



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE TECNOLOGIA



## **Relatório: Sensores Térmicos**

**Disciplina: CET 0910 - Circuitos Eletrônicos  
Aplicados a Mecatrônica.**

Autores: César Boaventura Cruz  
Estelzer Ramello

Prof. Dr. Francisco José Arnold

Limeira  
2015



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE TECNOLOGIA



Prof. Dr. Francisco José Arnold

## **Relatório: Sensores Térmicos**

Trabalho de curso  
apresentado como relatório de  
Sensores Térmicos e  
pesquisa para o Curso de  
Especialização em  
Mecatrônica da Universidade  
de Campinas - UNICAMP

Limeira  
2015

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	4
2. OBJETIVO.....	4
3. PRINCIPAIS SENSORES DE TEMPERATURA.....	4
3.1. PASSIVOS (Autossuficientes).....	5
3.2. ATIVOS (Modulantes).....	6
3.2.2. “Termo” diodos.....	8
3.2.3. “Termo” transistores.....	8
3.3. CIs Sensores.....	9
4. APLICAÇÕES.....	10
5. Aspectos Finais.....	10
6. CONCLUSÃO.....	12
6.2. Esquema de ligação: Arduino, Sensor e Display LCD.....	13
6.3. Esquema de ligação: Arduino e Fan.....	13
6.4. Biblioteca para Desenvolvimento.....	14
6.5. Diagrama do Software.....	14
6.6. Código Fonte.....	15
6.7. Imagens do resultado Final.....	16
7. REFERENCIAS / BIBLIOGRAFIA.....	17

## 1. INTRODUÇÃO

A instrumentação aprimora técnicas, recursos e métodos para geração de dispositivos capazes de melhorar ou aumentar a eficácia, possibilitando mecanismos para medições, controle, manipulação e comunicações do homem.

Medir é determinar a existência ou valor de uma variável. Os instrumentos de medição incluem todos os dispositivos usados direta ou indiretamente para este objetivo. Sistemas de medição podem incluir instrumentos auxiliares para fornecer indicações, para calcular valores derivados ou para desempenhar outras funções.

Instrumentação e Controle, controlar é fazer uma variável do processo, chamada de variável controlada, se manter em um valor especificado ou dentro de limites especificados ou se alterar de um modo especificado. Um controlador requer e comanda outro dispositivo, elemento final de controle.

Manipular é fazer um elemento final de controle variar diretamente uma variável de processo de modo a conseguir o controle de outro variável do processo.

A temperatura é uma medida da energia cinética existente em uma amostra de material, expressa em unidades de graus em uma escala padrão e pode ser medida e obviamente manipulada.

Para execução de muitas atividades, tanto triviais quanto complexas, é extremamente essencial a medição, controle e manipulação de temperaturas. E para isso é indispensável a utilização de sensores, dispositivos que respondem a estímulos físico/químicos de maneiras específicas e mensuráveis.

## 2. OBJETIVO

O objetivo desse Relatório é apresentar os principais sensores de temperatura e suas formas de atuação.

## 3. PRINCIPAIS SENSORES DE TEMPERATURA

A temperatura pode ser mensurada de formas diferentes, que variam em custo do equipamento e precisão.

De modo geral os sensores de temperatura podem ser divididos em passivos e ativos.

- Passivos (Autossuficientes)
  - *Termopares* (efeito termoelétrico).

- Ativos (Modulantes)
  - “Termo”resistores;
  - “Termo”diodos;
  - “Termo”transistores.

### 3.1. PASSIVOS (Autossuficientes)

- **Termopares (efeito termoelétrico)**

Os termopares são os sensores de temperatura mais comumente usados por serem relativamente baratos, além de serem precisos, podendo operar sobre uma larga faixa de temperatura. Um termopar é criado quando dois metais diferentes se tocam e o ponto de contato produz uma pequena tensão de circuito aberto como uma função da temperatura.



Imagem 1

Para calcular a temperatura, pode-se usar a tensão termoelétrica, conhecida como tensão de Seebeck. Para pequenas mudanças na temperatura, a tensão é aproximadamente linear.

Há diferentes tipos de termopar, e são designados por letras maiúsculas, que indicam suas composições de acordo com as convenções do American National Standards Institute (ANSI). Os tipos mais comuns de termopar incluem B, E, K, N, R, S, e T.

