



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO CAMPUS CARAÚBAS
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

MATHEUS AUGUSTO AMARAL DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM INSTRUMENTO PARA MEDIÇÕES
METEOROLÓGICAS**

CARAÚBAS

2019

MATHEUS AUGUTO AMARAL DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM INSTRUMENTO PARA MEDIÇÕES
METEOROLÓGICAS**

Trabalho de conclusão de curso
apresentada a Universidade Federal Rural
do Semi-Árido como requisito para
obtenção do título de Bacharel em Ciência
e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Walber Medeiros
Lima
Coorientador: Prof. Dr. Rudson de Souza
Lima

CARAÚBAS

2019

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência (SIR)

A48d AUGUSTO AMARAL DE OLIVEIRA, METHEUS.
 DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PARA MEDIÇÕES:
 METEOROLÓGICAS / METHEUS AUGUSTO AMARAL DE
 OLIVEIRA. - 2019.
 46 f. : il.

Orientador: WALBER MEDEIROS LIMA.
Coorientador: RUDSON DE SOUZA LIMA.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2019.

1. SENSORES. 2. ARDUINO. 3. VARIÁVEIS
AMBIENTAIS . I. MEDEIROS LIMA, WALBER , orient.
II. DE SOUZA LIMA, RUDSON, co-orient. III. Título.

Bibliotecário-Documentalista
Nome do profissional, Bib. Me. (CRB-15/10.000)

MATHEUS AUGUSTO AMARAL DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM INSTRUMENTO PARA MEDIÇÕES
METEOROLÓGICAS**

Trabalho de conclusão de curso
apresentada a Universidade Federal Rural
do Semi-Árido como requisito para
obtenção do título de Bacharel em Ciência
e Tecnologia.

Defendida em: 14/08/2019

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Walber Medeiros Lima
Presidente


Prof. Dr. Rudson de Souza Lima
Membro


Prof. Dr. Hugo Michel Câmara de Azevedo Maia
Membro


Prof. Dr. Dorgival Albertino da Silva Júnior
Membro

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro a Deus por ter me dado forças, sabedoria e por ter me mantido de pé diante das dificuldades, graças a Ele consegui chegar até aqui e realizar este sonho.

Agradeço aos meus pais, Clivanete Viana Oliveira e João Amaral de Oliveira por todo o suporte dado à minha educação, por todo o amor, carinho, cuidado e compreensão.

Aos meus Irmãos, em especial, Lucas Vinicius Amaral de Oliveira, que me ajudou grandemente no desenvolvimento do trabalho, e em conselhos durante todo o processo. Sempre o admirei, sigo como um exemplo na minha vida.

Agradeço a minha namorada Wemily Dias Cortez, por toda força e apoio durante as dificuldades, por não me deixar desanimar e sempre está ao meu lado.

Agradeço a todos meus amigos, em especial, Filipe Décio, Kennedy Vinicius, Kennedy Dias, Thiago Ruan, Jorge Luiz, Alison Breno, Lucas Clemente. Amigos de infância e amigos que a faculdade me deu, que sempre estão comigo como irmãos.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Walber Medeiro Lima, por todos os ensinamentos, por toda a paciência ao longo deste percurso, ao qual admiro grandemente.

“Quem não valoriza as
pequenas coisas, não saberá
valorizar as grandes; se é que
chegara lá” (Antônio Francisco)

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um dispositivo eletrônico para medições de variáveis ambientais utilizando sensores de baixo custo, foi desenvolvido utilizando a plataforma de prototipagem eletrônica Arduino. As variáveis ambientais medidas foram a temperatura, luminosidade e velocidade do vento. A metodologia aplicada consistiu na calibração dos sensores adquiridos, contando com auxílio de aparelhos existentes no mercado para realizar a calibração de cada um dos sensores. Realizou-se uma comparação entre os dados adquiridos através do sistema montado com os sensores juntamente com o Arduino, e os aparelhos disponíveis no mercado. Essa comparação gerou a relação entre os dois valores, e por fim montar o dispositivo final, que realiza essas medidas.

Palavras-chave: Sensores, Arduino, Luminosidade, Temperatura, Velocidade do vento.

ABSTRACT

This work presents the development of an electronic device to measure environmental variables using low-cost sensors. It was developed using the Arduino electronic prototyping platform. The measured environmental quantities were temperature, luminosity and wind speed. The applied methodology consisted of the calibration of the acquired sensors, with the aid of existing devices in the market to perform the calibration of each one. A comparison was made between the data acquired through the system mounted with the sensors alongside with the Arduino and those obtained from the devices available in the market. This comparison generated the relation between the two values, which made possible to assemble the final device that performs these measurements.

key-words: Sensors, Arduino, Brightness, Temperature, Wind Speed.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Sensor e Transdutor.....	16
Figura 2- Tensão normalizada de saída dos termopares	18
Figura 3- Sensor LDR	18
Figura 4- Resposta Espectral LDR	19
Figura 5- Anemômetro Tipo Robinson	20
Figura 6- Anemômetro Tipo hélice.....	20
Figura 7- Arduino UNO	21
Figura 8- Área de trabalho da IDE Arduino.	23
Figura 9- Módulo Max6675	23
Figura 10- Circuito OLED	24
Figura 11- Anemômetro Ultrassônico.....	25
Figura 12- Anemômetro a laser.....	26
Figura 13- Circuito Transistor, voltímetro.....	26
Figura 14- Circuito da luminosidade juntamente com o Arduino	27
Figura 15- Sistema de Calibração para medir a luminosidade	28
Figura 16- Circuito Anemômetro	29
Figura 17- Sistema de Calibração para medir a velocidade do vento	29
Figura 18- Circuito termopar	30
Figura 19- Circuito Final	31
Figura 20- Caixa Protetora	31
Figura 21- Gráfico Tensão x Lux.....	33
Figura 22- Gráfico Tensão x Velocidade.....	34
Figura 23- Gráfico Termopar.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Temperaturas Normalizadas	17
Tabela 2 – Resistor 5k Ω	32
Tabela 3 – Arduino/Anemômetro.....	33
Tabela 4 – Termômetro / Sistema de aquisição	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IDE	Ambiente de desenvolvimento integrado
LDR	Resistor dependente de Luz (<i>Light Dependent Resistor</i>)
CDS	Sulfato de Cádemio
USB	Porta Universal (<i>Univesal Serial Bus</i>)
GND	Filtro de densidade neutral graduada (<i>graduated neutral density filter</i>)
DC	Corrente contínua (<i>direct current</i>)
OLED	Diodo emissor de luz orgânico (<i>organic light-emitting diode</i>)
LDC	Display de cristal Líquido (<i>liquid crystal display</i>)
LDA	Anemômetro doppler a laser (<i>laser doppler anemometry</i>)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.2 OBJETIVOS.....	15
1.1.2 Objetivos Geral.....	15
1.1.2 Objetivos Específicos	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 SENSORES E TRANSDUTORES	16
2.1.1– Sensor de temperatura.....	17
2.1.2– Sensores Fotoelétricos.....	18
2.1.3– Sensor de Velocidade do Vento	19
2.2 ARDUINO	21
2.2.1 Software Arduino e Linguagem de Programação.....	22
2.2.3 Módulo Max6675.....	23
2.2.4 Display OLED	24
2.3 Tecnologias Existentes	24
2.3.1 Anemômetro Ultrassônico	24
2.3.2 Anemômetro a laser	25
2.3.3 Luxímetro Utilizando Transistores	26
3. METODOLOGIA.....	27
3.1 Circuito da luminosidade.....	27
3.2 Circuito do anemômetro.....	28
3.3 Circuito da temperatura	30
3.4 Circuito final	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
4.1 Sistema de Calibração para medir luminosidade.....	32
4.2 Sistema de Calibração para medir a velocidade do vento	33
4.3 Sistema para medir a temperatura	34
5. CONCLUSÃO.....	36
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
7. APÊNDICE – CÓDIGO DO PROGRAMA DO ARDUINO UNO.....	39

1. INTRODUÇÃO

Como consequência do desenvolvimento do homem, convivendo em sociedade e cultivando seus alimentos, surge-se a preocupação com as condições climáticas. A humanidade viu a necessidade de conhecer e mensurar os fenômenos climáticos em que estavam inseridos, para auxiliar na produção de alimentos e no desenvolvimento de suas civilizações.

Neste sentido, na Grécia antiga, começou-se a associar fenômenos meteorológicos e naturais a causas divinas. Entretanto, segundo Cunha (1997), os gregos foram os primeiros a estudar os fenômenos climáticos, até então esse estudo não era conhecido como meteorologia. Foi a partir da obra “Meteorológica” de Aristóteles em 340 a.C que o estudo das condições climáticas passou a se chamar meteorologia.

