



Relatório Técnico  
Projeto de uma Estação Meteorológica  
Instrumentação e Medição  
Turma 1A

Adney Costa Moura  
Matheus Silva Melo de Oliveira  
Ykaro de Sousa Andrade

São Paulo, 2020

# Objetivos e Introdução

Neste relatório será demonstrado todos os passos de como fora a montagem de Estação Meteorológica, controlada por um microcontrolador *Arduino Uno*, bem como todos os materiais utilizados no processo e a calibração dos respectivos sensores: Sensor de Temperatura LM-35, Sensor de Umidade DHT-22, Sensor de Luz LDR, Sensor de Pressão e Altitude BMP-358. Tudo isso afim de obter uma maior exatidão nos valores medidos em cada um dos experimentos. Para cada uma dessas medições foram realizadas experimentações em laboratório.

Com o objetivo de calibrar o Sensor LM-35 utilizamos 6 fornos, cada um com temperaturas distintas. Para a calibração DHT-22 foi preciso 6 soluções aquosas de sais distintos para a medição de umidade.

O objetivo da montagem desta Estação Meteorológica é obter os dados mais exatos possíveis de Temperatura, Umidade, Luminosidade, Altitude e Pressão e com a utilização de um microcontrolador Arduino e uma Tela LED demonstrar estes resultados, com a menor taxa de erro possível dentre os parâmetros corrigidos.

# Fundamentação teórica

Para a realização desse relatório e alguns de seus procedimentos teóricos foram utilizados conceitos matemáticos e estatísticos que auxiliaram na construção e entendimento dos dados aqui apresentados.

## 1.Método dos Mínimos Quadrados

Método criado por Carl Friedrich Gauss, com intuito de obter um melhor ajuste para um conjunto de dados, visando sobretudo, minimizar os erros de aproximação. Este método busca aproximar um conjunto de pares ordenados por uma função, onde cada par ordenado tem um erro de aproximação. O “MMQ” minimiza a soma dos erros quadrados, tendendo assim para uma melhor aproximação desse conjunto de dados.

Para o uso deste método, se fazem necessários os cálculos dos seguintes somatórios:

$$\begin{aligned}S_x &= \sum_{i=1}^n x_i \\S_y &= \sum_{i=1}^n y_i \\S_{x^2} &= \sum_{i=1}^n x_i^2 \\S_{xy} &= \sum_{i=1}^n x_i y_i\end{aligned}$$

Posteriormente, foi estabelecido o cálculo da variável intermediária  $\Delta$ , esta crucial para o estabelecimento dos coeficientes intrínsecos à reta:

$$\begin{aligned}\Delta &= n \cdot S_{x^2} - S_x S_x \\a &= \frac{1}{\Delta} (n S_{xy} - S_x S_y) \\b &= \frac{1}{\Delta} (n S_{x^2} S_y - S_x S_{xy})\end{aligned}$$

Definido os coeficientes, devemos definir as retas de calibração e sua função inversa, que dessa forma, permitirão uma correção de um conjunto de dados analisados:

$$\begin{aligned}f(x) &= ax + b \\f^{-1}(y) &= \left(\frac{1}{a}\right) \cdot y - \left(\frac{b}{a}\right)\end{aligned}$$

De posse dessas retas, se faz possível a correção de determinados valores estimados com a correção adequada para tal conjunto de valores.

## 2.Determinação de incertezas

De acordo com o conjunto de dados analisados, determinadas incertezas são intrínsecas a sua medição, tanto quanto às características próprias do material. Dessa forma, dois tipos de incerteza foram considerados durante todo o processo de análise e correção de conjuntos de dados, estes, posteriormente combinados em um único valor de incerteza, essa sendo considerada padrão para o sistema em questão. A primeira incerteza analisada, é concernente a erros aleatórios, essa sendo considerada como *incerteza estatística* ou *incerteza do tipo A*, onde seu cálculo é possível através do estabelecimento do desvio padrão da amostra de dados e seu respectivo tamanho. Os passos para sua obtenção, consistem em:

-Cálculo da média aritmética da amostra:

$$u = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

-Cálculo do desvio padrão:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - u)^2}$$

-Determinação da incerteza estatística:

$$\sigma_a = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Analogamente, se faz necessário o cálculo da *incerteza sistemática residual*, que usualmente tem seu cálculo através da seguinte fórmula, onde  $L$ , é considerado o limite de erro do aparelho:

$$\sigma_b = \frac{L}{2}$$

Assim, para a obtenção da incerteza padrão associada ao sistema, basta utilizar:

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_b^2}$$

## 3.Propagação e Transferência de incertezas

De posse dos valores das incertezas associadas a esse conjunto de valores, é necessário entender como, ao realizar operações matemáticas com dois valores que possuem incertezas, precisamos “propagar” as incertezas associadas. Esse processo, em todas as operações possíveis podem ocorrer conforme a tabela abaixo:

Operação	Valor ( $\mu$ )	Incerteza ( $\sigma$ )
Adição	$z = x + y$	$\sigma_z^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2$ $\sigma_z = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$
Subtração	$z = x - y$	$\sigma_z^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2$ $\sigma_z = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$
Multipliação	$z = x \cdot y$	$\left(\frac{\sigma_z}{z}\right)^2 = \left(\frac{\sigma_x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_y}{y}\right)^2$
Divisão	$z = x \div y$	$\left(\frac{\sigma_z}{z}\right)^2 = \left(\frac{\sigma_x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_y}{y}\right)^2$
Adição/subtração por constante	$z = K + x$	$\sigma_z = \sigma_x$
Multipliação/divisão por constante	$z = K \cdot x$	$\sigma_z =  K  \times \sigma_x$
Função	$z = f(x)$	$\sigma_z = \left  \frac{\partial f(x)}{\partial x} \right  \times \sigma_x$

Eventualmente, determinadas grandezas são medidas em função de determinadas variáveis independentes, sendo que ambas as grandezas podem possuir incertezas associadas. Nesse caso, é necessário admitir-se que a incerteza associada a variável dependente é maior dada pela expressão:

$$\sigma_y^2 = \sigma_{y,original}^2 + \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 \cdot \sigma_x^2$$

Assim, utilizando um algoritmo dentro da plataforma Microsoft Excel, se faz possível a transferência de incertezas de eixos.

