piranômetro de radiação solar global, piranômetro de radiação solar difusa com anel de sombreamento, sensor de temperatura e umidade do ar EE060, sensor de temperatura do módulo fotovoltaico PT100 e sensor de velocidade do vento. O sistema conta ainda com um *datalogger* para aquisição e gravação dos dados de monitoramento que podem ser acessados *in loco*.

Figura 4.9 – Estação Meteorológica do Campus das Auroras UNILAB.



Fonte: Autor.

O trabalho em questão pretende analisar os dados comparativos entre o sensor de umidade e temperatura do ar EE060 e o sensor de temperatura de superfície PT100 com os sensores do protótipo de aquisição de dados de baixo custo, propondo um sistema alternativo para monitoramento e aquisição de dados meteorológicos.

4.2.1 Sensor de temperatura e umidade relativa do ar - EE060

O sensor de temperatura e umidade relativa do ar EE060, Figura 4.10, é um sensor de alta performance e precisão, com aquisição de temperatura a uma faixa de medição entre -40°C e +60°C, e para o sensor de umidade relativa do ar possui uma faixa de 0% até o máximo de 100%. O erro relativo à medição de umidade relativa do ar é aproximadamente +/- 2,5% a 20°C, e para temperatura do ar um erro de aproximadamente +/- 0,3°C a uma temperatura padrão de 20°C. Possui uma ampla faixa de alimentação variando entre 3,6 e 30 Volts DC, uma corrente de 1,5mA e é composto de um material de policarbonato e um índice de proteção IP65 (Datasheet EE060, [200-?]).

Figura 4.10 – Sensor de temperatura e umidade relativa do ar EE060.



Fonte: Datasheet EE060 [200-?].

4.2.2 Sensor de temperatura de superfície – PT100

O sensor de temperatura de superfície PT100 Figura 4.11, é um sensor de alta performance e de excelente precisão, com medição de temperatura a uma faixa entre -30°C e +200°C. Esse tipo de sensor é o mais indicado para medições em tubulações e superfícies. Altamente recomendado para medições em módulos fotovoltaicos, e tem dimensões de

31x13x4 mm. O sensor é integrado ao *datalogger* que fica na estação e pode ser instalado a uma distância de até 45 metros do local (Datasheet PT100, [200-?]).

Figura 4.11 – Sensor de Temperatura de Superfície PT100.



Fonte: Datasheet PT100 [200-?].

4.3 Sistema proposto

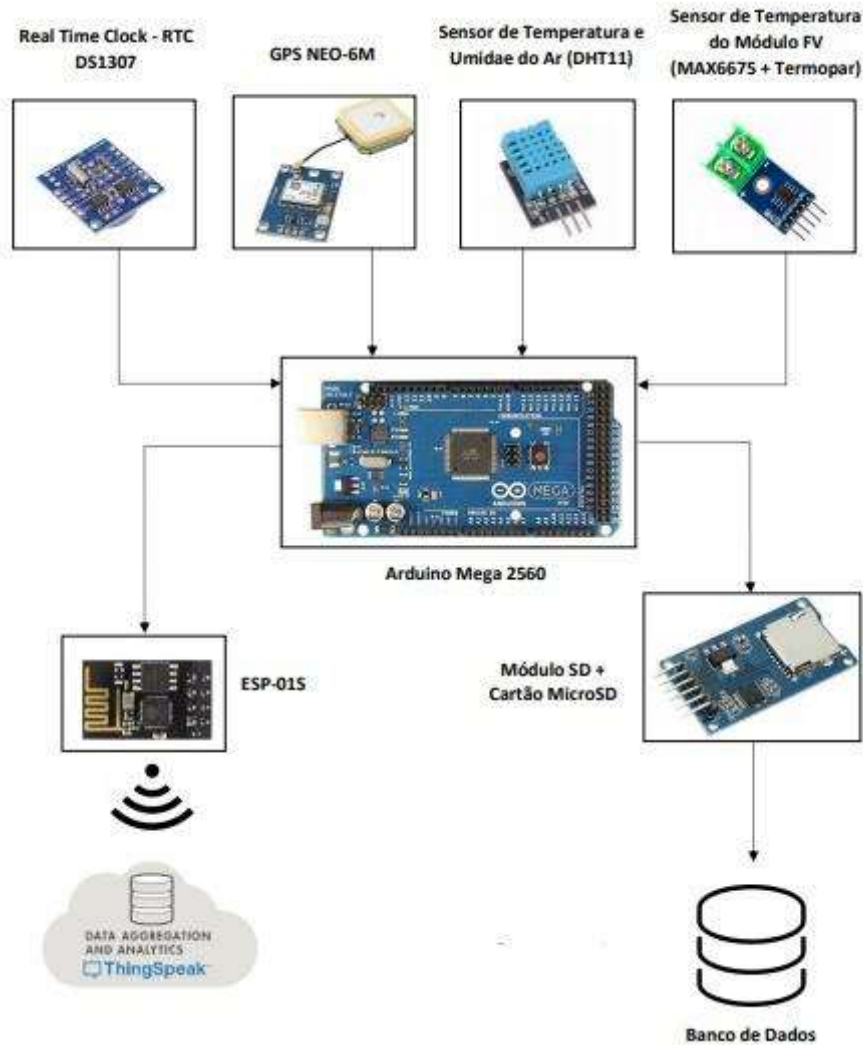
O sistema proposto foi desenvolvido conforme os objetivos do projeto de aquisição e monitoramento de variáveis meteorológicas e dividido basicamente em quatro etapas na fase de desenvolvimento. As etapas de planejamento foram fundamentais para observação minuciosa de todos os componentes, sensores e módulos, e suas respectivas formas de funcionamento, individualmente e em conjunto com outros componentes. O parágrafo a seguir aborda as etapas básicas de implementação do sistema de aquisição proposto.

Na primeira etapa do projeto, todos os componentes foram estudados e foi realizada uma análise bibliográfica de todas as atribuições dos dispositivos visando o objetivo final que é o protótipo. Na segunda etapa foi realizada a programação do Arduino e testes individuais de todos os componentes na interface de programação Arduino IDE, utilizando suas respectivas bibliotecas. Na terceira etapa de desenvolvimento foi realizada a integração dos componentes e adaptação do código fonte utilizado. Na quarta e última etapa foram realizados testes em campo, o qual verificou-se o funcionamento individual dos sensores e módulos, bem como a qualidade do envio dos dados de aquisição para a plataforma IoT ThingSpeak. Na quarta etapa, após a verificação do perfeito funcionamento em conjunto dos sensores, foi possível prosseguir para etapa construtiva da placa de condicionamento de sinais.

No protótipo de aquisição os dados, conforme mostrado na Figura 4.12, os dados

coletados pelos sensores são enviados via wireless, através do módulo ESP8266-01S, para o banco de dados da nuvem da plataforma IoT, ThingSpeak. Além disso, tais dados podem em seguida ser baixados e incorporados ao banco de dados principal, para fins de processamento para qualquer tipo de análise posterior.

Figura 4.12 – Sistema Proposto.