A partir das primeiras observações feitas por Aristóteles, vários outros pesquisadores contribuíram para o avanço dos estudos desses fenômenos meteorológicos. Segundo o IAG.USP (2000), a meteorologia só foi aceita como uma genuína ciência natural a partir da invenção dos primeiros dispositivos de medida meteorológicas, como o termômetro no final do século XVI, o barômetro em 1643, e o hidrômetro por volta de 1700.

A medição de grandezas meteorológicas é essencial na vida do homem, não apenas em um aspecto, mas em vários. A humanidade depende diretamente do clima e do ambiente em que está inserido, seja na questão de trabalho ou lazer (Cunha ,1997).

Com o avanço tecnológico nas últimas décadas, surgiu-se vários tipos de sensores e aparelhos que auxiliam a detecção e medição de vários tipos de grandezas físicas, facilitando assim a obtenção de medidas meteorológicas, tornando-as simples e precisas (Cunha ,1997).

Porém, esses aparelhos têm um alto custo no mercado atual, se tornando inviável para alguns usuários.

Diante disso, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um instrumento de baixo custo que realizará precisamente a medição de três grandezas como: a temperatura, a luminosidade e a velocidade do vento.

1.2 OBJETIVOS

1.1.2 Objetivo Geral

- Desenvolvimento de um instrumento, para medições meteorológicas, de baixo custo, visando obter medidas de temperatura, luminosidade e velocidade do vento.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Montar o circuito elétrico para obtenção da luminosidade, Velocidade do Vento e Temperatura
- Plotar a curva característica para a luminosidade, Velocidade do Vento e Temperatura
- Desenvolver um programa utilizando a IDE do Arduino;
- Montar um instrumento de monitorização meteorológicas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

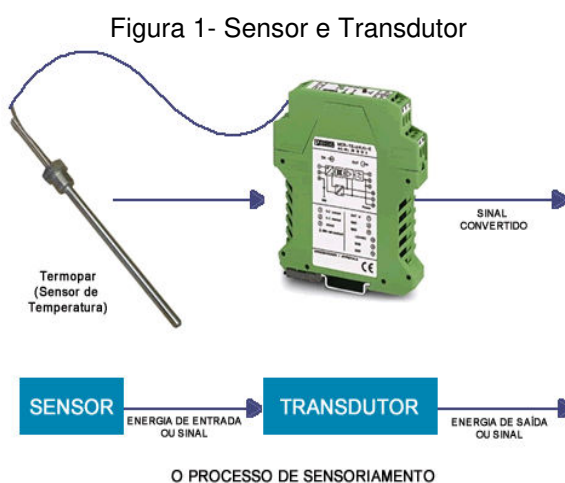
2.1 SENSORES E TRANSDUTORES

O termo sensor é utilizado para o elemento ou dispositivo que usa um fenômeno natural para sentir a variável que está sendo medida. Estes elementos são utilizados para mensurar grandezas físicas como temperatura, pressão, velocidade, dentre outras. Assim, o sensor emite um sinal de saída capaz de ser convertido ou interpretado por outros dispositivos, quando recebe uma entrada específica proveniente do ambiente (WENDLING,2010).

Consequentemente quando se fala em sensores também se fala em transdutores, pois quando se trata de medições eles são utilizados em conjunto. O termo transdutor é utilizado para o elemento que converte a informação sentida pelo sensor em um sinal detectável, que pode ser elétrico ou mecânico. Neste sentido pode-se considerar um transdutor como uma interface entre o sensor e o circuito de controle (WENDLING,2010).

A relação entre sensor e transdutor pode ser exemplificada por um termômetro de mercúrio, onde o mercúrio atua como sensor, pois ele sente a variável ambiental, e a haste é o transdutor, pois ele transforma o deslocamento do mercúrio em uma medida de temperatura.

Essa relação também pode ser observada na Figura 1, onde um sistema composto por um termopar, que atua como o sensor, e um transistor de temperatura programável.



Fonte: www.citisystems.com.br

2.1.1– Sensor de temperatura

Os termopares são um dos sensores de temperatura mais utilizados, pois têm uma alta faixa de atuação e um baixo custo no mercado. Por esse motivo esses dispositivos se adequam a vários tipos de aplicações.

Trata-se de 2 (dois) fios metálicos de materiais distintos que tem uma das suas extremidades unidas. Quando essa junção é submetida a temperaturas diferentes, surge-se uma tensão de circuito aberto V_s na extremidade livre proporcionando a temperatura T_{TC} na junção do termopar. Essa tensão é conhecida por tensão de Seebeck, em homenagem ao seu descobridor Thomas J. Seebeck (Anacleto, 2007).

A relação entre T_{TC} e V_s pode ser demonstrada pela Equação 1 (Anacleto,2007).

$$\Delta V_s = S(T_{TC})T_{TC} \quad (1)$$

Onde, segundo ANACLETO (2007), $S(T_{TC})$ é o coeficiente de Seebeck, que depende diretamente do tipo de termopar e é função da temperatura T_{TC} .

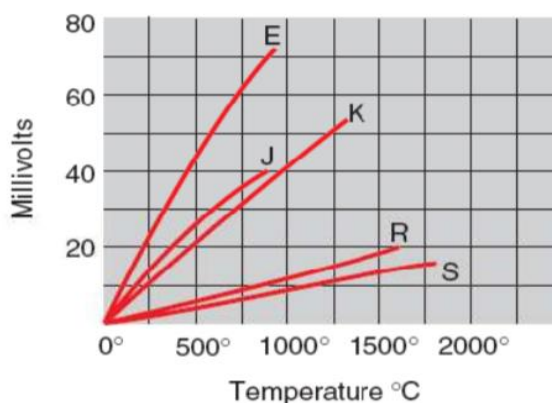
Atualmente pode ser encontrado uma vasta variedade de termopares no mercado, onde de um tipo para o outro varia os materiais utilizados na fabricação e a faixa de temperatura que eles atuam. A Tabela 1 apresenta os principais tipos de termopares e a distinções entre eles. A Figura 2 ilustra um gráfico de temperatura versos a tensão elétrica.

Tabela 1 – Temperaturas Normalizadas

TIPO	Condutores		Faixa de Temperatura (°C)
	Positivo	Negativo	
E	Cromel	Constantan	-270°C a 1000°C
J	Ferro	Constantan	-270°C a 1200°C
K	Cromel	Alumel	-270°C a 1372°C
R	Platina	13%Ródio-Platina	-50°C a 1750°C
S	Platina	10%Ródio-Platina	-50°C a 1750°C
T	Cobre	Constantan	-270°C a 400°C

Fonte: Araújo (2012)

Figura 2- Tensão normalizada de saída dos termopares



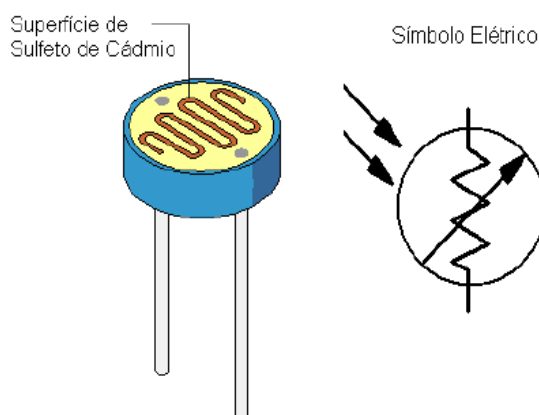
Fonte: Araújo (2012).

2.1.2 – Sensores Fotoelétricos

O sensor LDR (Resistor Dependente de Luz) é um dispositivo semicondutor cuja resistência varia de acordo com a intensidade da luz que incide sobre ele. Além disso, é um componente não polarizado, fazendo com que a corrente possa circular em ambos os sentidos.

Na Figura 3, ilustra-se um LDR, especificando a superfície de Sulfato de Cádmio e seu símbolo elétrico.