#### 4.Método dos mínimos quadrados com incertezas

Com os valores de incertezas associadas às amostras em mãos, faz-se necessário a adaptação da utilização do MMQ para uma melhor análise disposta do conjunto de dados em questão. Para tal, algumas adaptações algébricas são realizadas e mostradas abaixo, todavia, o algoritmo de resolução da variável intermediária e seus consequentes coeficientes continuam os mesmos.

$$J = \sum_{i=1}^N \left( \frac{y_i - f(x_i)}{\sigma_{y_i}} \right)^2$$

Cálculo das somatórias  $S_{\sigma_y}$ ,  $S_x$ ,  $S_{x^2}$ ,  $S_y$  e  $S_{xy}$ :

$$S_{\sigma_y} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{\sigma_{y_i}^2}$$

$$S_x = \sum_{i=1}^N \frac{x_i}{\sigma_{y_i}^2}$$

$$S_{x^2} = \sum_{i=1}^N \frac{x_i^2}{\sigma_{y_i}^2}$$

$$S_y = \sum_{i=1}^N \frac{y_i}{\sigma_{y_i}^2}$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^N \frac{x_i y_i}{\sigma_{y_i}^2}$$

Cálculo de variável intermediária  $\Delta$ :

$$\Delta = S_{\sigma_y} S_{x^2} - S_x S_x$$

Cálculo dos coeficientes  $a$  e  $b$  da função  $f(x) = ax + b$ :

$$a = \frac{1}{\Delta} (S_{\sigma_y} S_{xy} - S_x S_y)$$

$$b = \frac{1}{\Delta} (S_{x^2} S_y - S_x S_{xy})$$

## 5. Interpolação e extrapolação

Método que dada a linearidade de uma amostra de dados e seus respectivos valores, pode associar medidas esperadas utilizando tanto valores já definidos, quanto valores esperados pela reta associada. A validade deste método se baseia sobretudo na utilização geométrica de semelhança de triângulos que conseguem prever medidas aproximadas para valores interpolados entre dois pontos conhecidos, como no caso da interpolação ou na suposição de um valor definido e um suposto para com outro esperado entre esses.

# Materiais e métodos

## 1. Materiais, hardwares e softwares utilizados

A estação é composta de 4 sensores: Temperatura, Altitude e Pressão, Umidade e Luminosidade. Para realizar a calibração de alguns sensores e montagem do projeto foram utilizados os seguintes materiais ou instrumentos:

- 2 Protoboards 830 furos, Breadboard MB-102;
- 1 resistor de  $330\Omega$ ;
- 1 resistor de  $1k\Omega$ ;
- 1 resistor de  $10k\Omega$ ;
- 1 Arduino Uno R3 original;
- 1 cabo USB – AB;
- 1 display de Cristal Líquido-LCD;
- 1 sensor de Temperatura LM35;
- 1 sensor de umidade DHT 22;
- 1 sensor de luminosidade LDR;
- 1 sensor de altitude e pressão BMP280;
- Termômetro Vidro Líquido Vermelho 5021 Incoterm (53011/15);
- 6 fornos de calibração Ecil;
- 6 Termômetros (Termorresistência) Digital Instrutemp ITTM-917;
- 6 soluções aquosas de sais. Sendo elas:
  - *Acetato de Potássio*
  - *Cloreto de Magnésio*
  - *Cloreto de Sódio*
  - *Hidróxido de Potássio*
  - *Nitrato de Cálcio*
  - *Cloreto de Potássio*

O seguinte software foi utilizado para o registro e análise dos dados coletados durante o experimento: *-Microsoft Excel 2016 (pacote Office 2016)*.

Foi utilizado o software *Arduino 1.8.13* para depuração do código utilizado, no qual estão presentes as calibrações realizadas pelos métodos explicados neste relatório posteriormente.

## 2. Montagem, calibração e métodos utilizados

Inicialmente, fora realizada a calibração do sensor LM35, cujo intuito mor era a medição da temperatura do ambiente. Para esse ajuste, foram realizadas seis medições de temperatura em 6 fornos de calibração, com respectivas temperaturas em 5°C, 15°C, 30°C, 45°C, 60°C e 75°C. Fora adotado um tempo de medição padrão para todas as medições, este estabelecido em aproximadamente quatro minutos. Durante o experimento, os três integrantes da equipe realizaram suas respectivas medições de forma individual e registraram seus resultados no computador, por meio da porta Serial do software *Arduino*. Porém, para a padronização de todas as aferições, fora escolhido os dados coletados de apenas um dos integrantes, por terem maior proximidade com a realidade. Além disso, fora realizado o trajeto de aferição no sentido do forno com maior temperatura, estimada em 75°C, rumo ao de menor, esperada com temperatura de 5°C, este escolhido com objetivo principal de diminuir o tempo de estabilização do sensor.

Posteriormente, com os dados coletados, fora realizada uma análise e registro na plataforma Microsoft Excel, no qual, após o estabelecimento dos padrões de medição, fora realizada a propagação de incertezas durante o cálculo da média amostral, Desvio padrão e suas respectivas incertezas, do tipo A e B, permitindo assim, uma maior exatidão no estabelecimento da reta de calibração por meio do Método dos Mínimos. Com posse dos dados da reta de calibração, gerando uma função de correção para o valor obtido e pelo real, assim como seus coeficientes, fora possível gerar um padrão de correção, utilizado no código implantado no *Arduino*.

Subsequentemente, fora realizada a calibração do sensor de umidade, *DHT22*, utilizando seis soluções salinas, com objetivo de aferir diferentes valores de umidade relativa.

Durante a experiência, foram realizadas seis medições de umidade e temperatura em 6 Becker's, cada qual contendo uma solução aquosa saturada de seis sais distintos para a calibração e a aferição base do experimento. Fora adotado um tempo de medição padrão para todas as medições, este estabelecido em aproximadamente dez minutos, focado sobretudo na estabilização das medições. Durante o experimento, um dos integrantes da equipe realizou o experimento de forma individual, enquanto os outros dois integrantes realizaram de forma conjunta o registro das medições em seu computador por meio da porta Serial *Arduino*, depois registrando esses em um documento do tipo CSV, para posterior análise no Excel.

O trajeto de aferição fora escolhido no sentido da solução de menor valor de umidade esperado para o de maior valor de umidade esperado, sendo respectivamente o Hidróxido de Potássio e o Cloreto de Potássio, com objetivo de facilitar a medição, e manter o tempo de estabilização próximo da constância estabelecida previamente.