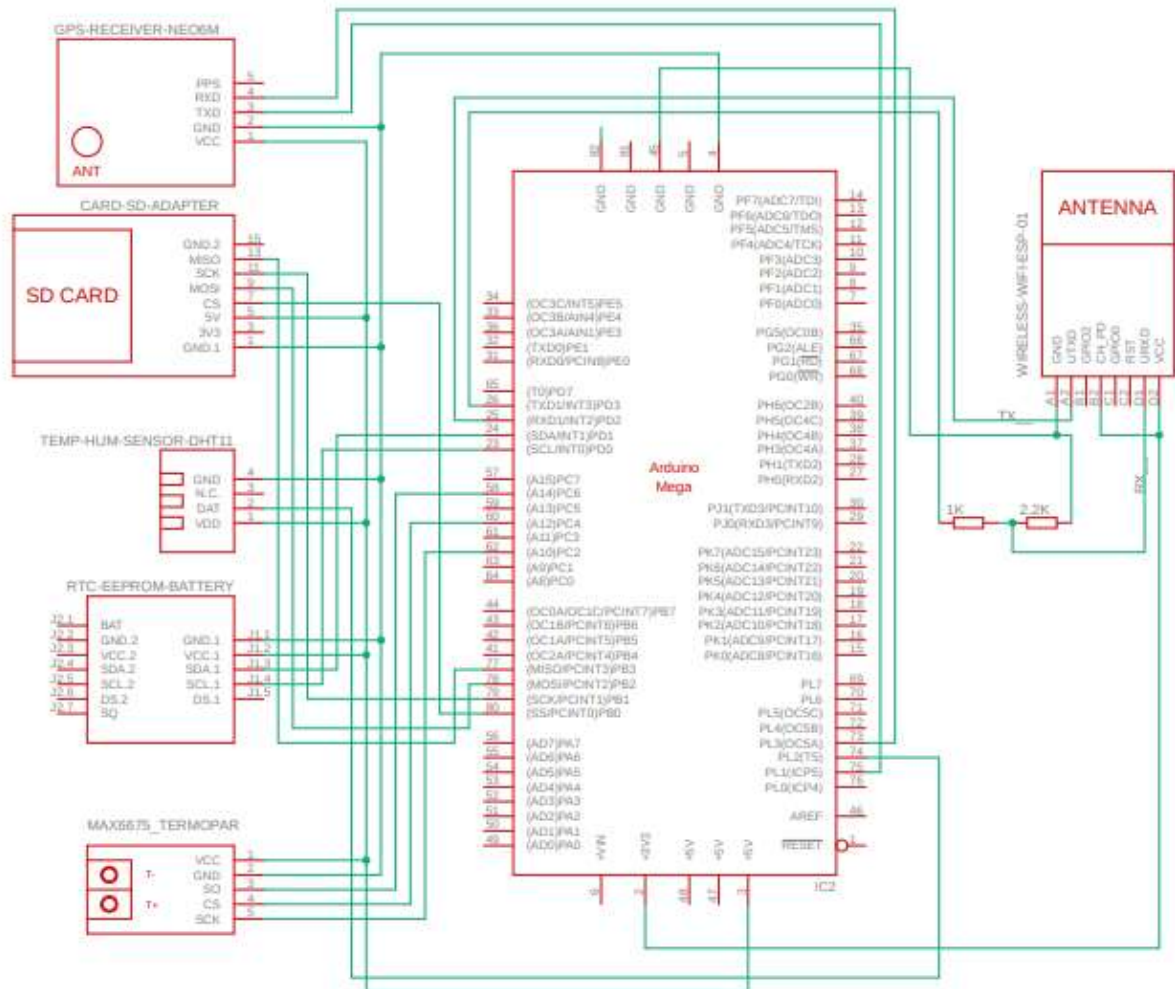
Fonte: Autor.

4.4 Esquemático

Na etapa de projeto do protótipo de aquisição de dados foi desenvolvido o *design* da placa, e suas respectivas conexões no circuito, utilizando a plataforma EAGLE PCB da AutoDesk. Foi efetuado primeiramente o *download* das bibliotecas referentes a todos os componentes a serem integrados ao projeto da placa. Após essa etapa foram selecionadas e posicionadas na área de trabalho do *software* todos os componentes e, em seguida, feitas as

devidas ligações entre os componentes, conforme mostra a Figura 4.13.

Figura 4.13 – Esquemático desenvolvido no Eagle.



Fonte: Autor.

Os sensores de temperatura e umidade do ar, DHT11 e MAX6675, foram conectados à entrada e saída digital onde estabelecem toda comunicação com o Arduino. Alguns componentes possuem particularidades em relação a forma de conexão ao microcontrolador Arduino Mega. A conexão do módulo adaptador micro SD, por exemplo, deve ser feita utilizando a interface de comunicação SPI, a qual só pode ser estabelecida de forma física pela entrada SPI do Arduino ou pelas portas digitais D50, D51, D52 e D53, sendo esta a forma estabelecida no protótipo.

As conexões do módulo de tempo RTC são realizadas através do protocolo I2C utilizando as entradas SCL e SDA do Arduino Mega. O módulo ESP8266-01S é conectado ao

Arduino através das portas seriais RX/TX. Na conexão do módulo ESP8266-01S ao Arduino é aconselhável limitar a tensão no pino RX do ESP8266-01S, para isso é utilizado um divisor de tensão com resistores de 1 k Ω e 2,2 k Ω para que a tensão no pino RX do ESP8266-01S esteja limitada à 3,3 V.

4.5 Desenvolvimento da placa de condicionamento de sinais

Foi desenvolvida uma versão prévia da placa de condicionamento de sinais em uma placa de circuito perfurada. O modelo desenvolvido foi feito com base no protótipo de teste em *protoboard* e soldado na placa perfurada para testes preliminares laboratoriais e em campo a fim de atestar o funcionamento dos sensores e módulos, como também a transmissão de dados via Wi-fi e a gravação dos dados no cartão micro SD. Foram também realizados testes de alimentação do protótipo a partir de uma fonte CC, juntamente com a regulação da tensão a partir do LM2596 com diferentes níveis de tensão entre 12 e 5 V, Figura 4.14.

Figura 4.14 – Testes em campo e laboratório.



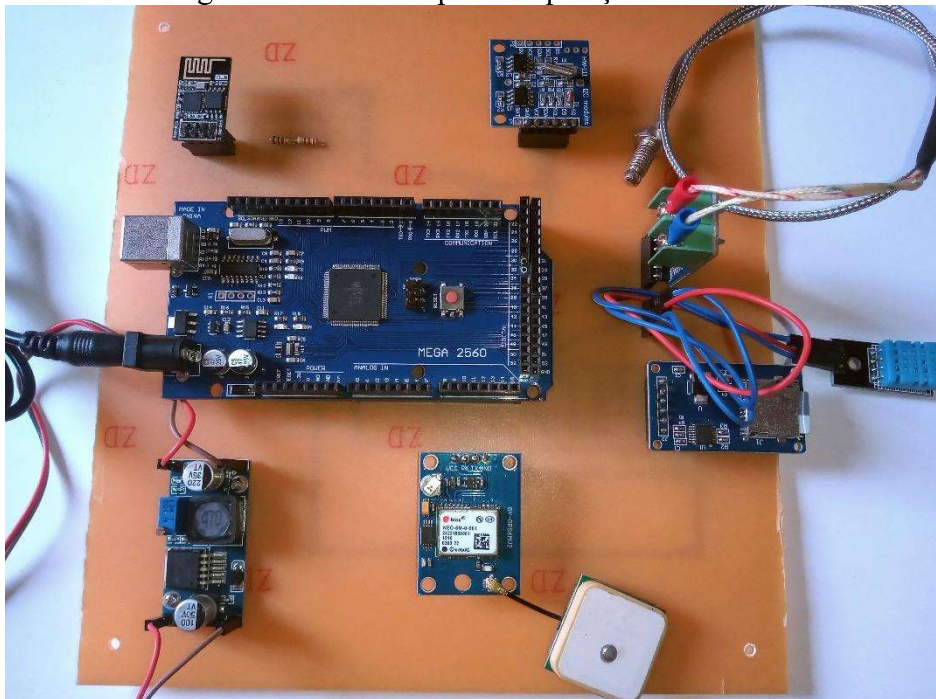
Fonte: Autor.