Figura 3- Sensor LDR



Fonte: Wendling (2010)

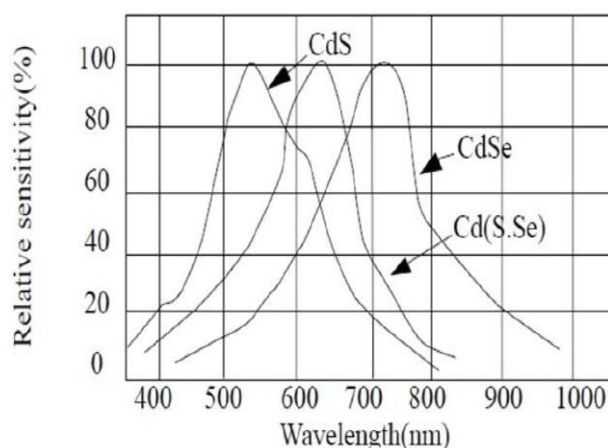
Quando o LDR é submetido a uma diferença de potencial e está na ausência de feixes de luz, diminui-se a quantidade de elétrons livres que circula pelo sensor devido ao aumento de sua resistência. Já quando LDR é submetido a uma diferença de potencial e exposto a feixes de luz, aumenta-se a quantidade de elétrons livres que circula pelo sensor devido a diminuição de sua resistência (THOMAZINI, E ALBUQUERQUE, 2008).

Esse dispositivo pode ser constituído de alguns tipos de materiais, entretanto, o material mais utilizado para a fabricação do mesmo é o Sulfato de Cádmi (CdS).

A desvantagem desse sensor está na sua velocidade de resposta, operando em velocidade menores do que algumas dezenas de quilohertz (THOMAZINI, E ALBUQUERQUE ,2008)

Sendo um dispositivo que tem como material base o sulfeto de cádmio (Cds), o LDR pode ter variações na sua composição, variações estas que alteram sua sensibilidade a diferentes comprimentos de ondas, na Figura 4 é possível observar esse fenômeno (THOMAZINI, E ALBUQUERQUE ,2008).

Figura 4– Resposta Espectral LDR



Fonte: THOMAZINI, E ALBUQUERQUE ,2008

Analisando a Figura 4 é possível perceber que o sensor LDR, tem uma maior sensibilidade a Luz com comprimento de onda entre 500 e 600 nm, que está entre a cor amarelo-verde (THOMAZINI, E ALBUQUERQUE ,2008).

2.1.3 – Sensor de Velocidade do Vento

O anemômetro é um instrumento de monitorização meteorológica, utilizado para medir a velocidade do vento. No mercado atual existem diversos tipos de anemômetros, entretanto, os mais utilizados em estações meteorológicas são os rotacionais, podendo ser do tipo conchas de Robinson ou do tipo hélice (RAMOS, E SEIDLER, 2011). Nas Figuras 5 e 6 ilustram-se os anemômetros do tipo conchas de Robinson e tipo hélice.

O anemômetro tipo conchas de Robinson é do tipo rotor horizontal. Onde há três ou mais conchas, montadas simetricamente de forma ortogonal ao eixo vertical. A velocidade de rotação depende diretamente da velocidade do vento, e é independente da direção. O conjunto de conchas faz mover um mecanismo conta- rotações e a velocidade do vento é calculada com um auxílio de um dispositivo de contagem. (RAMOS, E SEIDLER, 2011)

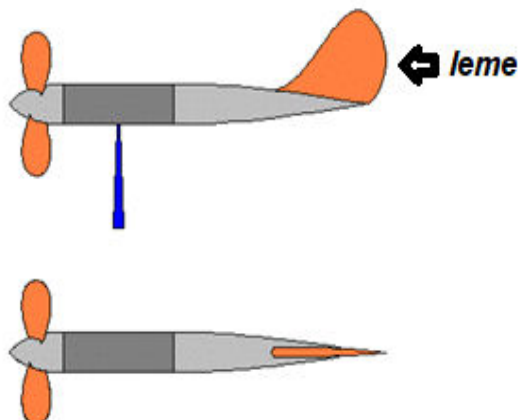
Figura 5– Anemômetro Tipo Robinson



Fonte: (ALÉ, SIMIONI, E HACK, 2008).

O anemômetro de hélice contém uma hélice para fluxo de ar no sentido axial, podendo trabalhar com velocidade elevadas, chegando até 320 km/h. Esse dispositivo contém uma espécie de leme, um anemoscópio colocado na horizontal do lado oposto da hélice para direcioná-lo no sentido do vento (RAMOS, E SEIDLER, 2011).

Figura 6- Anemômetro Tipo hélice

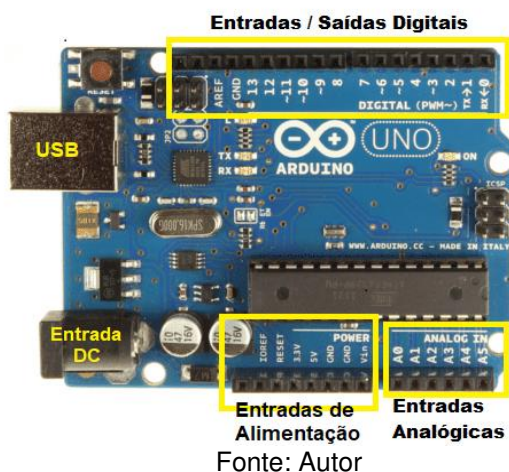


Fonte: Adaptado de Moura (2000)

2.2 ARDUINO

A placa Arduino é um equipamento eletrônico que recebe dados a partir de sensores que detectam movimento, por exemplo, e serve de dispositivo de controle para acionamento de equipamentos diversos. Através da programação feita no microcontrolador da placa Arduino é possível desenvolver projetos que funcionem de maneira autônoma e associados a outros dispositivos, como computadores. Para que a placa decodifique as instruções dadas pelo programador é necessário o uso da linguagem de programação Arduino, que se baseia na estrutura de linguagem C++, também é necessário o uso do IDE, que nada mais é que uma plataforma onde são feitos os códigos para controle da placa (SOUZA et al, 2011).

Figura 7– Arduino UNO



O Arduino foi desenvolvido como equipamento para que estudantes sem conhecimento amplo de eletrônica e programação fossem capazes de realizar prototipagem. Em termos práticos o Arduino funciona como um computador que pode ser programado para processar entradas e saídas entre os dispositivos e os componentes externos conectados a ele (McRoberts, 2011).

A placa do Arduino é composta de um microcontrolador Atmel AVR, um cristal ou oscilador (relógio simples que envia pulsos de tempo em uma frequência especificada) e um regulador linear 5 volts. Dependendo do tipo de Arduino que você utiliza, pode-se ter uma saída USB, que permite conectá-lo a um PC ou Mac para upload ou recuperação de dados. A placa expõe os pinos de entrada/saída do microcontrolador, para que o usuário possa conectá-lo a outros circuitos ou sensores (McRoberts, 2011).

Arduino UNO, ilustrada na Figura 7, é a placa mais utilizada. O hardware dessa placa contém: 1 (uma) entrada USB, que permite uma conectividade com o ambiente de desenvolvimento integrado e alimentação; 1 (uma) entrada alimentação DC com tensão entre 9V e 12V; 14 pinos de entrada e saída (digitais) e 6 pinos de entradas e saídas analógicas, que serão utilizados de acordo com o projeto; e as entradas de alimentação para conexão de Shields (placas que podem ser acopladas sobre a placa Arduino para ampliar suas capacidades e/ou adicionar funcionalidades) e módulos (componentes indispensáveis para realizar interface de um sistema com o usuário final, ambiente e/ou integração com outros sistemas) na placa Arduino UNO.

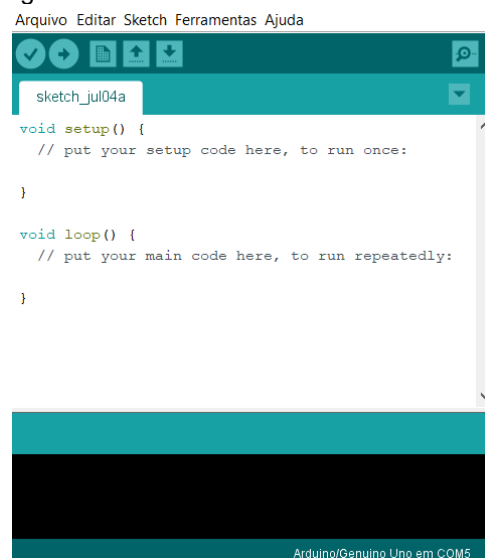
Os pinos das entradas de alimentação são: IOREF; RESET; 3,3V; 5V; GND e VIN. O pino IOREF fornece uma tensão de referência para que os módulos possam selecionar o melhor tipo de interface. Dessa forma os módulos que funcionam com a placa Arduino que são alimentados com 3,3V podem ser utilizadas em 5V. O pino RESET é utilizado para um reset externo da Placa Arduino. Esse pino é conectado diretamente no RESET do microcontrolador. O pino 3,3V fornece uma tensão de 3,3V para alimentação de módulos externos. O pino 5V fornece uma tensão de 5V para alimentação de módulos externos. O pino GND é o pino de terra da placa Arduino. E o pino VIN é para alimentar a placa através de shield ou bateria externa. Quando a placa é alimentada através do conector DC, a tensão da fonte estará nesse pino.