Ulteriormente, os dados das umidades coletadas foram analisados e registrados na plataforma Microsoft Excel, no qual, fora possível realizar os processos de propagação de incerteza, transferência de incerteza, cálculo das médias das amostras, desvio padrão e as respectivas incertezas de tipo A e B, e dessa forma, o estabelecimento de uma reta de calibração, por meio do *Método dos Mínimos Quadrados*, que ao minimizar os erros de medição, nos gera uma boa aproximação dos valores corrigidos de umidade registrados para com aqueles condizentes com a realidade.

Realizada a calibração destes dois sensores, fora iniciada a montagem da estação meteorológica, utilizando além dos já citados, um display de cristal líquido e sensores de luminosidade, altitude e pressão; todos esses funcionando sobre o *Protocolo I2C*, no qual o microcontrolador *Arduino Uno R3* funciona como “mestre” para estes, iniciando e controlando a comunicação das portas analógicas de maneira síncrona.

Para a montagem foram utilizadas a porta *A0*, associado a um resistor de  $1k\Omega$  que realizara a leitura de tensão obtida pelo sensor *LM35*, e suas respectiva conversão para graus Celsius, no qual fora a utilizada a seguinte conversão:

$$10mV = 1^{\circ}C$$

Fora utilizada ainda a resolução de Quantização, utilizando como tensão de alimentação máxima como  $1,1 V$ , e a maior contagem de intervalos discretos, aproximada para:

$$2^n - 1$$

Assim, fora possível obter-se uma resolução de discretização, da seguinte forma, sendo  $1,1 V$ , o fundo de escala escolhido:

$$\delta = \frac{1,1}{2^n - 1} = \frac{1,1}{1023}$$

$$\delta_{^{\circ}C} \approx 0,1075^{\circ}C$$

Esta última fora fundamental para obtenção da temperatura medida pelo sensor, e que posteriormente sofrera correção pela reta de calibração obtida. De posse dessa última também é possível estimar-se a incerteza associada ao microcontrolador Arduino, do tipo B:

$$\sigma_{B,ADC} = \pm 2 \cdot \frac{1,1}{1023} = \pm 0,21505^{\circ}C$$

$$\sigma_{arduino} \approx 0,2151^{\circ}C$$

Assim, de acordo com os dados do fabricante *Arduino*, e do sensor *LM35*, teremos as respectivas incertezas associadas.

$$\sigma_{B,LM35} = \pm 0,5^{\circ}C$$

Combinando essas incertezas, e posteriormente as combinando com a incerteza associada a erros aleatórios de medição fora possível estimar a incerteza padrão associada a cada medição do sensor, este processo contando coma utilização do *Método dos Mínimos quadrados*, associada as *incertezas propagadas* durante a realização das operações necessárias à sua calibração.

Posteriormente, fora realizada a montagem do sensor de umidade, *DHT22*, este ligado na porta *pin 2*, necessitando do uso de um resistor ôhmico de  $10k\Omega$ . Para a medição da umidade relativa em questão era necessário o estabelecimento de uma temperatura de referência, para que, com esta fosse suposta a porcentagem de umidade em relação a umidade máxima naquele momento. Para sua calibração, foram utilizados os processos de *interpolação e extrapolação*, para suposição de valores intermediários aos de referência, *transferência de incertezas*, para obtenção de uma incerteza padrão mais próxima da realidade após a transferência desta por eixos distintos conforme mostrado no decorrer deste relatório, e por fim a utilização do *Método dos mínimos quadrados associados à propagação de incertezas* para obtenção de uma reta de calibração ideal às medições esperadas do sensor.

Subsequentemente, foi iniciada a montagem dos sensores e visor *LCD* por meio do protocolo *I2C*, no qual utilizando dois fios, em entradas dos tipos *SCL* e *SDA* e dois outros fios de alimentação, provém uma comunicação síncrona entre o microcontrolador e os dispositivos associados a este. Estes sensores, respectivamente *BMP 280* e *LDR*, foram responsáveis, respectivamente, pela aferição de altitude e pressão atmosférica; e luminosidade do ambiente em questão. O sensor de luminosidade *LDR*, em sua montagem na estação contou com a utilização de um resistor de  $330\Omega$ , para assim, diminuir a tensão efetiva neste, e evitar possíveis sobrecargas.

Feita a montagem dos sensores, fora necessário a utilização do visor *LCD* para ilustração dos valores aferidos em tempo real. Este funcionara com um endereçamento de  $16 \times 2$ , do tipo alfanumérico, especializado em mostrar caracteres do tipo *ASCII*. Assim, na escrita do algoritmo utilizado era necessário estipular-se o tempo de exibição, tal qual o endereço de exibição em bits do valor requerido

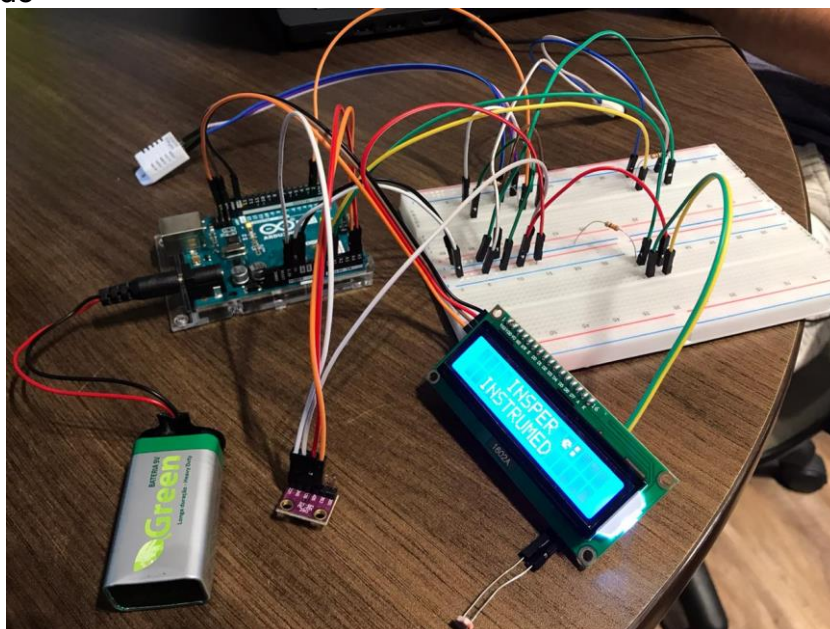


Figura 1-Visão geral da estação montada

### 3. Programação e algoritmos

Para o eficaz funcionamento da estação, foi necessário a elaboração do código de programação em linguagens C, C++ e C#, por meio da plataforma de prototipagem livre *Wiring*, em específico pelo Arduino. Por meio deste código fora possível ajustar as medições previstas pelas retas de calibração obtidas pelos métodos já explicitados, além de ajustar parâmetros de endereçamento e exibição no visor *LCD*, tornando assim a ilustração dos valores de medição, mais práticos e usuais a aqueles que farão uso da estação.