O modelo desenvolvido no *software* Eagle e, posteriormente em *protoboard*, foi transferido para a placa de cobre de superfície simples utilizando o método de transferência por condução de calor e feitas correções manualmente com caneta de tinta permanente. Feito isso, a placa foi imersa em uma solução de perclorato de ferro anidro (FeCl₃), utilizando uma proporção de 250g de perclorato de ferro anidro dissolvida para cada 625 ml de água. Devido a reação da mistura ser altamente exotérmica, foi tido o cuidado de sempre adicionar o perclorato em água e nunca o contrário. A solução de perclorato corrói a superfície metálica do cobre exceto a superfície com tinta. Em seguida, a placa foi lavada e polida com palha de aço de modo a retirar as impurezas e a tinta, restando apenas as trilhas com cobre.

Após o procedimento de transferência de *layout* da placa foram realizados os furos das

ilhas onde posteriormente seriam inseridos os componentes. Feito isso, as barras de pinos de fixação dos componentes foram soldadas na placa de circuito impresso. Para fixação do microcontrolador Arduino Mega foram retirados os pinos originais do dispositivo e soldadas as barras de pinos empilháveis para facilitar a retirada do dispositivo para possíveis ajustes futuros, como manutenção e reprogramação dos comandos em caso de expansão ou *upgrades*. A Figura 4.15 mostra a placa de circuito impresso do protótipo proposto.

Figura 4.15 – Protótipo de Aquisição de Dados.



Fonte: Autor.

O sistema de aquisição de dados foi projetado para ser alimentado através de uma bateria recarregável por um módulo fotovoltaico de 30 W presente na estação meteorológica comercial. O sistema também possui a versatilidade de ser alimentado por uma fonte de alimentação convencional com limite de até 12V em corrente contínua. No protótipo proposto, os sensores devem ser posicionados em locais onde não sofram interferência de fatores físicos que possam influenciar nas medições e influenciar na comparação entre o sistema proposto e o comercial.

4.6 Configuração da plataforma IoT ThingSpeak

Para a aquisição de dados e monitoramento do sistema proposto foi utilizada a plataforma de desenvolvimento IoT ThingSpeak, conforme observado na Figura 4.16. Segundo Martins (2019), o ThingSpeak permite realizar registros de informações fornecidas

por dispositivos conectados à internet. Desta forma, a plataforma viabiliza o monitoramento remoto online dos dados adquiridos pelo protótipo.

Figura 4.16 – Plataforma IoT ThingSpeak.

ThingSpeak™ Channels Apps Support

Private View Public View Channel Settings Sharing API Keys

Channel Settings

Percentage complete 30%

Channel ID 954102

Name PROTÓTIPO DE AQUISIÇÃO

Description Sistema de aquisição de dados

Field 1 Temperatura do Paine

Field 2 Temperatura Ambient

Field 3 Umidade do Ar

Fonte: ThingSpeak.

A plataforma ThingSpeak requer algumas configurações iniciais para a recepção dos dados e para a comunicação com o ESP8266-01Se o Arduino Mega. Para isso é necessário a criação de um canal, que terá um número de identificação e será responsável pela recepção e leitura dos dados, habilitação dos *fields* do que serão as variáveis de aquisição medidas pelo protótipo e por fim habilitar os gráficos para visualização e monitoramento. Após as configurações iniciais do canal, é necessário também configurar a chave API *key*, a qual é uma chave de acesso para recepção das variáveis medidas na plataforma. Feito isso, o sistema já estará apto para receber as variáveis medidas no sistema de aquisição proposto.

4.7 Coeficiente de pearson

Para a análise dos dados de comparação entre os dados do protótipo de aquisição de dados meteorológicos e os dados da estação meteorológica comercial foi utilizado o método de correlação de Pearson. Os dados tratados foram inseridos em planilha e em seguida aplicado o método utilizando a fórmula de Pearson.

O coeficiente de Pearson (r_{X_1, X_2}), conforme mostrado em (1), é um método de análise de correlação entre duas variáveis, segundo Skordylis et al, (2006) apud Carvalho (2012) o

coeficiente de Pearson é um método utilizado para avaliar o índice de correlação entre variáveis entre dois nós de sensores. No exemplo utilizado pelo autor, o método é empregado para avaliar a correlação entre amostras de temperatura coletadas em campo, de modo a descobrir se as variáveis analisadas apresentam similaridade e a verificação de distorções nas medições. O método empregado para análise de correlação é de suma importância para verificação de variáveis adquiridas através de sensores, tendo em vista que a validação e a credibilidade das amostras são dependentes do resultado dessa análise.

$$r_{X_1 X_2} = \frac{\sum(X_{1i} - \bar{X}_1) * (X_{2i} - \bar{X}_2)}{\sqrt{\sum(X_{1i} - \bar{X}_1)^2 * \sum(X_{2i} - \bar{X}_2)^2}} \quad (1)$$

O coeficiente r_{X_1, X_2} é a representação de dois vetores composto pelas variáveis a serem analisadas com base em sua correlação. Na equação (1), X_1 e X_2 representa as variáveis a serem comparadas e o coeficiente i representa o número de amostras em análise, e \bar{X}_1 e \bar{X}_2 são as médias dos vetores de cada variável de medição. O coeficiente de correlação de Pearson mensura o grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas, variando de -1 a 1, onde quanto maior o valor absoluto de (r), seja positivo ou negativo, maior será a adesão entre os valores. Com base nessas informações, pretende-se realizar a correlação entre as variáveis de aquisição dos sensores do protótipo e dos sensores de alta performance presentes na estação meteorológica comercial da usina.

Segundo Callegari (2003, p. 90) apud Lira (2004, p. 41), o coeficiente de correlação de Pearson pode ser utilizado como forma de avaliar a correlação qualitativa entre duas variáveis e pode ser dividido conforme a intensidade de correlação entre elas, conforme os seguintes parâmetros:

- Se $0,00 < r_{X_1, X_2} < 0,30$, fraca correlação;
- Se $0,30 < r_{X_1, X_2} < 0,60$, moderada correlação;
- Se $0,60 < r_{X_1, X_2} < 0,90$, forte correlação;
- Se $0,90 < r_{X_1, X_2} < 1,00$, correlação muito forte;

5 RESULTADOS

5.1 Comparativo de custo

O protótipo, como mostrado anteriormente, possui diversos sensores e módulos integrados que atuam em conjunto. Esses componentes têm a proposta de ser um produto de baixo custo e de fácil implementação. Tendo em vista a proposta do trabalho em questão, o Quadro 5.1 mostra o custo de cada equipamento do protótipo em relação aos equipamentos do sistema da estação meteorológica convencional, os preços médios de cada componente foram feitos realizando uma busca simples em sites de compra e venda, e o preço dos componentes da estação meteorológica comercial foi obtido a partir da apresentação de proposta da fabricante. Vale salientar que o preço da placa de fenolite e outros componentes como solda não foram contabilizados nos custos, mas que representam uma parcela pequena dos custos.

Quadro 5.1 – Comparativo de Custo entre o protótipo e a estação meteorológica.