2.2.1 Software Arduino e Linguagem de Programação

Na Figura 8, ilustra-se o ambiente de desenvolvimento integrado (IDE). Este ambiente é um software de utilização simples onde o código da programação é editado, compilado, depurado e, em seguida enviado ao Arduino para que seja executado (McRoberts, 2011).

A linguagem de programação utilizada no desenvolvimento do código da programação é chamada processing e é baseada na linguagem C e C++, onde as estruturas de controles são fundamentais para o desenvolvimento de qualquer projeto utilizando Arduino e muitas já são disponíveis em forma de bibliotecas. Estrutura de comando é a ordem que instruções, expressões e chamadas de função são executadas (McRoberts, 2011)

Figura 8— Área de trabalho da IDE Arduino.



Fonte: Autor

2.2.2 Bibliotecas

É compreendida como um arquivo que contém várias funções agrupadas para realizar tarefas específicas. O uso das bibliotecas simplifica o desenvolvimento de aplicações, pois o código da biblioteca já está pronto, e só precisa ser incorporado ao programa em desenvolvimento para que suas funções possam ser acessadas e utilizadas pelo desenvolvedor (McRoberts, 2011).

2.2.3 Módulo Max6675

O MAX6675, ilustrado na Figura 9, realiza a compensação de junção fria e digitaliza o sinal de um termopar tipo K. Os dados são enviados em formato de somente leitura, com resolução de 12 bits (0,25°C), compatível com SPI, que é uma tecnologia de protocolo de comunicação serial de dados realizado com dispositivos periféricos, de forma rápida e em tempo real (RONCHI; PERUCH, 2018). A figura 8 ilustra o módulo Max6675.

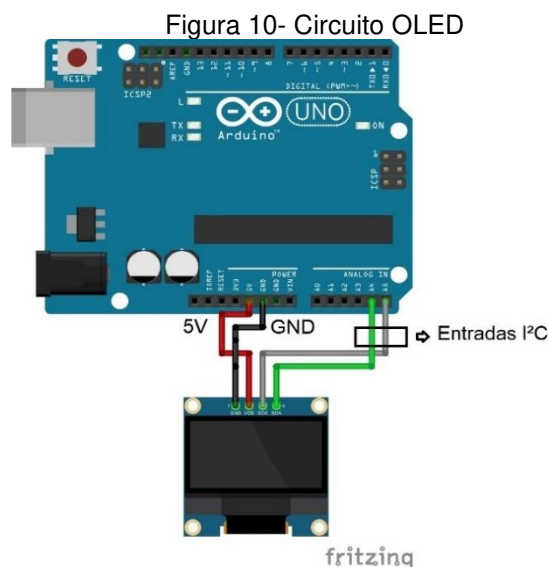
Figura 9— Módulo Max6675



Fonte: Autor

2.2.4 Display OLED

OLED, diodo orgânico emissor de luz, é um display diferente do LCD, onde consome bem menos energia, é mais leve e fino, oferece ângulos de visão maiores com melhor brilho e contraste, além de reproduzir cores muito mais naturais (ALMEIDA, et al. 2014).



Fonte: Autor

Este Display é perfeito para prototipação, uma vez que utiliza apenas 2 pinos com a comunicação Serial I2C (Circuito Inter-Integrado) (ALMEIDA; CAMPOS; ROLIM, 2014). Na figura 10, ilustra-se a ligação do Display.

2.3 Tecnologias Existentes

É possível encontrar vários tipos de estudos na implementação de sensores e dispositivos de baixo custo que possam substituir equipamentos de custo elevado.

2.3.1 Anemômetro Ultrassônico

Na Figura 11, ilustra-se o anemômetro ultrassônico bidimensional que pode funcionar segundo 2 (dois) princípios: o efeito Doppler e o tempo de trânsito.

Figura 11- Anemômetro Ultrassônico



Fonte: www.telecomsystem.com.br

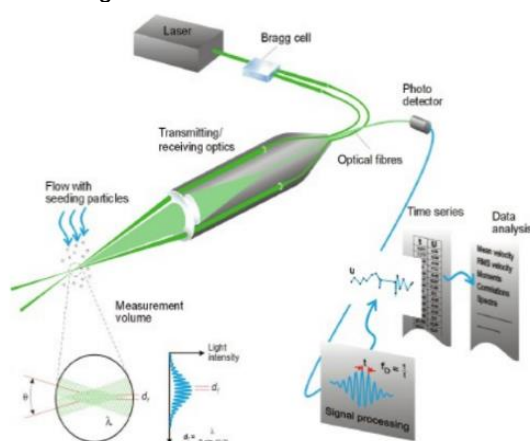
Pelo método do efeito Doppler, o sinal ultrassônico é emitido em uma certa frequência, sendo que devido o movimento do ar originado pelo vento verifica-se que o sinal recebido apresenta uma frequência diferente da que foi emitida, essa diferença que será utilizada para calcular a velocidade que terá uma razão com a frequência (Almeida,2004).

Já no método de trânsito, a velocidade do vento é medida com base na emissão de pulsos ultrassônicos, através de um tradutor, que percorrem uma distância predefinida durante um determinado intervalo de tempo até chegar ao outro transdutor, se existir vento na direção do pulso, esse intervalo de tempo irá ser menor ou maior. Com base nesse intervalo de tempo, a velocidade é medida (Almeida,2004).

2.3.2 Anemômetro a laser

Também conhecido como LDA (*Laser Doppler Anemometer*). Funciona sob o princípio do efeito de Doppler. É constituído de um sistema óptico e um processador de sinais. O sistema óptico gera um feixe de laser e divide o mesmo em dois, que se cruzam posteriormente, formando uma zona de interface (Almeida,2004). As partículas presentes no fluido em que se pretende medir a velocidade passa pela zona de interface, o que faz com que a luz seja desviada, refletindo-se numa pequena variação de frequência associada ao movimento das partículas, capazes de ser detectada por um dispositivo óptico que relaciona esse desvio com a velocidade do fluido (Almeida,2004). Na figura 12, ilustra-se o anemômetro a laser.

Figura 12- Anemômetro a laser



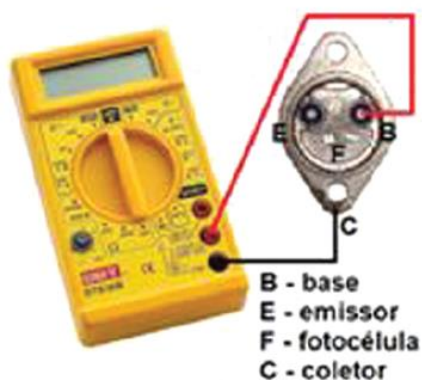
Fonte: Almeida, 2004

2.3.3 Luxímetro Utilizando Transistores

O Transistor 2N3055, do tipo NPN, é constituído por duas junções PN de silício, que expostos à luz se comportam como fotodiodos ou fotocélulas (PEDROSO et al., 2016).

A tampa do transistor é retirada, para que o silício da junção PN fique exposto. Os terminais do transistor, sendo que a cápsula é o coletor e os outros dois terminais são a base e o emissor, são conectadas a um voltímetro para medir a tensão elétrica nestes terminais, que varia simultaneamente com a intensidade de luz. Essa relação de tensão e intensidade de luz gera uma equação que pode ser utilizada para transformar a tensão lida pelo multímetro em luminosidade (PEDROSO et al., 2016). A figura 13 ilustra o circuito montado.

Figura 13- Circuito Transistor, voltímetro



Fonte: PEDROSO et al., 2016

3. METODOLOGIA

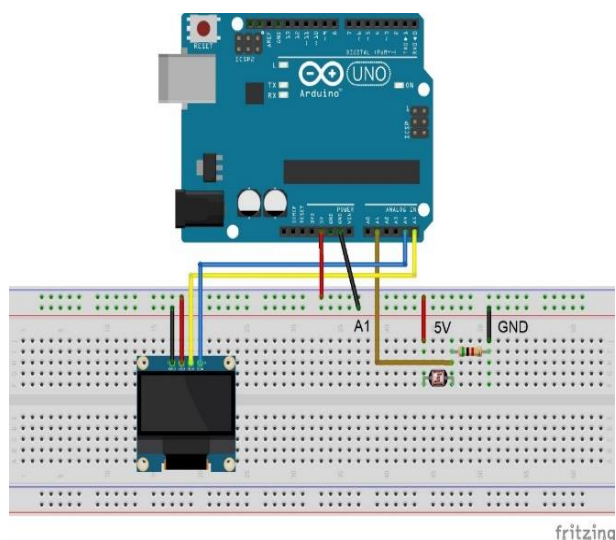
Para desenvolvimento de um instrumento para medições meteorológicas, de baixo custo, visando obter medidas de temperatura, luminosidade ou velocidade do vento, montou-se os circuitos da luminosidade, do anemômetro e da temperatura juntamente com a placa microcontrolada Arduino UNO baseada no chip ATmega328.