O código conta com cerca de 3 subdivisões, a primeira na qual são importadas/incluídas as bibliotecas dos sensores e visor utilizados na montagem, além da definição das constantes utilizadas, portas utilizadas, pinagem e confecção de possíveis símbolos não dispostos nos caracteres *ASCII*, como o símbolo de grau, utilizado na ilustração de temperatura. Posteriormente, foi executada a função *void setup()*, na qual fora iniciado o programa, assim como o funcionamento dos sensores e visor, tal qual a definição da porta analógica de referência. Por fim, é mostrada a função *void loop()*, na qual foram definidos os comandos, leituras e medições que serão mostrados de forma indefinida pelo *LCD* ou monitor Serial. Nele são especificados quais “strings” deveram ser mostradas, tempos de intervalo, conversões realizadas para medições, assim como possíveis definições de fundo de escala ou resoluções.

```
//Incluindo bibliotecas
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <DHT.h>
#include <Adafruit_BMP280.h>

//Definindo constantes do código
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
Adafruit_BMP280 bmp;
const int DHT_PIN=2;
DHT dht(DHT_PIN, DHT22);

float umid, temp;

//Gera o símbolo de Celsius
const byte Celsius_symbol = 1;
const byte Celsius_bitmap[8] = {
    B11100,
    B10100,
    B11100,
    B00000,
    B00000,
    B00000,
    B00000,
    B00000,
};

void setup() {
    analogReference(INTERNAL);
    int leitura_adc = analogRead(A0);
    lcd.init();
    dht.begin();
    lcd.createChar(Celsius_symbol, Celsius_bitmap);
    lcd.createChar(pacman_symbol, pacman_bitmap);

    void loop() {
        //Medindo temperatura com o LM35
        int leitura_adc = analogRead(A0);
        // Converte o valor lido para um valor em volts
        // 1.1 ou 1.1f para forçar numero real
        float voltagem = leitura_adc * (1.1f/1023);
        // Calcula a temperatura
        // LM35: 10mV => 1 grau C
        float temperatura = voltagem * 100.0;
        //Utilizando a inversa da calibração
        float temperatura_real= temperatura*1.03039 -1.00517;

        //Identifica umidade
        umid = dht.readHumidity();
        umid = umid*1.22867487 -27.67607;

        //Identifica pressão e altitude

        //Identifica a luminosidade
        int bin;
        float tensao, res, lum;
        bin = analogRead(A1);
        tensao = bin*1.1/1023.0;
        res = 330*(5.0/tensao+1);
```

Figura 2-Parte do código utilizado

## Resultados e discussões

Concomitantemente, foram coletados dados que depois de remetidos às análises, calibrações e montagens, geraram resultados interessantes que possibilitaram a montagem com êxito da estação. Estes resultados foram divididos de acordo com a medição de cada sensor disposto abaixo.

### 1. Sensor de temperatura-LM35

Para a captação dos dados de temperatura registrados pelo sensor LM35, este foi colocado em contato com cerca de 6 fornos de calibração dispostos no laboratório, nas seguintes temperaturas: 5°C, 15°C, 30°C, 45°C, 60°C e 75°C. Ao lado de cada forno havia uma termo resistência que servia como referência para possíveis calibrações em relação ao indicado pelo LM35. Para a medição, foi adotado um tempo médio de espera, estipulado em cerca de 4 minutos para a estabilização das medições. A sequência escolhida para aferição se iniciou do forno de menor temperatura rumo ao de maior temperatura, com intuito de minimizar o tempo de estabilização do sensor, tal qual evitar possíveis erros de medição gerados por uma maior diferença de amplitude nas medições, caso escolhida outra ordem.



*Figura 3-Sensor registrando a temperatura aproximada em um forno de calibração*

Após a coleta dos dados de temperatura para cada um dos fornos, foram consideradas cerca de 5 medições para cada forno. Estes, foram registrados em uma planilha no software *Microsoft Excel*. Neste também foram registrados os valores de referência, dispostos nas termo resistências auxiliares.

Temperatura(°C)	Temperatura medida(°C)
5,44	5,5912
14,98	15,8818
31,31	31,7416
45,40	45,1396
59,82	59,5268
75,32	73,3462

Tabela 1-Na primeira coluna temos a indicação da temperatura pela termo resistência e na direita, a indicada pelo sensor

Posteriormente, para a estimativa das incertezas associadas, assim como a confecção da reta de calibração, foi realizada, inicialmente, a média aritmética de cada amostra, possibilitando assim, a estimativa do desvio padrão de cada temperatura aferida pelo sensor, e com este, foi possível a estimativa da *Incerteza estatística*. A *incerteza residual sistemática* foi estabelecida de acordo com dados fornecidos pelo fabricante, e pelo fundo de escala utilizado, no caso em específico de 1,1V, conforme especificado na seção de *Materiais e Métodos*.

Calculando as médias de temperaturas					
5°C	15°C	30°C	45°C	60°C	75°C
5 dados Coletados após estabilização do LM35					
5,269	15,054	31,043	47,527	60,538	76,882
5,161	15,376	31,043	46,882	60,645	78,495
5,054	15,484	31,935	46,989	60,075	78,387
5,484	15,376	31,828	47,097	61,29	78,172
5,484	15,269	31,935	47,204	61,29	78,065
Médias					
5,2904	15,3118	31,5568	47,1398	60,7676	78,0002
Calculando desvio padrão					
Somando de Média menos medição, elevada ao quadrado					
0,00045796	0,06646084	0,26399044	0,14992384	0,05271616	1,250371
0,01674436	0,00412164	0,26399044	0,06646084	0,01503076	0,244827
0,05588496	0,02965284	0,14303524	0,02274064	0,47969476	0,149614
0,03748096	0,00412164	0,07354944	0,00183184	0,27290176	0,029515
0,03748096	0,00183184	0,14303524	0,00412164	0,27290176	0,004199
Definindo o desvio padrão					
0,19238581	0,162933115	0,471062841	0,24752717	0,522791832	0,64779
Incertezas					
Incerteza tipo A			Incerteza tipo B(°C)		
Para temperaturas			LM35	Arduino	
5,2904		0,096192905	0,5	0,21505	
15,3118		0,081466558	Incerteza B combinada		
31,5568		0,23553142	0,544285314		
47,1398		0,123763585			
60,7676		0,261395916			
78,0002		0,323894929			

Tabela 2-Médias aritméticas, Desvio Padrão e Incertezas associadas as amostras.