Protótipo de baixo custo		Estação meteorológica convencional	
Arduino Mega	R\$ 109,00	Datalogger CR310	R\$ 11.710,00
Módulo Wireless ESP8266-01S-01	R\$ 18,00		
RTC - Clock	R\$ 15,00	Sensor de temperatura e umidade relativa do ar – EE060	R\$ 1.960,00
Sensor de Temperatura e Umidade - DHT 11	R\$ 14,00		
Módulo MAX6675 + Termopar tipo K	R\$ 47,00	Sensor de temperatura para módulo fotovoltaico - PT100	R\$ 690,00
Módulo SD + SD card	R\$ 46,00		
Módulo GPS NEO-6M	R\$ 79,00	Conversor de sinal para PT100	R\$ 635,00
Regulador de Tensão LM 2596	R\$ 25,00		
Total	R\$ 353,00	Total	R\$ 14.995,00

Fonte: Autor.

De acordo com o Quadro 5.1, os dispositivos presentes no protótipo apresentam um custo menor em comparação a estação comercial o que torna o protótipo uma ferramenta barata e que não causa grande impacto no orçamento de empreendimentos que necessitam de sistemas de medição de variáveis meteorológicas, como usinas fotovoltaicas, sendo assim uma alternativa viável, em termos de custo, para tais aplicações.

5.2 Sistema de monitoramento de dados

Os dados obtidos pelos sensores do protótipo são enviados pelo módulo Wireless ESP8266-01S para a plataforma ThingSpeak na plataforma os dados são gerados na forma de gráfico capazes de serem monitorados em tempo real os dados a partir das medições dos respectivos *fields*. Foi utilizado um intervalo de medição de aproximadamente 3 horas, tendo início às 09:30h e finalizando às 12:32h do mesmo dia. Como citado anteriormente, o sensor de temperatura do módulo fotovoltaico, módulo MAX6675 com termopar tipo K, foi fixado na parte inferior do módulo fotovoltaico. O sensor de temperatura e umidade, DHT 11, foi acoplado à princípio junto ao circuito do protótipo, conforme a Figura 5.1. Posteriormente, o sensor deve ser instalado com encapsulamento e abrigo meteorológico nas proximidades da estação meteorológica comercial.

Figura 5.1 – Medições dos dados em campo.

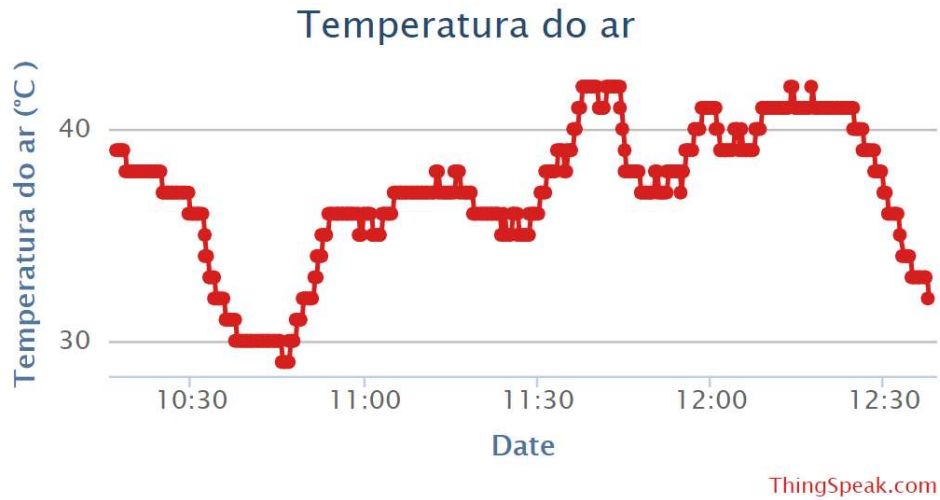


Fonte: Autor.

A partir dos dados enviados pelo protótipo, é possível observar os gráficos gerados pela plataforma IoT *ThingSpeak*, sendo possível portanto a visualização em tempo real dos parâmetros medidos. A Figura 5.2 mostra o gráfico da aquisição da temperatura do ar feita pelo sensor de temperatura e umidade de baixo custo, DHT 11. Na imagem é possível observar as variações pontuais e gerais da temperatura ao longo do intervalo de medição. A variação observada está relacionada a não uniformidade das condições climáticas no intervalo em questão, levando em consideração também que o sensor ainda não possui encapsulamento

térmico adequado.

Figura 5.2 – Gráfico da temperatura do ar no ThingSpeak.



Fonte: ThingSpeak.

Na Figura 5.3, é possível visualizar, através dos gráficos mostrados na plataforma IoT ThingSpeak, as variações gráficas da umidade relativa do ar, medição esta efetuada pelo sensor de baixo custo DHT 11. O sensor DHT 11, por não possuir um encapsulamento adequado, está suscetível a variações bruscas por influência de fatores externos.

Figura 5.3 – Gráfico da umidade relativa do ar no ThingSpeak.

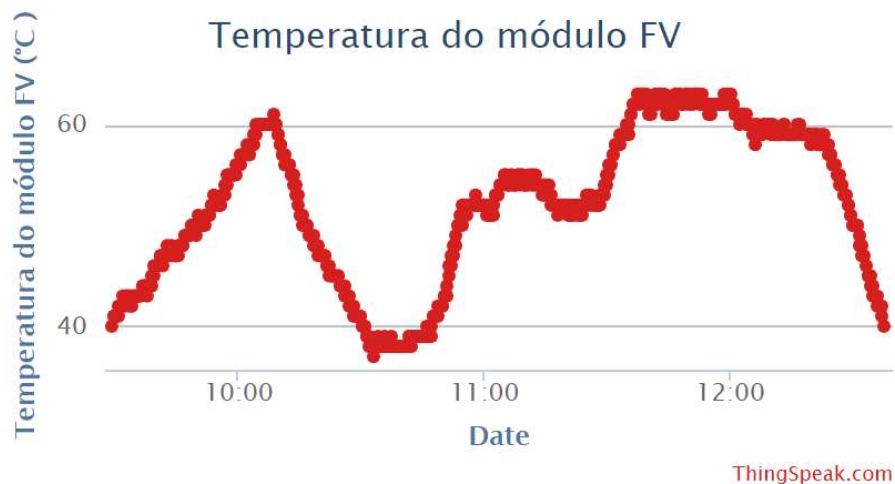


Fonte: Thinspeak.

A Figura 5.4, mostra os dados, na plataforma ThingSpeak, das variáveis de temperatura do módulo fotovoltaico adquiridas pelo módulo de baixo custo MAX6675

juntamente com um termopar do tipo K. Na plataforma é possível observar a variação de temperatura do módulo fotovoltaico ao longo do intervalo de medição. O sensor de temperatura de superfície possui um encapsulamento próprio e por isso sofre menos influência de fatores externos. O módulo MAX6675 acoplado ao sensor também possui um circuito de ajuste e compensação para evitar medições incorretas das variáveis.