3.1 Circuito da luminosidade

O circuito da luminosidade foi montado para as medições de luminosidade, apresentando um sensor LDR, de 5mm de diâmetro, em série com um resistor de 5k Ω e uma fonte de alimentação contínua de 5V. O sensor LDR apresenta uma resistência quando há luz e no escuro de aproximadamente 1k Ω e 10k Ω , respectivamente. O resistor de 5k Ω foi utilizado no circuito com o objetivo de obter uma melhor resolução na leitura do Arduino. Neste circuito, a tensão elétrica no resistor é maior e menor quando há uma maior e menor intensidade de luz no LDR devido a sua resistência que diminui e aumenta, respectivamente.

Em seguida, realizou-se a montagem da junção do circuito da luminosidade juntamente com o Arduino, ilustrada na Figura 14, para a medição da luminosidade. Para isso, foi realizada uma programação no Arduino para a aquisição do valor da tensão de saída do circuito da luminosidade, tensão elétrica no resistor de 5k Ω , através da porta A1 do conversor AD, convertendo em LUX e, em seguida, apresentando o valor em um display OLED.

Figura 14- Circuito da luminosidade juntamente com o Arduino

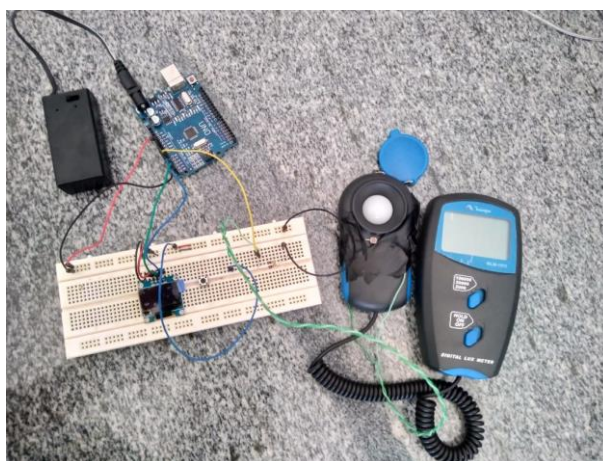


Fonte: Autor

A equação da conversão da tensão de saída do circuito de luminosidade para LUX foi obtida a partir de um sistema calibração, ilustrado na Figura 15, na qual utilizou o Luxímetro Minipa MLM1011 para comparar os valores da tensão de saída do circuito de luminosidade com os valores da densidade de intensidade luminosidade (LUX) apresentado no Luxímetro.

O sistema de calibração foi realizado num ambiente bastante escuro com uma lâmpada incandescente, de 60W, localizada na parte superior do ambiente e controlada por um dimmer. Esta lâmpada foi utilizada para provocar uma variação na leitura do luxímetro de 5 a 600 LUX.

Figura 15- Sistema de Calibração para medir a luminosidade



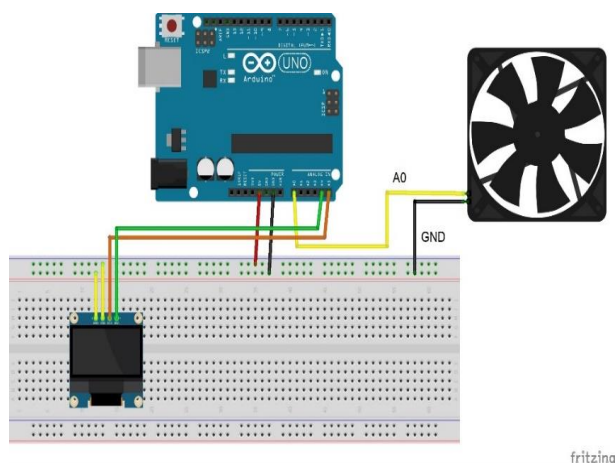
Fonte: Autor

3.2 Circuito do anemômetro

O circuito do anemômetro foi montado para medições do vento, apresentando apenas um cooler de 12V, onde a tensão de saída nos seus terminais é diretamente proporcional a rotação das suas 7 (sete) hélices.

Em seguida, realizou-se a montagem da junção do circuito do anemômetro juntamente com o Arduino, ilustrada na Figura 16, para a medição do valor da velocidade do vento. Para isso, foi realizada uma programação no Arduino para a aquisição da tensão de saída do cooler, através da porta A0 do conversor AD, convertendo em m/s e, em seguida, apresentando o valor em um display OLED.

Figura 16- Circuito Anemômetro

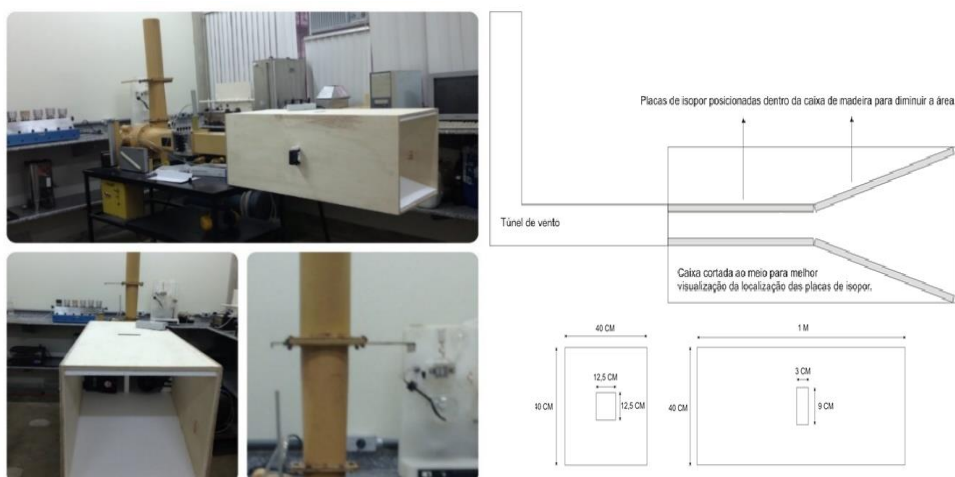


Fonte: Autor

A equação da conversão da tensão de saída do circuito do anemômetro para m/s foi obtida a partir de um sistema calibração, ilustrado na Figura 17, na qual utilizou o anemômetro digital da Minipa MDA11 para comparar os valores da tensão de saída do circuito do anemômetro com os valores da velocidade do vento (m/s) apresentado no anemômetro.

O sistema de calibração foi realizado no túnel do vento, no laboratório de mecânica dos fluidos da UFRN, onde foi introduzido o anemômetro digital juntamente com o cooler dentro da caixa de madeira, na forma de funil para fornecer o torque necessário para girar o anemômetro, que estava acoplada ao túnel de vento. As medidas foram realizadas inicialmente com a vazão máxima de vento, sendo reduzida aos poucos.

Figura 17- Sistema de Calibração para medir a velocidade do vento



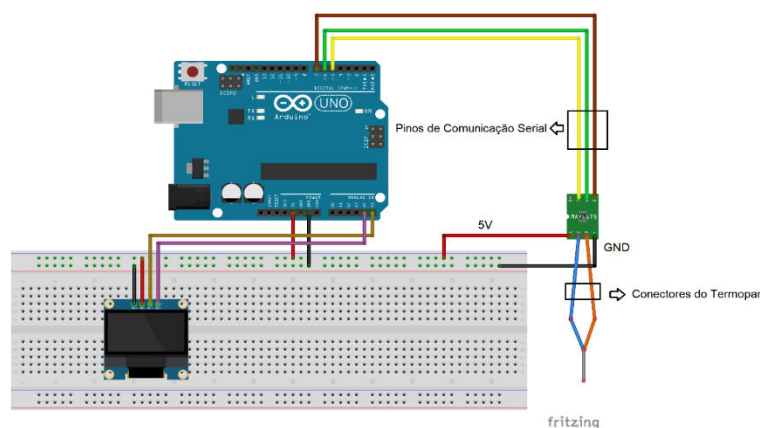
Fonte: Autor

3.3 Circuito da temperatura

O circuito da temperatura foi montado para medições da temperatura, apresentando um termopar tipo K e um módulo Max6675.