De posse das *incertezas* tipo A e B, fora possível combiná-las para obtenção das incertezas padrões de cada temperatura aferida.

Incerteza $\sigma_p(^{\circ}\text{C})$
0,552720162
0,550348347
0,593061171
0,558179118
0,603799907
0,63336753

Tabela 3-Incertezas padrões de cada faixa de temperatura aferida

Destarte, foi possível com a utilização do *Método dos Mínimos Quadrados com propagação de incertezas*, já explicitado na seção de *Fundamentação teórica*, foram obtidos os respectivos coeficientes intrínsecos a reta de calibração, necessária para polidez da amostra de dados coletadas.

Calculando MMQ							
$1/\sigma_p^2(^{\circ}\text{C}^{-2})$	$X^2(^{\circ}\text{C}^2)$	$XY(^{\circ}\text{C}^2)$	$X/\sigma_p^2(^{\circ}\text{C}^{-1})$	$X^2/\sigma_p^2(^{\circ}\text{C}^2/^{\circ}\text{C}^2)$	$Y/\sigma_p^2(^{\circ}\text{C}^{-1})$	$XY/\sigma_p^2(^{\circ}\text{C}^2/^{\circ}\text{C}^2)$	
3,273326949	29,5936	30,416128	17,8068986	96,8695284	18,30182564	99,56193147	
3,301601613	224,4004	237,909364	49,45799216	740,8807225	52,43537649	785,4819399	
2,843158154	980,3161	993,829496	89,01928181	2787,193713	90,24638887	2825,614435	
3,209614181	2061,16	2049,33784	145,7164838	6615,528365	144,8807003	6577,583793	
2,742924898	3578,4324	3560,893176	164,0817674	9815,371325	163,2775418	9767,262551	
2,492805592	5673,1024	5524,435784	187,7581172	14141,94138	182,8378175	13771,34441	
$S_{xy} (^{\circ}\text{C}^{-2})$	$S_x (^{\circ}\text{C}^{-1})$	$S_{xy} (^{\circ}\text{C}^2 / ^{\circ}\text{C}^2)$	$S_y (^{\circ}\text{C}^{-1})$	$S_{xy} (^{\circ}\text{C}^2 / ^{\circ}\text{C}^2)$	Delta( $^{\circ}\text{C}^2$ )	a ( $^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$ )	b( $^{\circ}\text{C}$ )
17,86343139	653,8405409	34197,78504	651,9796506	33826,84906	183382,3337	0,970501718	0,975528269

Tabela 4-Algorithmo de realização dos cálculos pelo MMQ com propagação de incertezas

Dessa forma, foram obtidos tanto a função de calibração, quanto sua inversa, utilizada no código para correção.

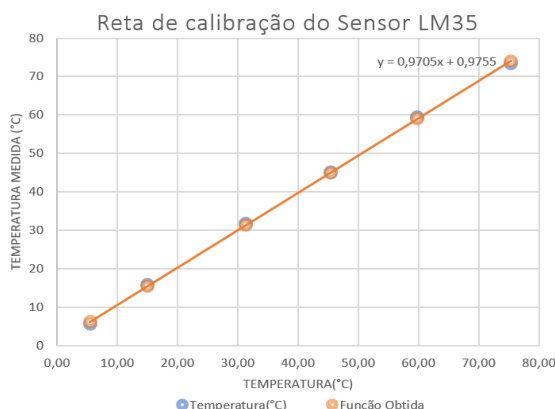
Resultado do MMQ $f(x)=ax+b$	
a	0,970501718
b	0,975528269
Resultado do MMQ $x=f(y)$	
1/a	1,030394879
-b/a	-1,005179332

Função Obtida $f(x) (^{\circ}\text{C})$
6,255057615
15,513644
31,36193706
45,03630627
59,03094104
74,07371767

Tabelas 5 e 6: Equações das retas de calibração, e resultados práticos de calibração para cada ponto amostral.

Dessa forma, fora obtida uma reta de calibração que trouxeram maior proximidade dos dados coletados para com o valor esperado por meio da correção gerada pelos passos explicitados.

Figura 4-Gráfico com representação da reta de calibração





Em termos práticos, a equação da reta é apresentada abaixo:

$$y = 0,9705x + 0,9755$$

Fora realizado a percentualidade do erro relativo nesta medição, em relação a medição esperada, tomando como base a temperatura na faixa de 15°C:

$$e = \frac{|15 - (0,9705(15) + 0,9755)|}{(0,9705(15) + 0,9755)}$$
$$e = 0,0343$$

Dessa forma, percebe-se que o eixo percentual se encontra próximo de 3,43%, o que se configura com um ótimo grau de razoabilidade da calibração.

No código utilizado para o microcontrolador, essa calibração foi feita aplicando a função inversa da apresentada acima, devido a conversão do valor medido para o esperado. Esta é mostrada a abaixo:

```
//Medindo temperatura com o LM35
int leitura_adc = analogRead(A0);
// Converte o valor lido para um valor em volts
// 1.1 ou 1.1f para forçar numero real
float voltagem = leitura_adc * (1.1f/1023);
// Calcula a temperatura
// LM35: 10mV => 1 grau C
float temperatura = voltagem * 100.0;
//Utilizando a inversa da calibração
float temperatura_real= temperatura*1.03039 -1.00517;
```

*Figura 5-Parte do código onde ocorre a correção do valor medido*

## 2. Sensor de Umidade- DHT22

Tal sensor fora submetido a diferentes porcentagens de umidade relativa, variadas devido a solubilidade das soluções em questão, na qual foram dispostas 6 soluções salinas, estas já apresentadas anteriormente. O sensor fora colocado em recipientes cujo intuito era minimizar o efeito do ambiente sobre a medição no Becker. Dessa forma foram coletadas cerca de 5 medições de umidade para cada solução salina, após sua estabilização. Para tal estabilização, fora definido um tempo comum de aferição estabelecido em volta de 10 minutos. Para minimizar erros experimentais gerados por uma maior diferença de amplitude de medição, fora adotado o sentido de aferir-se as soluções com umidades esperadas mais altas, isto é, próximas de 100%, rumo as baixas, mais próximas de 5%.