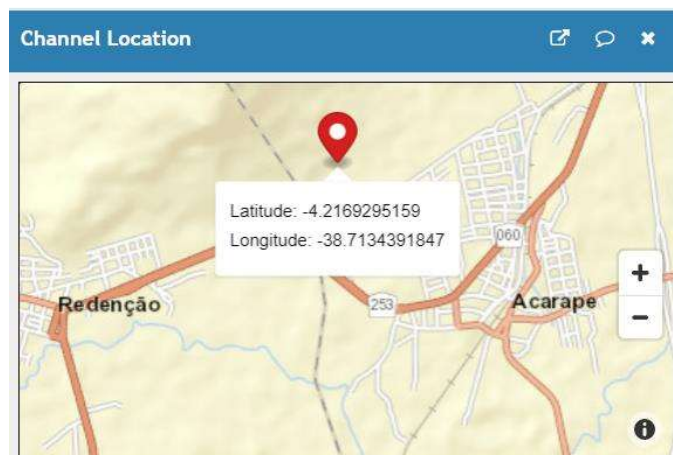
Figura 5.4 – Gráfico da temperatura do módulo fotovoltaico no ThingSpeak.



Fonte: ThingSpeak.

A plataforma ThingSpeak também possui uma ferramenta que informa, através de um mapa de localização, os parâmetros informados pelo módulo GPS NEO 6M tais como latitude e longitude do local. A figura 5.5, mostra como é a interface de visualização da localização geográfica do protótipo. A ferramenta se torna muito útil para medições em estações meteorológicas móveis que necessitam de informações exatas sobre sua localização.

Figura 5.5 – Localização do Protótipo no ThingSpeak.



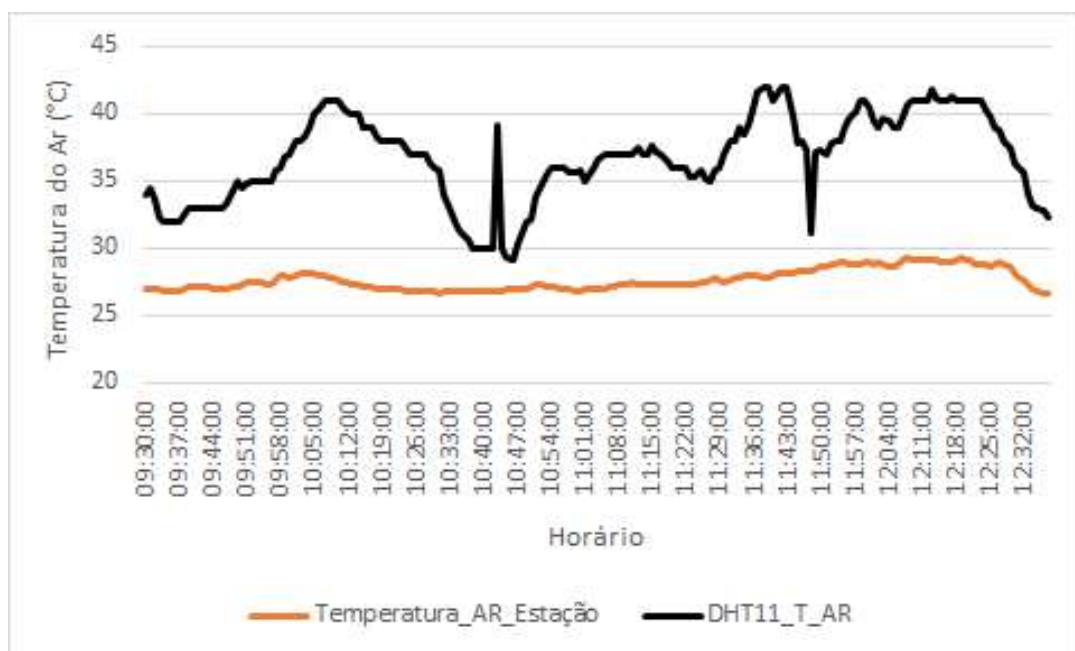
Fonte: ThingSpeak.

5.3 Análise quantitativa dos dados de medição

A seguir serão descritas as análises quantitativas dos dados de aquisição do protótipo em relação aos dados adquiridos pela estação meteorológica de alta performance.

Os dados foram analisados utilizando a correlação de Pearson, o qual descreve a correlação linear entre as variáveis levando em consideração a intensidade de adesão entre elas. A Figura 5.6 mostra a comparação entre os dados obtidos pelo sensor de temperatura do ar da estação meteorológica (EE060) e o sensor de temperatura do ar do sistema proposto (DHT 11).

Figura 5.6 – Gráfico de comparação da temperatura do ar.



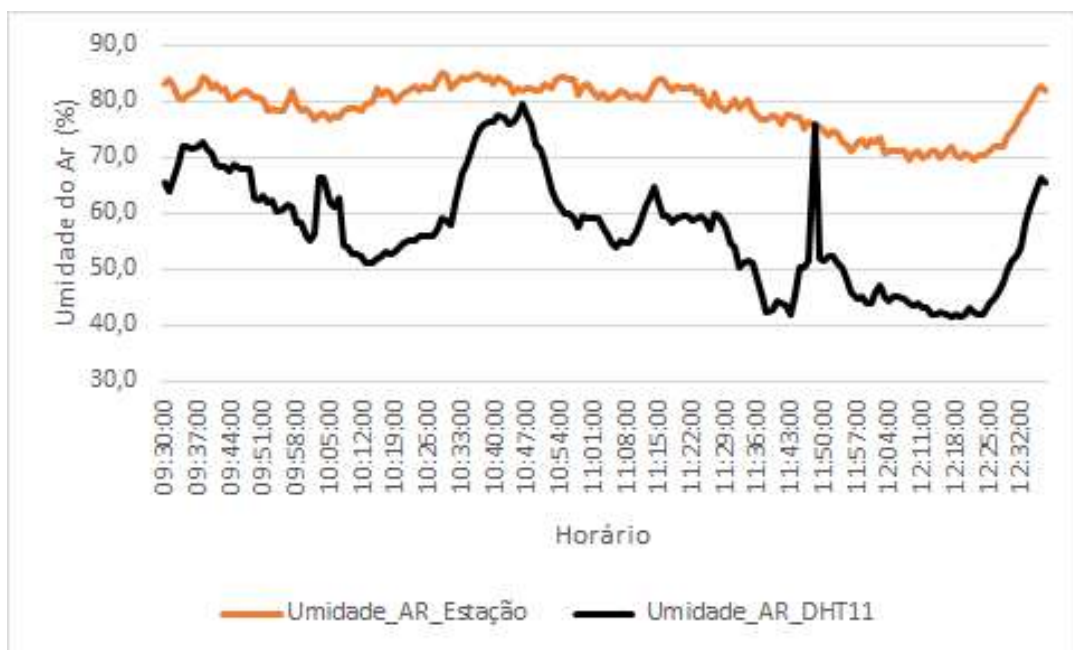
Fonte: Autor.

Os dados do sensor DHT 11, Figura 5.6, apresentaram uma grande variação em relação ao sensor EE060 da estação meteorológica. Tais variações são justificadas pela ausência de um abrigo meteorológico adequado ao sensor de baixo custo, por este motivo o sensor apresenta maior sensibilidade a variações térmicas externas e por isso apresentam menor regularidade. Embora a variabilidade térmica seja elevada, o coeficiente de Pearson para os dados de temperatura do ar mostraram um índice de correlação de 0,70, considerado

em termos qualitativos uma forte correlação.

Para os dados de umidade relativa do ar, Figura 5.7, também é observado uma grande variação para o sensor DHT 11, variação explicada também pela influência de fatores externos devido a ausência de um encapsulamento. Embora a variabilidade elevada também seja observada na variável em questão, o coeficiente de pearson para os dados de umidade relativa do ar mostraram um índice de correlação de 0,77, considerado em termos qualitativos uma forte correlação.