Em seguida, realizou-se a montagem da junção do circuito da temperatura juntamente com o Arduino, ilustrada na Figura 18, para a medição da temperatura. Para isso, foi realizada uma programação no Arduino para a aquisição do valor da temperatura, através da comunicação SPI como o módulo Max6675, e, em seguida, apresentando o valor em um display OLED.

Figura 18- Circuito termopar



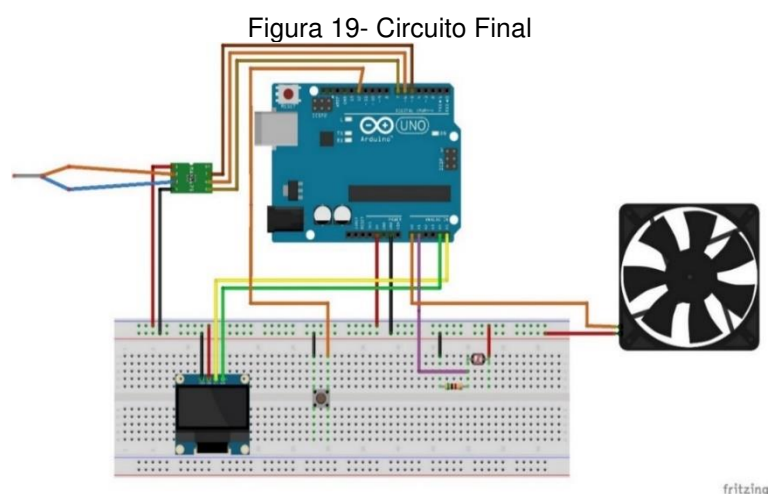
Fonte: Autor

Com o auxílio do módulo Max6675, não foi necessária a calibração do circuito da temperatura. Entretanto, foi realizado um ensaio para testar a eficácia do sistema. Para a realização deste ensaio, foi necessário o auxílio do banho maria do laboratório de química da UFERSA/ Campus Caraúbas, juntamente com um sistema de aquisição de dados 34972A da Agilet. O sistema de aquisição foi configurado para medir a temperatura através de um termopar tipo K que estava conectado no mesmo, em seguida foi inserido os dois termopares no banho maria, o que estava ligado ao Arduino e o que estava ligado ao sistema de aquisição. A temperatura do banho maria, que estava próxima 1°C, foi configurada para aumentar até chegar a 100 °C, e a cada 2 (dois) minutos o sistema de aquisição realizava a leitura e os valores dos dois dispositivos eram comparados.

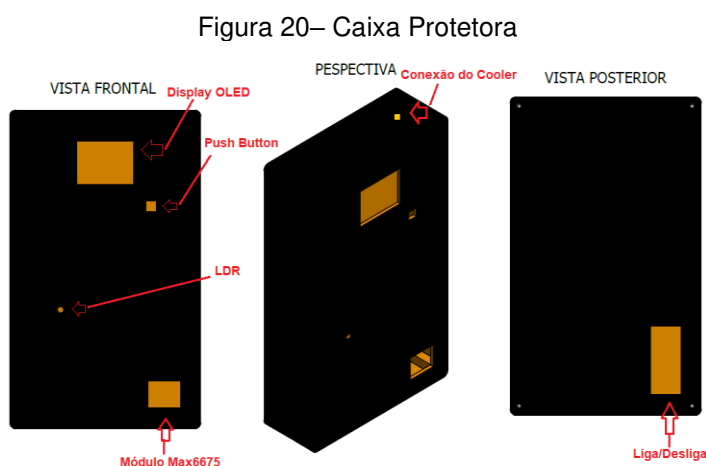
3.4 Circuito final

Após a montagem de cada circuito e a calibração de cada um dos sensores, montou-se o circuito final do projeto, ilustrado na Figura 19.

Neste circuito foi introduzido um botão (*push button*) de mudança de leitura, conectado na porta 12 do conversor AD, com a finalidade de mudar a leitura de um circuito para outro e, conseqüentemente, apresente a leitura no display OLED. Para isto, realizou-se a programação no Arduino do circuito final para obter medidas de temperatura, luminosidade ou velocidade do vento num display OLED.



Por fim, foi projetado uma caixa protetora, ilustrada na Figura 20, com a finalidade de proteger o circuito final de danos externos, torná-lo mais compacto e de fácil manuseio.



4. RESULTADOS E DISCUSÕES

4.1 Sistema de Calibração para medir luminosidade

Na Tabela 2, apresenta-se os valores medidos da tensão de saída do circuito de luminosidade e da densidade de intensidade luminosa ou iluminância (LUX) do luxímetro.

Tabela 2 – Resistor 5k Ω

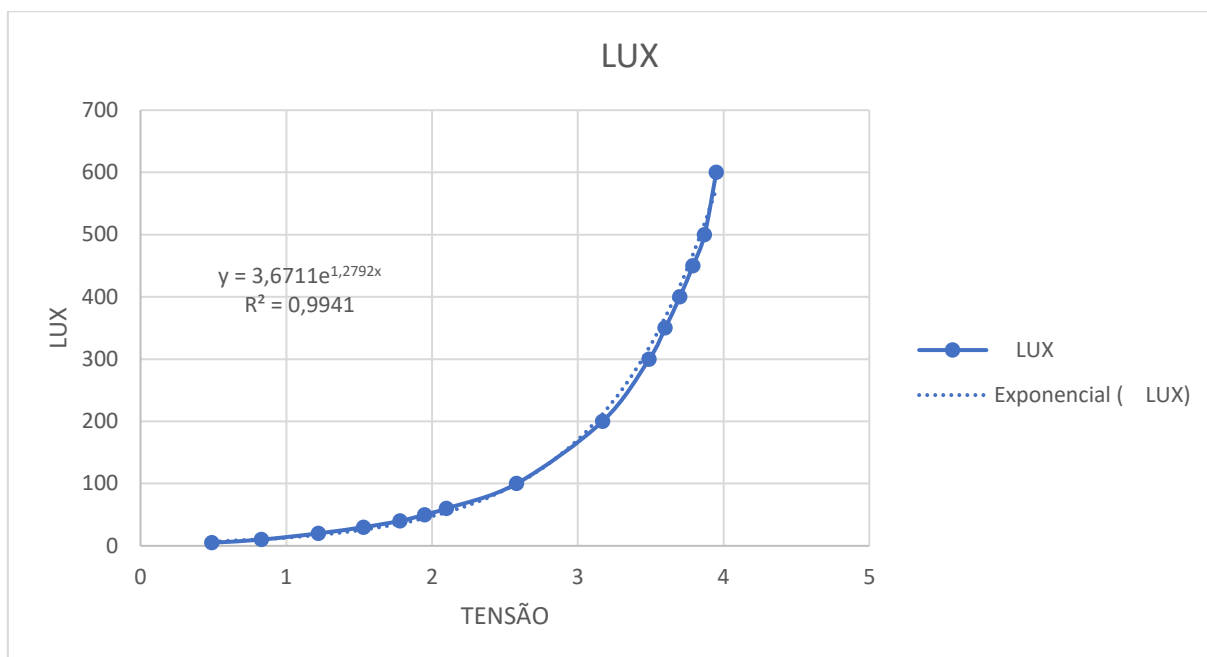
Tensão (V)	LUX (lm/m ²)
0,49	5
0,83	10
1,22	20
1,53	30
1,78	40
1,95	50
2,10	60
2,58	100
3,17	200
3,49	300
3,60	350
3,70	400
3,79	450
3,87	500
3,95	600

Fonte: Autor

Na Figura 21 ilustra-se o gráfico plotado no software Excel da tensão elétrica versus a densidade de intensidade luminosa ou iluminância (LUX) utilizando os dados da Tabela 2. Neste gráfico, observa-se uma equação exponencial $Y = 3,6711e^{1,2792x}$, ao adicionar a linha de tendência, onde o Y é a Luminosidade e o X corresponde a tensão elétrica de saída do circuito de luminosidade.

Além disso, observa-se um coeficiente de determinação, também chamado de R^2 , que é uma medida de ajustamento de um modelo estatístico linear generalizado em relação aos valores observados, no valor de 0,9941, comprovando que o modelo melhor se ajusta à resposta.

Figura 21- Gráfico Tensão x Lux



Fonte: Autor

4.2 Sistema de Calibração para medir a velocidade do vento

Na Tabela 3, apresenta-se os valores medidos da tensão de saída do circuito do anemômetro e da velocidade do vento do anemômetro.