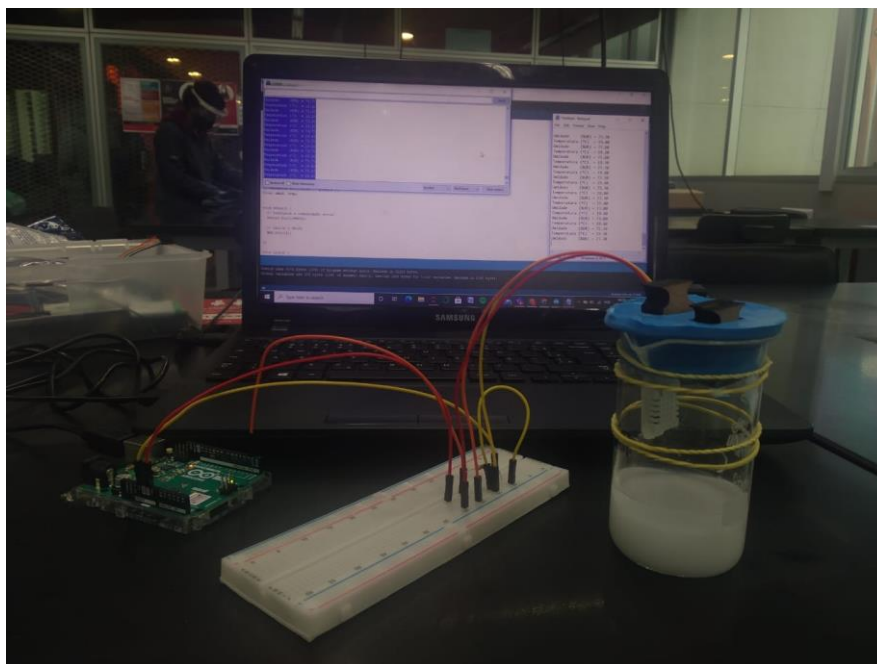


Figura 6-Medição realizada utilizando o sensor DHT22

De posse desses dados, fora possível, inicialmente, realizar o processo de transferência de incerteza, isso devido a relação intrínseca entre a temperatura e a umidade relativa medida. Tal processo fora realizado utilizando as operações descritas, tanto como a transferência de incerteza quanto os processos de interpolação e extrapolação, na seção de *Fundamentação teórica*, e os algoritmos utilizados na plataforma Excel estão dispostos abaixo:

		Umidades		Temperaturas		$\frac{dx}{dw}$	$\sigma_w$	$\sigma_{w \rightarrow x}$	$\sigma_{w \rightarrow y}$		
Sais	Temperaturas (°C)	Pontos para interpolar/extrapolar (%UR)		Pontos para interpolar/extrapolar (°C)		UR interpolada(%UR)	$\frac{(\%UR)}{^{\circ}C}$	(°C)	(%UR)	$\frac{dy}{dx}$	(%UR)
Acetato de Potássio	16,90	23,50	23,00	15,00	20,00	23,31	-0,10	0,50	0,05	1,00	0,05
Cloreto de Magnésio	17,40	33,50	33,00	15,00	20,00	33,26	-0,10	0,50	0,05	1,00	0,05
Cloreto de Sódio	17,60	75,50	75,30	15,00	20,00	75,40	-0,04	0,50	0,02	1,00	0,02
Hidróxido de Potássio	17,60	9,00	8,00	15,00	25,00	8,74	-0,10	0,50	0,05	1,00	0,05
Nitrato de Cálcio	17,80	58,00	56,00	15,00	20,00	56,88	-0,40	0,50	0,2	1,00	0,2
Cloreto de Potássio	17,90	86,00	85,30	15,00	20,00	85,59	-0,14	0,50	0,07	1,00	0,07

Tabela7-Pontos sujeitos a interpolação

Sais	x	Medidas				
	UR Interpolada(%UR)	1	2	3	4	5
Acetato de Potássio	23,31	43,80	43,70	43,70	43,60	43,60
Cloreto de Magnésio	33,26	50,10	50,00	49,90	49,90	49,80
Cloreto de Sódio	75,40	83,60	83,60	83,70	83,70	83,70
Hidróxido de Potássio	8,74	27,40	27,40	27,40	27,30	27,30
Nitrato de Cálcio	56,88	70,30	70,30	70,30	70,20	70,20
Cloreto de Potássio	85,59	90,80	90,80	90,70	90,70	90,70

Tabela 8-Medições realizadas para cada solução

y	$\sigma$	$\sigma_a$	$\sigma_b$	$\sigma_y$	$\sigma_{w \rightarrow y}$	$\sigma_{y+w}$
Média(%UR)	(%UR)	(%UR)	(%UR)	(%UR)	(%UR)	(%UR)
43,68	0,08	0,04	2,00	2,000349969	0,05	A
49,94	0,11	0,05	2,00	2,000649894	0,05	2,001274594
83,66	0,05	0,02	2,00	2,000149994	0,02	2,000249984
27,36	0,05	0,02	2,00	2,000149994	0,05	2,00077485
70,26	0,05	0,02	2,00	2,000149994	0,20	2,010124374
90,74	0,05	0,02	2,00	2,000149994	0,07	2,001374528

Tabela 9-Obtenção da incerteza transferida



Obtida a incerteza transferida padrão, foi possível realizar-se o *Método dos Mínimos Quadrados com propagação de incertezas*, que dessa forma, pode nos conferir uma reta de calibração que trouxera maior proximidade dos dados coletados para com as referências estipuladas.