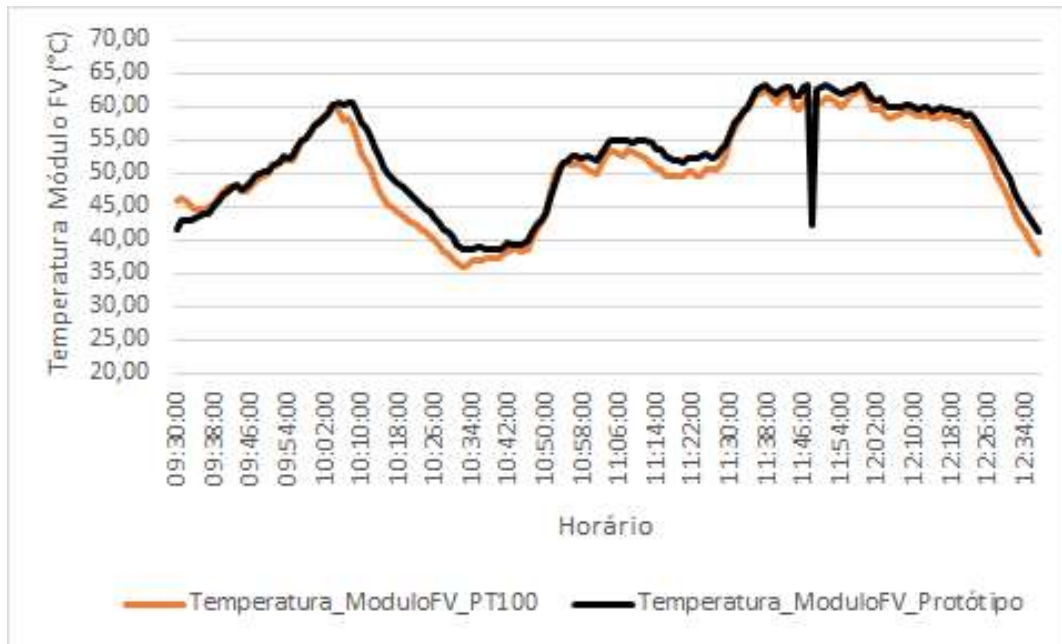
Figura 5.7 – Gráfico de comparação da umidade relativa do ar.



Fonte: Autor.

A figura 5.8, mostra os dados de análise da temperatura do módulo fotovoltaico efetuada pelo sensor termopar tipo K, em comparação com o sensor de alta performance PT100. O termopar K de baixo custo possui um encapsulamento de fábrica que protege o sensor de interferências de fatores externos, por conta disso apresentou melhores resultados em relação comparativa ao sensor de PT100. É observado para os dados de temperatura do módulo fotovoltaico um coeficiente de correlação de Pearson de 0,96, considerando em termos qualitativos uma correlação muito forte entre as variáveis.

Figura 5.8 – Gráfico de comparação da temperatura do módulo fotovoltaico.



Fonte: Autor.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema de aquisição e monitoramento de dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar e temperatura de módulo fotovoltaico com base em uma plataforma de baixo custo, o Arduino Mega. Embora outros trabalhos tenham desenvolvido sistemas semelhantes baseados em outras plataformas, como Raspberry Pi e Esp-32, o Arduino mostrou-se como uma alternativa eficiente, sendo facilmente integrado a outros sistemas, de baixo custo de implementação e possibilidade de integração futura de outros dispositivos.

Como forma de análise quantitativa dos dados de desempenho entre os sensores utilizados no sistema de aquisição de baixo custo e os sensores da estação meteorológica convencional, o EE060 e PT100, foi realizada uma análise utilizando o coeficiente de Pearson. Tal análise mostrou que o sensor de temperatura e umidade relativa do ar, DHT 11, mostrou uma alta correlação em comparação ao sensor de alta performance EE060. Para o termopar, a análise mostrou uma correlação muito alta em relação ao sensor da estação comercial PT100.

Os resultados das análises mostraram que a correlação entre o sensor DHT 11 e o sensor EE060, embora seja alta, pode ser otimizada incluindo um abrigo meteorológico no DHT 11, melhorando assim as condições de medição e diminuindo a influência de fatores

externos. Após a obtenção do abrigo meteorológico deve ser feita a reavaliação de custo considerando os componentes a serem integrados. Para o sensor termopar do protótipo, as análises mostraram uma correlação muito alta, o que se conclui que o sensor correspondeu às expectativas de análise, tornando uma alternativa implementável em sistemas de aquisição de baixo custo e de fácil integração.

A plataforma de aquisição ThingSpeak atuou como uma excelente ferramenta de monitoramento e armazenamento dos dados, facilitando o acesso e leituras das grandezas via gráficos e displays de forma rápida e em tempo real à aquisição, além de disponibilizar o histórico dos dados em formato de manipulação em planilhas .csv, é uma plataforma disponibilizada de forma gratuita, e de fácil integração a sistemas microcontrolados com suporte ou acesso à internet. É importante salientar que o ThingSpeak possui uma versão paga que permite a integração de um número maior de dispositivo.

Por fim, é importante mencionar que um dos objetivos de desenvolvimento futuro do presente trabalho é a instalação permanente do sistema de aquisição de dados climatológicos proposto e o desenvolvimento de um sensor de radiação solar de baixo custo que está em fase de desenvolvimento. Além disso, está prevista a confecção de um abrigo termométrico de baixo custo para alocar o sensor DHT11 com o objetivo de reduzir a influência da exposição direta ao ambiente na temperatura medida. Para trabalhos futuros é aconselhável integrar sensores de velocidade e direção do vento, sensor de irradiância solar difusa, um sensor pluviométrico além de uma plataforma independente receptora dos dados.

REFERÊNCIAS

- 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.
- CARVALHO, Carlos Giovanni Nunes de. **Correlação Espaço-Temporal Multivariada na Melhoria da Precisão de Predição para Redução de Dados em Redes de Sensores sem Fio**. 2012. 209 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Engenharia de Teleinformática, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.
- CEPEL-CRESESB. **Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro 2014.
- Datasheet Campbell EE060. [200-?].
- Datasheet DHT11 AOSONG. [200-?].
- Datasheet Módulo GPS NEO 6M. [200-?].
- Datasheet módulo MAX6675. Maxim. [200-?].
- Datasheet Módulo SD Card. [200-?].
- Datasheet Módulo Wireless ESP8266-01S. [200-?].
- Datasheet regulador de tensão LM2596. [200-?].
- DataSheet RTC DS1307. [200-?].
- Datasheet sensor de temperatura PT100. [200-?].
- DUPONT, I. M. **Sistema Embarcado Linux para monitoramento em nuvem aplicado a bombeamento fotovoltaico**. Universidade Federal do Ceará. 2017.
- ELPROCUS. **Microcontrollers Types & Their Applications**. 2020. Disponível em: <https://www.elprocus.com/microcontrollers-types-and-applications/>. Acesso em: 20 nov. 2020.
- FESHARAK, V.Jafari *et al.* **The Effect of Temperature on Photovoltaic Cell Efficiency**. T International Conference On Emerging Trends In Energy Conservation, Tehran, 2011. Disponível em: < http://research.iaun.ac.ir/pd/jjfesharakiold/pdfs/PaperC_4124.pdf >. Acesso em: 28 mar. 2021.
- FILHO, J. I. O.; et al. **Acquisition System for Photovoltaic Panels with Data Storage in Remote Server Platforms Using Open Source Platforms Raspberry Pi and Arduino**. J. of Electrical Engineering, v. 5, n. 3, p. 157–162, 2017.
- GUSA, R. F. SUNANDA, W. DINATA, I. HANDAYANI, T.P. **Monitoring System for Solar**

Panel Using Smartphone Based on Microcontroller. Artigo Científico. 2nd International Conference on Green Energy and Applications. 2018.