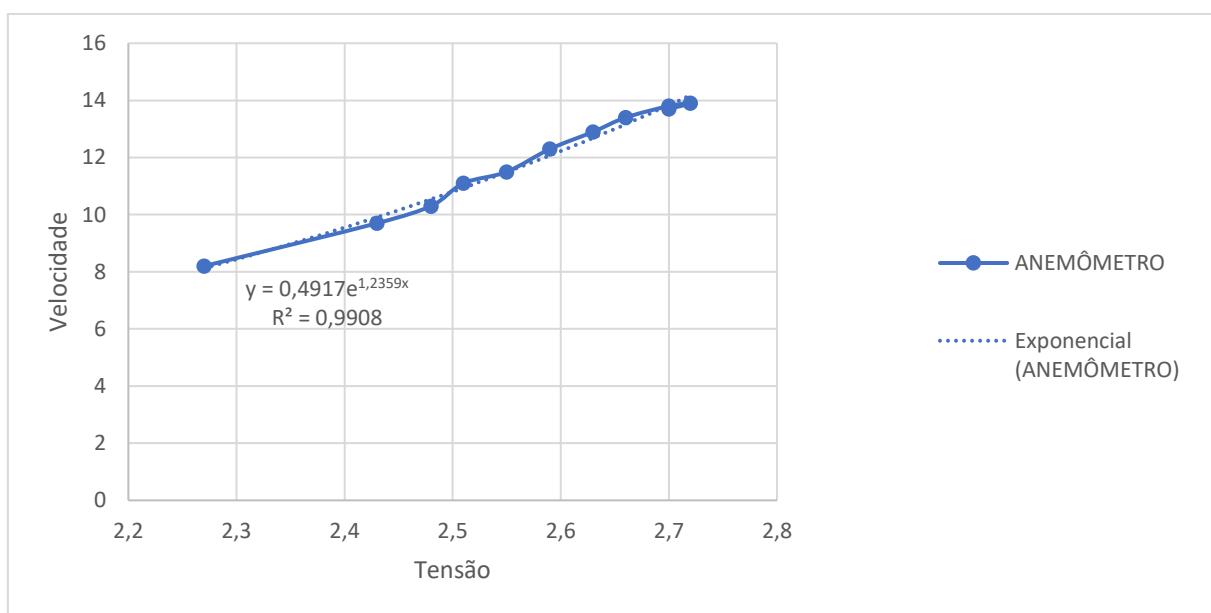
Tabela 3 – Arduino/Anemômetro

Tensão (V)	Velocidade (m/s)
2,70	13,7
2,72	13,9
2,70	13,8
2,66	13,4
2,63	12,9
2,59	12,3
2,55	11,5
2,51	11,1
2,48	10,3
2,43	9,70
2,27	8,20

Fonte: Autor

Na Figura 22, ilustra-se o gráfico, plotado no *software* Excel, da tensão elétrica versus a velocidade do vento, utilizando os dados da Tabela 3. Neste gráfico, observa-se uma equação exponencial $Y=0,4917e^{1,2359x}$, ao adicionar a linha de tendência, onde o Y é a velocidade do vento e o X corresponde a tensão elétrica de saída do circuito do anemômetro.

Figura 22– Gráfico Tensão x Velocidade



Fonte: Autor

Além disso, observa-se um coeficiente de determinação, também chamado de R^2 , que é uma medida de ajustamento de um modelo estatístico linear generalizado em relação aos valores observados, no valor de 0,9908, comprovando que o modelo melhor se ajusta à resposta.

4.3 Sistema para medir a temperatura

Na Tabela 4, apresenta-se os valores medidos da temperatura lidos no Arduino e no sistema de aquisição de dados da Agilent.

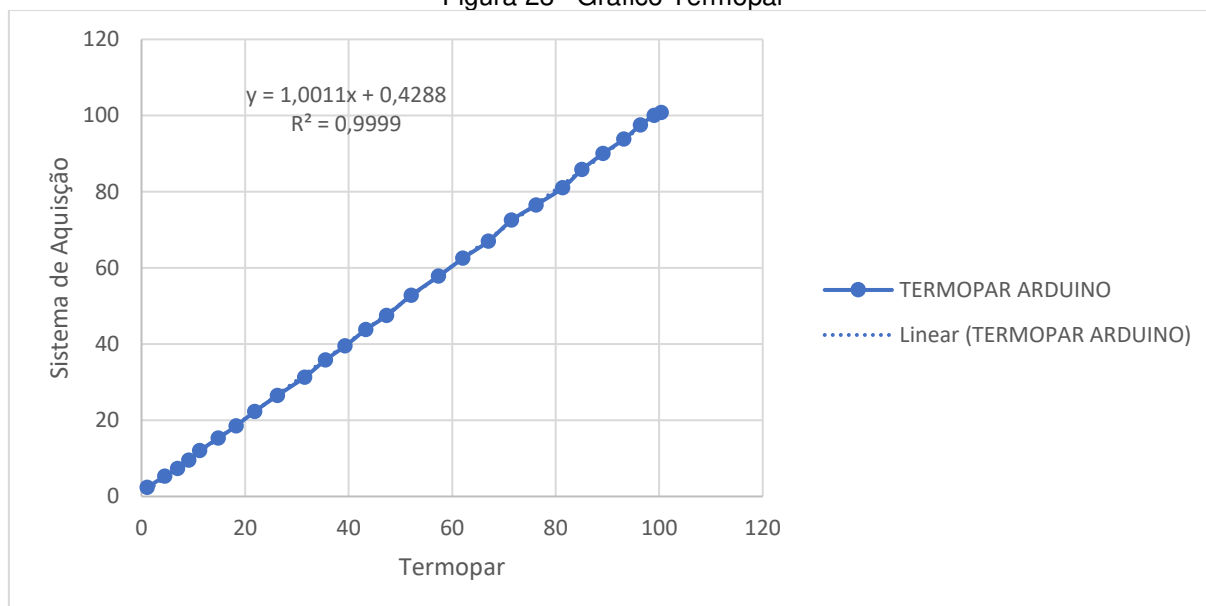
Na Figura 23, ilustra-se o gráfico, plotado no *software* Excel, da temperatura versus a temperatura do banho, utilizando os dados da Tabela 4. Neste gráfico, observa-se um comportamento linear $Y= 1,0011x + 0,4288$, ao adicionar a linha de tendência, onde o Y é a temperatura do sistema de aquisição de dados da Agilent e o X corresponde temperatura do circuito da temperatura juntamente com o Arduino.

Tabela 4 – Termômetro / Sistema de aquisição

Temp (Cº) Agilent	Temp (Cº) Arduino	Temp (Cº) Agilent	Temp (Cº) Arduino	Temp (Cº) Agilent	Temp (Cº) Arduino
1,12	2,40	31,50	31,30	71,49	72,50
4,48	5,30	35,52	35,80	76,20	76,50
6,97	7,30	39,34	39,50	81,36	81,00
9,11	9,50	43,34	43,80	85,10	85,80
11,22	12,00	47,37	47,50	89,13	90,00
14,84	15,30	52,11	52,80	93,20	93,80
18,26	18,50	57,37	57,80	96,38	97,50
21,85	22,30	62,08	62,50	99,02	100,03
26,26	26,50	66,99	67,00	100,40	100,80

Fonte: Autor

Figura 23– Gráfico Termopar



Fonte: Auto

Além disso, observa-se um coeficiente de determinação, também chamado de R^2 , que é uma medida de ajustamento de um modelo estatístico linear generalizado em relação aos valores observados, no valor de 0,9999, comprovando que o modelo melhor se ajusta à resposta.

5. CONCLUSÃO

Diante da vasta gama de sensores e microcontroladores disponíveis no mercado atual, foi possível desenvolver um instrumento de baixo custo e de precisão, onde realiza a medição de 3 (três) grandezas físicas como: temperatura, luminosidade e velocidade do vento.

Na calibração para medir a luminosidade, Velocidade do Vento e Temperatura observou-se um coeficiente de determinação, também chamado de R^2 , em todas as calibrações que se aproximou de 1, comprovando que os modelos se ajustam-se às respostas. Para a luminosidade foi possível obter essa proximidade devido ao sensor LDR trabalhar no espectro de luz entre 550 e 600 nm, na qual é o mesmo da lâmpada incandescente utilizada no sistema calibração.