Calculando MMQ						
$1/\sigma_p^2$	$X^2$	XY	$X/\sigma_y^2$	$X^2/\sigma_y^2$	$Y/\sigma_y^2$	$XY/\sigma_y^2$
0,249756487	1907,9424	1018,1808	10,90936337	476,520992	5,821823722	254,2972602
0,249681656	2494,0036	1661,0044	12,4691019	622,7069486	8,304411875	414,722329
0,249937516	6998,9956	6307,62936	20,90977256	1749,311572	18,84428893	1576,513212
0,2498064	748,5696	239,1264	6,834703105	186,997477	2,183307936	59,73530514
0,247487997	4936,4676	3996,3888	17,38850666	1221,716478	14,07711726	989,0582587
0,249656722	8233,7476	7766,79956	22,65385095	2055,610436	21,36911746	1939,033719

Tabela 10-Algoritmo para cálculo do MMQ

$S_{ay}$	$S_x$	$S_{x^2}$	$S_y$	$S_{xy}$	Delta	a	b
1,496326778	91,1652985	6312,863903	70,60006718	5233,360083	1134,995645	1,228674872	-27,67606979

Tabela 11-Obtenção dos somatórios e coeficientes necessários

Resultado do MMQ $f(x)=ax+b$	
a	1,22867487
b	-27,67607
Resultado do MMQ $x=f(y)$	
1/a	0,81388496
-b/a	22,525137

Tabela 12-Coefficientes obtidos

	eixo x	eixo y	Função Obtida	Incerteza
	Umidades Medidas	Umidade Interpolada	$f(x)$ (%UR)	$\sigma_p$ (%UR)
Acetato de Potássio	43,68	23,31	25,99244862	2,000974762
Cloreto de Magnésio	49,94	33,26	33,68395332	2,001274594
Cloreto de Sódio	83,66	75,396	75,11487	2,000249984
Hidróxido de Potássio	27,36	8,74	5,94047471	2,00077485
Nitrato de Cálcio	70,26	56,88	58,65062672	2,010124374
Cloreto de Potássio	90,74	85,594	83,81388809	2,001374528

Tabela 13-Comparação entre medição e calibração dos dados obtidos

Desse modo, foi possível plotar-se o gráfico da reta de calibração, que gerara com maior precisão e exatidão os pontos de medição do sensor.

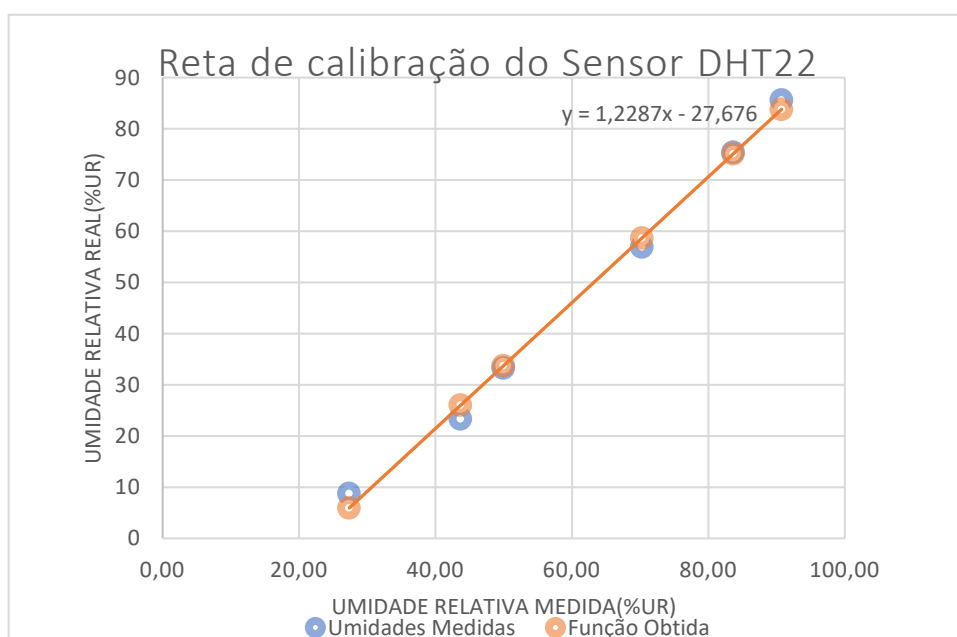


Figura 7-Gráfico com a reta de calibração do sensor DHT22

Buscando estipular a faixa de erro percentual associado a função de calibração medida em relação a umidade interpolada esperada, chegamos a um erro percentual aproximado de 11,5%, variando de acordo com o ponto de medição analisado. Nota-se que esse erro aumenta gradualmente ao menor valor de umidade aferido. Esses se minimizam conforme a percentualidade da umidade relativa aumenta, tendendo ao 100%.

Dessa forma, foi possível, durante a programação destinada ao microcontrolador, corrigir esse conjunto de valores, aplicando assim a inversa da reta obtida acima:

```
//Identifica umidade
umid = dht.readHumidity();
umid = umid*1.22867487 -27.67607;
```

*Figura 8-Parte do código onde ocorre a correção do valor medido*

### **3. Sensor de Altitude e Pressão atmosférica- BMP 280**

Para aferição da altitude e pressão atmosférica, fora utilizado o sensor BMP280, produzido pela Bosch. Este funciona segundo o protocolo I2C, conforme explicitado em seções anteriores. Está sujeito a uma incerteza de aproximadamente 0,12 Hectopascal de pressão atmosférica. Sua medição era informada, originalmente, na medida de Pascal, todavia, como a medida mais usual utilizada é o *atm*, fora realizada uma conversão própria dentro do código que possibilita-se essa visão.

### **4. Sensor de Luminosidade- LDR**

O sensor responsável pela aferição da luminosidade é o LDR, que consiste basicamente em uma resistência que varia de acordo com a intensidade luminosa do local. Destarte, esse sensor não necessita de uma fonte de alimentação, precisando apenas de uma divisão de tensão que permita a leitura dessa tensão na entrada analógica do Arduino.

### **5. Display de Cristal Líquido**

O *LCD* utilizado consiste basicamente de um circuito eletrônico baseado em um microcontrolador interno dedicado à exibição visual. Para essa exibição utiliza-se caracteres ASCII, que permitem a escrita de vários tipos de “strings”, valores e sinais, salvo algumas exceções. O display é alimentado com uma voltagem de 5V, e tem ligações SDA e SCL, conforme especificado pelo protocolo I2C.