GUSA, R. F. SUNANDA, W. DINATA, I. HANDAYANI, T.P. **Monitoring System for Solar Panel Using Smartphone Based on Microcontroller.** Artigo Científico. 2nd International Conference on Green Energy and Applications. 2018.

KANDIMALLA, J. KISHORE, D. R. **Web Based Monitoring of Solar Power Plant Using Open Source IOT Platform ThingSpeak and Arduino.** International Journal for Modern Trends in Science and Technology Vol. 03, Issue nº 04, 2017, pp 16-21.

LIRA, Sachiko Araki. **ANÁLISE DE CORRELAÇÃO: ABORDAGEM TEÓRICA E DE CONSTRUÇÃO DOS COEFICIENTES COM APLICAÇÕES.** 2004. 209 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004. Disponível em: http://www.ipardes.pr.gov.br/sites/ipardes/arquivos_restritos/files/documento/201909/sachiko_dissertacao_2004.pdf. Acesso em: 23 mar. 2021.

MARTINS, J. M. **Sistema de monitoramento de dados provenientes da energia fotovoltaica através de uma plataforma de IoT de aquisição e controle.** Monografia. Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém, 2019.

MONK, S. **Programação com Arduino: Começando com Sketches.** 2a Ed, 2017.

MOREIRA, E.E. M. **Desenvolvimento De Uma Miniestação Meteorológica De Baixo Custo Baseada Na Plataforma Arduino.** Universidade Federal do Ceará, 2019.

MOURA, V. V. PEREIRA, R. I. JUCÁ, S. C. S. **IoT Embedded System for Data Acquisition using MQTT Protocol.** Universidade Federal do Ceará. International Journal of Computer Applications (0975 - 8887) Volume 182 - No.11. 2018.

MURTA G. Eletrogate. **Guia completo do ARDUINO MEGA.** 2018. Disponível em: <https://blog.eletrogate.com/guia-completo-do-arduino-mega/>. Acesso em: 15 fev. 2021.

PARIKH, A. PATHAN, F. RATHOD, B. SHAH, S. **Solar Panel Condition Monitoring System based on Wireless Sensor Network.** International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR), Vol. 4, 12^a Ed., 2015.

PARTHASARATHY, S. ANANDKUMAR, N. V. **Development of Low Cost Data Acquisition System for Photovoltaic Systems.** 2016. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology Vol. 5, Issue 7.

PEROZA, J. **Caracterização elétrica de módulos fotovoltaicos de distintas tecnologias a partir de ensaios com simulador solar e iluminação natural.** Monografia. Universidade Federal de Santa Catarina-Campus Araranguá. Araranguá, 2015.

REGES, J. P. **Desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados para sistemas fotovoltaicos.** Dissertação de Mestrado. 119 f. Instituto Federal De Educação, Ciência e Tecnologia Do Ceará. Fortaleza, 2017.

RUVIARO, R. S. DALTROZO, J. G. GALERT, L. LOURENÇO, W. M. SANTOS, I. P. **Análise da variação da eficiência do módulo fotovoltaico em função da temperatura.** Artigo Científico. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2018.

SOUZA, A. ARISTONE, F. OLIVEIRA, A. P. G. RODRIGUES, V. S. MELLO, G. O. S. **Efeito da temperatura ambiente e da velocidade do vento no desempenho de módulos solares fotovoltaico.** Revista Interespaço, Vol 4, nº 15, pg. 362-375, 2018.

THOMSEN. Filipeflop. **O que é Arduino.** 2014. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-arduino/>. Acesso em: 29 jan. 2021.

TINOCO, H. L. FLORIDO, D. P. F. KRAMBECK, L. ALVES, T. A. **Investigação Experimental da Influência da Temperatura de Operação e da Irradiação Solar em um Painel Fotovoltaico.** VII Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. 2017.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation**, Genebra, v. 8, 2008. Disponível em: <https://www.weather.gov/media/epz/mesonet/CWOP-WMO8.pdf>. Acesso em: 03 dez. 2020.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Meteorology and the Energy Sector - a WMO Perspective.** 2011. Disponível em: <https://public.wmo.int/en/bulletin/meteorology-and-energy-sector-wmo-perspective>. Acesso em: 15 jan. 2021.

ZAGO, R. M. **Sistema de baixo custo para monitoramento da geração de energia solar com conexão para Internet das Coisas.** Dissertação de Mestrado. 153 f. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2018.

APÊNDICE A – CÓDIGO UTILIZADO NO PROTÓTIPO

```
#include <ThingSpeak.h>

#include <Wifi.h>

#include <WifiClient.h>

#include <WifiServer.h>

#include <WifiUdp.h>

#include <SD.h>

#include <SPI.h>

#include <SerialESP8266-01SWifi.h>

#include <AltSoftSerial.h>

#include <ESP8266-01S.h>

String AP = "Teste_DTI"; // AP NAME

String PASS = "*****"; // AP PASSWORD

String API = "ST4GYRZQAUDR72FH"; // Write API KEY

String HOST = "api.ThingSpeak.com";

String PORT = "80";

int countTrueCommand;

int countTimeCommand;

boolean found = false;

int valSensor = 1;

//Incluindo biblioteca RTC

#include "RTCLib.h"

//Incluindo bibliotea DHT11

#define dht_apin 47 //DEFININDO pino 47 (DATA)
```

```
#include <dht11.h>
```

```
dht11 dhtObject;
```

```
//#include <dht11.h>
```

```
//incluindo o MAX6675
```

```
#include <MAX6675.h>
```

```
int ktcSO = 35;
```

```
int ktcCS = 33;
```

```
int ktcCLK = 31;
```

```
MAX6675 termopar(ktcCLK, ktcCS, ktcSO);
```

```
//CS SD CARD
```

```
const int chipSelect = 53;
```

```
// Crie um arquivo para armazenar os dados no SD MODULO
```

```
File myFile;
```

```
// RTC
```

```
RTC_DS1307 rtc;
```

```
#include<TinyGPS.h>

float lat, lon, vel;

unsigned long data, hora;

unsigned short sat;

TinyGPS GPS;

AltSoftSerial SerialGPS;

//SoftwareSerial ESP8266-01S(RX,TX);

void setup() {

  //Serial.begin(9600);

  Serial.begin(115200);

  //serialgps

  SerialGPS.begin(9600);

  //SerialGPS.begin(115200);

  // Serial1.begin(9600); //ESP8266-01S

  Serial1.begin(115200); //ESP8266-01S

  sendCommand("AT",5,"OK");

  sendCommand("AT+CWMODE=1",5,"OK");

  sendCommand("AT+CWJAP=\"\"+ AP +\"\", \"\"+ PASS +\"\"\",20,\"OK");

  // configuração para o RTC

  while(!Serial);
```

```
if(! rtc.begin()) {  
    Serial.println("Não foi possível encontrar o RTC");  
    while (1);  
}  
else {  
    // A linha a seguir define o RTC para a data e hora em que este esboço foi compilado  
    // rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));  
}  
if(! rtc.isrunning()) {  
    Serial.println("O RTC NÃO está sendo executado!");  
}  
  
//configuração para o cartão SD  
Serial.print("Inicializando o SD Card...");  
  
if(!SD.begin(chipSelect)) {  
    Serial.println("falha na inicialização!");  
    return;  
}  
Serial.println("inicialização feita.");  
  
//abrir arquivo  
// myFile=SD.open("DATA.txt", FILE_WRITE);  
    myFile=SD.open("DATA.csv", FILE_WRITE);  
// se o arquivo foi aberto, escreva para ele:
```

```

if (myFile) {

    Serial.println("Arquivo aberto ok");

    // imprima os títulos dos nossos dados

    myFile.println("Data,Horario,Temperatura do Modulo *C, Temperatura do Ar *C, Umidade
do Ar %");

}

myFile.close();

}

void loop() {

    loggingTime();

    loggingTemperature();

    delay(5000);

    String getData = "GET /update?api_key="+
API+"&field1"+"="+getSensortermopar()+"&field2"+"="+getTemperatureValue()+"&field3"
+"="+getHumidityValue()+"&field4"+"="+getPositionlat()+"&field5"+"="+getPositionlon();/
/enviando pacote com dados do termopar

//String getData = "GET /update?api_key="+ API +"&"+field1"+"="+getSensortermopar());

sendCommand("AT+CIPMUX=1",5,"OK");

sendCommand("AT+CIPSTART=0,\"TCP\", \"\"+ HOST +"\", "+ PORT,15,"OK");

sendCommand("AT+CIPSEND=0," +String(getData.length()+4),4,">");

Serial1.println(getData);

delay(1500);