Observou-se, que para trabalhos futuros o projetista deve-se atentar inicialmente a área de atuação ou ambiente em que o dispositivo será inserido pois cada sensor tem suas limitações, e ao fazer essa análise pode ser adquiridos os sensores que atuam no ambiente pré-determinado, diminuindo assim os erros no projeto.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALÉ, J. A, SIMIONI, G.S, HACK, P.S, Importância da calibração de anemômetros nos empreendimentos eólicos. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE METROLOGIA MECÂNICA, n, 1, 2008, Rio de Janeiro.
2. Almeida, W. R. M (2004). **Anemômetro Baseado no Método de Tempo de Trânsito: Estudo comparativo de arquitetura, Avaliação de incertezas e implementação.** Maranhão: Universidade Federal do Maranhão.
3. ALMEIDA, Willians Lopes; CAMPOS, Vinicius Batista; ROLIM, Raimundo de Moura. Tecnologia dos diodos orgânicos emissores de Luz: uma visão físico-ambiental. **Estação Científica (UNIFAP)**, Macapá, p. 1-10, 11 ago. 2014
4. ANACLETO, A.M.C. **Temperatura e sua Medição.** Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto, Departamento de Física, 2007.
5. Araújo, D. B. **Estudos de Distorções em Soldagem com Uso de Técnicas Numéricas e de Otimização.** Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Uberlândia, Tese (Doutorado), Uberlândia, 2012.
6. CITISYSTEMS. Sorocaba.SP, SD Disponível em: www.citisystems.com.br. Acesso em: 20 jul.2019.
7. CUNHA, G.R. **METEOROLOGIA Fatos & Mitos.** Passo Fundo RS: EMBRAPA-CNPT, 1997. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/178890/1/ID7850-1997LVFatosMit01.pdf>. Acesso em: 2 abr. 2019.
8. IAG.USP. **METEOROLOGIA a ciência da atmosfera.** [S. l.], 2000. Disponível em: <http://www.iag.usp.br/siae97/meteo.htm>. Acesso em: 28 mar. 2019.
9. McRoberts, Michael. **Arduino básico** / Michael McRobets; [tradução Rafael Zanolli]. – São Paulo: Novateo Editora, 2011.
10. MOURA, Marcelo M. Phonix Observatório Astronômico. Disponível em: <http://www.observatorio-phoenix.org/k_ensaios/24_24_k16_c.htm>
11. PEDROSO, Luciano.S. MACÊDO, Antunes. J. ARAÚJO, Sérgio. M.
12. RAMOS, F.G, SEIDLER, N. Estudo da energia eólica para aproveitamento em pequenos empreendimentos. **Revista Eletrônica de Extensão da URI.** Vol.7, N.13: p. 108-127, 2011.
13. RONCHI, Luiz Gustavo; PERUCH, Fábio. **Desenvolvimento do Equipamento e Realização do Ensaio Jominy Monitorado, para Obtenção das Curvas de Resfriamento.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Superior) - Discente, Criciúma, SC, 2018.
14. SOUZA, A.R, PAIXÃO, A.C, UZÊDA, D.D, DIAS, M.A, DUARTE, S. AMORIM, H.S. A placa Arduino: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo PC. **Revista Brasileira de Ensino de Física.** vol.33, n.1, p.1-5, 2011.
15. TELECOM System. Macaé,RJ, SD. Disponível em: <http://www.telecomsystem.com.br>. Acesso em: 20 jul. 2019.

16. THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P.U.B. **Sensores industriais:** fundamentos e aplicações. 4. ed. Érica, 2018.
17. WENDLING, M. (Guaratinguetá). **Sensores**. 2010. Disponível em: <<http://www2.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/4---sensores-v2.0.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2017.

APÊNDICE – CÓDIGO DO PROGRAMA NO ARDUINO UNO

```
#include "Wire.h"

#include "max6675.h"

#include "U8glib.h"

#include "math.h"

int contador = 0;

float valor = 0;

float soma = 0;


//-----BOTÃO-----//

#define butUp 12

void changeMenu();

void dispMenu(float,float,float);

char menu = '1';

boolean t_butUp;


//-----MAX6675.h-----//


int pinSO = 5; // Atribui o pino 8 como SO

int pinCS = 6; // Atribui o pino 9 como CS

int pinSCK = 7; // atribuir o pino 10 como SCK

MAX6675 termoclanek(pinSCK, pinCS, pinSO);

U8GLIB_SSD1306_128X64 u8g(U8G_I2C_OPT_NO_ACK);


//-----TERMOPAR-----//
```

```

void draw(float temperatura)
{
    //Comandos graficos para o display devem ser colocados aqui
    u8g.setFont(u8g_font_8x13B);
    u8g.drawRFrame(0,18, 128, 46, 4);
    u8g.drawStr( 15, 15, "TEMPERATURA");
    char buf[9];
    dtostrf(temperatura,4,1,buf);
    Serial.print("Testando sprintf");
    Serial.print(buf);
    Serial.println();
    Serial.print("Testando temperatura");
    Serial.print(temperatura);

    u8g.setFont(u8g_font_fub30);
    u8g.drawStr( 10, 57, buf);

    u8g.drawCircle(98,30,3);
    u8g.setFont(u8g_font_fub30);
    u8g.drawStr( 100, 57, "C");
}

//-----LUXIMETRO-----//

void LUX (float valor)
{
    //Comandos graficos para o display devem ser colocados aqui

```

```

u8g.setFont(u8g_font_8x13B);
u8g.drawRFrame(0,18, 128, 46, 4);
u8g.drawStr( 20, 15, "LUMINOSIDADE");

```

```

char buf[9];
dtostrf(valor,4,2,buf);

```

```

Serial.print("luminosidade");
Serial.print(buf);

```

```

Serial.println();
Serial.print("Testando luminosidade");
Serial.print(valor);

```

```

u8g.setFont(u8g_font_fub30);
u8g.drawStr(8, 57, buf);
u8g.setFont(u8g_font_fub30);
}

```

```

//-----ANEMOMETRO-----//

```

```

void VOLT (float tensao)
{
//Comandos graficos para o display devem ser colocados aqui
u8g.setFont(u8g_font_8x13B);
u8g.drawRFrame(0,18, 128, 46, 4);
u8g.drawStr( 40, 15, "TENSAO")

```

```

char buf[9];
dtostrf(tensao,4,1,buf);

Serial.print("tensao");
Serial.print(buf);
Serial.println();
Serial.print("Testando tensao");
Serial.print(tensao);
u8g.setFont(u8g_font_fub30);
u8g.drawStr( 8, 57, buf);
u8g.setFont(u8g_font_fub30);
u8g.drawStr( 90, 57, "V");
}

void setup()
{
  pinMode(12, INPUT_PULLUP);
  t_butUp = 0x00;
  Serial.begin(9600);
  if ( u8g.getMode() == U8G_MODE_R3G3B2 ) {
    u8g.setColorIndex(255);    // white
  }
  else if ( u8g.getMode() == U8G_MODE_GRAY2BIT ) {
    u8g.setColorIndex(3);      // max intensity
  }
  else if ( u8g.getMode() == U8G_MODE_BW ) {
    u8g.setColorIndex(1);      // pixel on
  }
}

```

```
}  
  
else if ( u8g.getMode() == U8G_MODE_HICOLOR ) {  
    u8g.setHiColorByRGB(255,255,255);  
  
}  
  
void loop()  
{  
  
    changeMenu();  
    if (contador ==0){  
        Serial.println(menu);  
        float teplotaC = termoclanek.readCelsius();  
        float velocidade;  
        float tensao = analogRead(A0);  
        tensao = analogRead(A0)*(5.0/1023.0);  
        //velocidade = 0.4905 * exp(1.237 * tensao);  
        //if (tensao == 0){(velocidade = 0);}  
  
        int i = 0;  
        float lux ;  
        soma =0;  
        valor =0;  
        float leitura = 0.0;
```

```

for (i=0; i<1000; i++)
{
    leitura = analogRead(A1)*(5.0/1023.0);
    soma = soma + leitura;
}

```

```

valor = soma/1000.0;
lux = 3.6711* exp(1.2792*valor) ;
if(valor < 0.1 ){(lux = 0);}
Serial.println(lux);
Serial.print("ultima leitura: ");
Serial.println(leitura);

```

```

u8g.firstPage();
do
{
    dispMenu(tensao,teplotaC,lux);
}
while( u8g.nextPage() );
}

```

```

contador++;
if (contador == 100)contador = 0;
delay(10);

}

```

```
void changeMenu() {  
    if (!digitalRead(butUp)) t_butUp = 0x01;  
  
    if (digitalRead(butUp)&& t_butUp)  
  
    {  
        t_butUp = 0x00;  
        menu++;  
        if (menu > '3') menu = '1';  
    }  
}  
  
void dispMenu (float tensao, float temperatura, float valor){  
  
    switch(menu)  
    {  
        case '1':  
            LUX(valor);  
            Serial.println(valor);  
            break;  
        case '2':  
            VOLT(tensao);  
            Serial.println(tensao);  
            break;  
        case '3':  
            draw(temperatura);  
            Serial.println(temperatura);
```

```
break;}
```

```
}
```