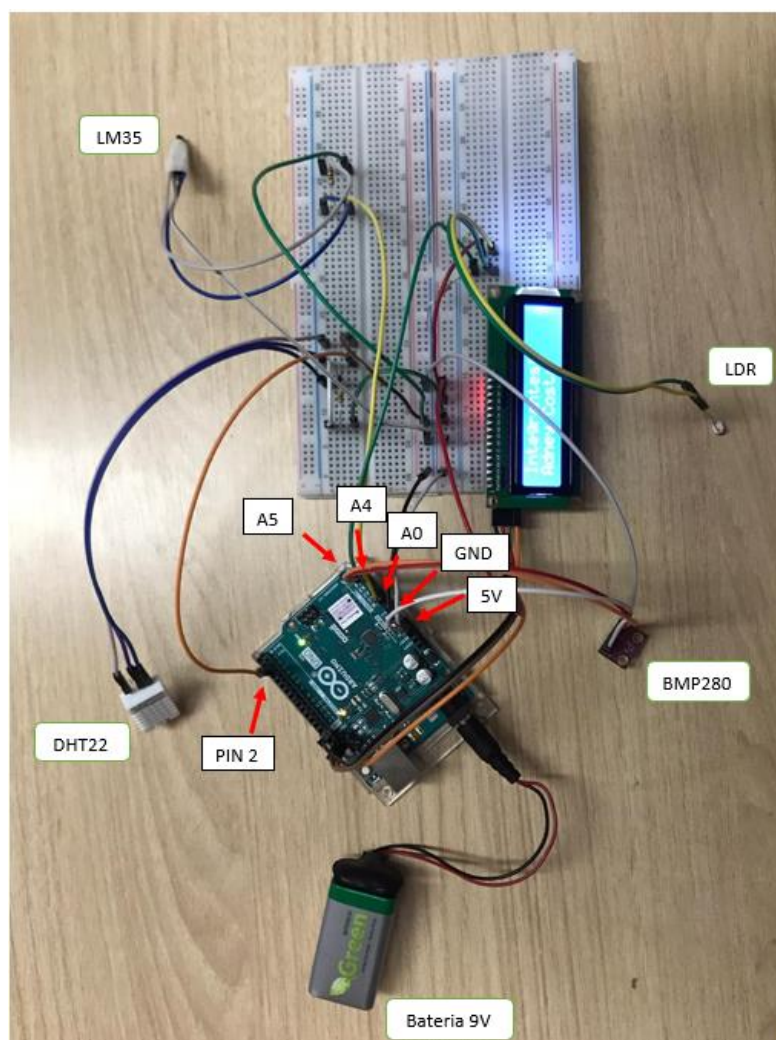
### **6. Montagem da estação**

Explicitados os sensores e displays utilizados na montagem da estação, destaca-se também a montagem na protoboard de todos esses em conjunto, buscando, sobretudo, ligações que conectassem sensores e visor cuja ligação/alimentação sejam as mesmas. Na montagem também fora levado em conta a melhor disposição dos circuitos com intuito maior de evitar problemas de

medição nestes gerados por diminuição da superfície de captação ou por problemas de “mal contato”. Dessa forma, foram utilizadas duas placas Protoboard associadas, com intuito de aumentar a amplitude das ligações na placa, e assim evitar possíveis contatos e disposições erráticas. Assim, fora ligado no terminal positivo da Protoboard, o “jumper” que conectara esse a saída de 5V, alimentando assim os sensores LM35 e DHT22, assim como o Display de Cristal Líquido. O sensor BMP280, foi alimentado diretamente pela saída de 3.3V, devido as especificações do fabricante. Analogamente, fora ligada ao terminal negativo, a saída GND, que dispunha de ligações com os sensores LM35, DHT22, BMP280 e display de Cristal Líquido. Ademais, fora utilizado um resistor de 10K $\Omega$  na ligação do sensor DHT22, este ligado na porta PIN 2, com intuito de tornar a medição mais próxima do real, diminuindo a corrente efetiva sobre o sensor. Já na ligação do sensor LM35, esse ligado na porta analógica A0, fora utilizado um resistor de 1K $\Omega$ , com o mesmo intuito feito no sensor anteriormente mencionado. O mesmo efeito foi suposto para a montagem do sensor de luminosidade, este, utilizando um resistor de 330 $\Omega$ , e este sensor fora ligado na porta analógica A1, com intuito de gerar uma tensão de averiguação para o microcontrolador, gerando assim as medidas convertidas em lux de acordo com o código de programação. Por fim, destaca-se a ligação das entradas DAS e SCL, ou A4 e A5 para os sensores e display, que pelo protocolo I2C, necessitam do microcontrolador Arduino para o funcionamento. Esta, foi disposta com intuito de distribuição conjunta para todos esses.

A ilustração da montagem segue abaixo:

*Figura 9-Montagem da estação*



## Conclusão

Destarte, conclui-se que após montagem e realização de processos necessários para o bom funcionamento da estação explicitada nas seções acima, que essa última demonstra um grande potencial de informações a serem exibidas, consolidando uma base sólida de utilização e mesclagem de software e hardware, nas plataformas disponibilizadas, no caso, a plataforma de prototipagem livre, *Arduino*, e sensores também postos que configuram a estação.

É válido ressaltar-se a importância do bom balanceio de informações para uma boa execução de montagem e elaboração do código que norteia o microcontrolador, dessa forma deixando o funcionamento da estação fluído e com poucos ou nulos erros de medição, devido a boa organização na protoboard, tal qual uma boa elaboração dos protocolos que auxiliaram na leitura e transformação dos valores aferidos em medidas inteligíveis ao serem ilustradas pelo display de Cristal líquido.

Por fim, destaca-se, para a boa execução do projeto e todos os passos descritos a formalização de protocolos de trabalhos que permitam uma melhor inteiração e efetividade na coleta e tabelamento de dados que tornem o experimento mais organizado e suscetível de ser realizado, aumentando a chance de êxito na montagem.

## Referências Bibliográficas

NOVAES, Carlos. MENEGALDO, Caue Garcia. **Instrumentação e Medição Aula 13- Metrologia II**. 2020: Insper.

NOVAES, Carlos. MENEGALDO, Caue Garcia. **Instrumentação e Medição Aula 14- Projeto de uma ponte de Wheastone**. 2020: Insper.

NOVAES, Carlos. MENEGALDO, Caue Garcia. **Instrumentação e Medição Aula 15- Metrologias III**. 2020: Insper.

NOVAES, Carlos. MENEGALDO, Caue Garcia. **Instrumentação e Medição Aula 16- Microcontrolador, Arduino e linguagem C**. 2020: Insper.

NOVAES, Carlos. MENEGALDO, Caue Garcia. **Instrumentação e Medição Aula 18- Calibração do LM35**. 2020: Insper.

NOVAES, Carlos. MENEGALDO, Caue Garcia. **Instrumentação e Medição Aula 19-Sensor de umidade**. 2020: Insper.

NOVAES, Carlos. MENEGALDO, Caue Garcia. **Instrumentação e Medição Aula 20- Calibração sensor de umidade**. 2020: Insper.

NOVAES, Carlos. MENEGALDO, Caue Garcia. **Instrumentação e Medição Aula 21- Protocolo I2C, sensores de pressão, luminosidade e LCD**. 2020: Insper.