```

```
countTrueCommand++;  
  
sendCommand("AT+CIPCLOSE=0",5,"OK");  
  
}
```

```
int getSensortermopar(){  
  
    Serial.print(" Temperature_painel(C)= ");  
    float temp_painel = termopar.readCelsius();  
    Serial.println(temp_painel);  
    delay(50);  
    return (temp_painel);  
}
```

```
String getTemperatureValue(){  
  
    dhtObject.read(dht_apin);  
    Serial.print(" Temperature(C)= ");  
    int temp = dhtObject.temperature;  
    Serial.println(temp);  
    delay(150);  
    return String(temp);  
}
```

```
String getHumidityValue(){

    dhtObject.read(dht_apin);

    Serial.print(" Humidity in %= ");

    int humidity = dhtObject.humidity;

    Serial.println(humidity);

    delay(100);

    return String(humidity);

    //test

    //fimteste

}

//GPSMODULE

String getpositionlat(){

    while (SerialGPS.available()) {

        if (GPS.encode(SerialGPS.read())) {

            //Hora e data

            GPS.get_datetime(&data, &hora);

            Serial.print("--");

            Serial.print((hora / 1000000)-3);
```

```
Serial.print(":");  
  
Serial.print((hora % 1000000)/ 10000);  
  
Serial.print(":");  
  
Serial.print((hora % 10000) / 100);  
  
Serial.print("--");  
  
  
  
Serial.print(data / 10000);  
  
Serial.print("/");  
  
Serial.print((data % 10000) / 100);  
  
Serial.print("/");  
  
Serial.print(data % 100);  
  
Serial.println("--");  
  
  
  
//latitude e longitude  
  
GPS.f_get_position(&lat, &lon);  
  
  
  
Serial.print("Latitude: ");  
  
Serial.println(lat, 6);  
  
Serial.print("Longitude: ");  
  
Serial.println(lon, 6);  
  
  
  
vel = GPS.f_speed_kmph();  
  
  
  
Serial.print("Velocidade: ");  
  
Serial.println(vel);
```

```
sat = GPS.satellites();

if (sat != TinyGPS::GPS_INVALID_SATELLITES) {
    Serial.print("Satelites: ");
    Serial.println(sat);
}

Serial.println("");
}
}

return String (lat);
}

//GPSMODULE

String getpositionlon(){
return String (lon);
}

void loggingTime() {
    DateTime now = rtc.now();

    //myFile = SD.open("DATA.txt", FILE_WRITE);
    myFile = SD.open("DATA.csv", FILE_WRITE);
    if (myFile) {
        myFile.print(now.year(), DEC);
```

```
myFile.print('/');  
  
myFile.print(now.month(), DEC);  
  
myFile.print('/');  
  
  
myFile.print(now.day(), DEC);  
  
myFile.print(',');  
  
  
  
myFile.print(now.hour(), DEC);  
  
myFile.print(':');  
  
  
  
myFile.print(now.minute(), DEC);  
  
myFile.print(':');  
  
myFile.print(now.second(), DEC);  
  
myFile.print(",");  
  
}  
  
Serial.print(now.year(), DEC);  
  
Serial.print('/');  
  
  
  
Serial.print(now.month(), DEC);  
  
Serial.print('/');  
  
  
  
Serial.println(now.day(), DEC);  
  
Serial.print(now.hour(), DEC);  
  
Serial.print(':');
```

```
Serial.print(now.minute(), DEC);

Serial.print(':');

Serial.println(now.second(), DEC);

myFile.close();

delay(1000);

}

void loggingTemperature() {

    Serial.print(" Temperature_painel(C)= ");

    float temp_painel = termopar.readCelsius();

    Serial.println(temp_painel);

    dhtObject.read(dht_apin);

    Serial.print(" Temperature(C)= ");

    int temp = dhtObject.temperature;

    Serial.println(temp);

    dhtObject.read(dht_apin);

    Serial.print(" Humidity in %= ");

    int humidity = dhtObject.humidity;

    Serial.println(humidity);

    //Verifique se alguma leitura falhou
```

```
if (isnan(temp)) {  
    Serial.println("Falha ao ler o sensor DHT!");  
    return;  
}  
  
if (isnan(humidity)) {  
    Serial.println("Falha ao ler o sensor DHT!");  
    return;  
}  
  
if (isnan(temp_painel)) {  
    Serial.println("Falha ao ler o termopar!");  
    return;  
}  
  
//fins de depuração  
  
Serial.print("Temperatura do Módulo: ");  
Serial.print(temp_painel);  
Serial.println(" *C");  
  
Serial.print("Temperatura do Ar: ");  
Serial.print(temp);  
Serial.println(" *C");  
  
Serial.print("Umidade do Ar: ");  
Serial.print(humidity);
```

```
Serial.println(" %");
```

```
//myFile = SD.open("DATA.txt", FILE_WRITE);
```

```
myFile = SD.open("DATA.csv", FILE_WRITE);
```

```
if (myFile) {
```

```
    Serial.println("abra com sucesso");
```

```
    myFile.print(temp_painel);
```

```
    myFile.print(",");
```

```
    myFile.print(temp);
```

```
    myFile.print(",");
```

```
    myFile.println(humidity);
```

```
    //myFile.println(",");
```

```
}
```

```
myFile.close();
```

```
}
```

```
void sendCommand(String command, int maxTime, char readReplay[]) {
```

```
    Serial.print(countTrueCommand);
```

```
    Serial.print(". at command => ");
```

```
Serial.print(command);  
  
Serial.print(" ");  
  
while(countTimeCommand < (maxTime*1))  
{  
Serial1.println(command);//at+cipsend  
if(Serial1.find(readReplay))//ok  
{  
    found = true;  
    break;  
}  
  
countTimeCommand++;  
}  
  
if(found == true)  
{  
  
Serial.println("Ok");  
countTrueCommand++;  
countTimeCommand = 0;  
}  
}
```

```
if(found == false)
{
Serial.println("Falha");
countTrueCommand = 0;
countTimeCommand = 0;
}

found = false;
}
```