## Tipos de Termopares



















Tipo <sup>[1][2][3][4][5]</sup>	Faixa de Temperatura (°C)				Classe de tolerância (°C)		Padrão de Cores		
	Contínua		Termo Curto		1	2	IEC <sup>[7]</sup>	BS <sup>[7]</sup>	ANSI <sup>[7]</sup>
	Baixo	Alto	Baixo	Alto					
K	0	+1100	-180	+1300	-40 - 375: ±1.5 375 - 1000: ±0.004×T	-40 - 333: ±2.5 333 - 1200: ±0.0075×T			
J	0	+750	-180	+800	-40 - 375: ±1.5 375 - 750: ±0.004×T	-40 - 333: ±2.5 333 - 750: ±0.0075×T			
N	0	+1100	-270	+1300	-40 - 375: ±1.5 375 - 1000: ±0.004×T	-40 - 333: ±2.5 333 - 1200: ±0.0075×T			
R	0	+1600	-50	+1700	0 - 1100: ±1.0 1100 - 1600: ±0.003×(T-767)	0 - 600: ±1.5 600 - 1600: ±0.0025×T			Sem definição
S	0	+1600	-50	+1750	0 - 1100: ±1.0 1100 - 1600: ±0.003×(T-767)	0 - 600: ±1.5 600 - 1600: ±0.0025×T			Sem definição
B	+200	+1700	0	+1820	não disponível	600 - 1700: ±0.0025×T	Sem definição	Sem definição	Sem definição
T	-185	+300	-250	+400	-40 - 125: ±0.5 125 - 350: ±0.004×T	-40 - 133: ±1.0 133 - 350: ±0.0075×T			
E	0	+800	-40	+900	-40 - 375: ±1.5 375 - 800: ±0.004×T	-40 - 333: ±2.5 333 - 900: ±0.0075×T			
Chromel/AuFe	-272	+300	—	—	Reprodutibilidade 0,2% da tensão. Calibração individual de cada sensor.				

Imagem 2

## 3.2. ATIVOS (Modulantes)

### 3.2.1. “Termo”resistores

- **RTD (Detector de Temperatura Resistivo)**

Os RTD's são dispositivos feitos de bobinas (ou filmes) de metal, fabricados em platina, níquel ou níquel-cobre. Quando aquecido, a resistência do metal aumenta; quando resfriado, a resistência diminui. Passar corrente através de um RTD gera uma tensão sobre ele. Medindo esta tensão, você pode determinar sua resistência e, então, sua temperatura.

Tipos mais baratos usando níquel ou ligas de níquel também podem ser encontrados no mercado, mas não são tão estáveis como os tipos de platina.

A principal desvantagem desse tipo de sensor está no fato de que ele funciona com uma corrente de medida que o atravessa. Essa corrente pode provocar o auto-aquecimento do sensor, dando assim uma falsa indicação da temperatura que deve ser medida.

Uma outra desvantagem está no fato de que o fio sensor, por ser muito curto, apresenta uma resistência muito baixa, o que dificulta a elaboração dos circuitos que devem medir as variações da corrente que ocorre. Essa resistência muito baixa também faz com que a própria resistência dos cabos de conexão do sensor passem a apresentar uma certa influência no circuito de medida.

Tipicamente, os RTDs têm uma resistência de  $100\ \Omega$  a  $0\ ^\circ\text{C}$  e podem medir temperaturas de até  $850\ ^\circ\text{C}$ .



Imagem 3

- **Termistor (Resistor Termicamente Sensível)**

Termistor são semicondutores sensíveis à temperatura, existem basicamente dois tipos de termistores:

**NTC** (Negative Temperature Coefficient) - termistores cujo coeficiente de variação de resistência com a temperatura é negativo: a resistência diminui com o aumento da temperatura.

**PTC** (Positive Temperature Coefficient) - termistores cujo coeficiente de variação de resistência com a temperatura é positivo: a resistência aumenta com o aumento da temperatura.

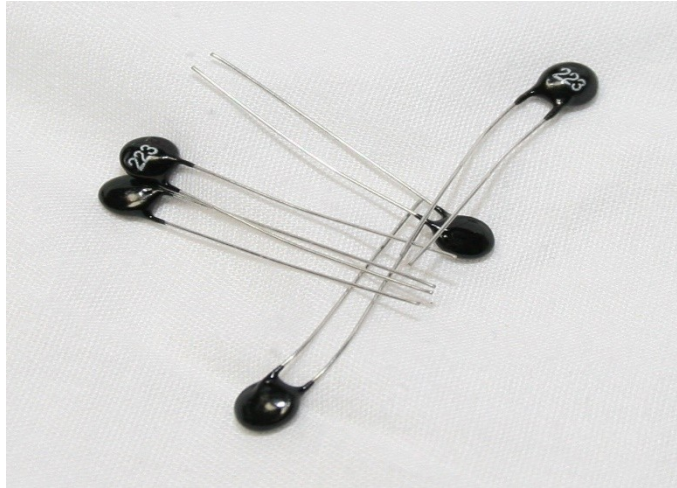


Imagem 4

### 3.2.2. “Termo” diodos

- **DIODO**

Diodo é um componente eletrônico semicondutor composto de cristal semicondutor de silício ou germânio numa película cristalina. A principal desvantagem desse tipo de sensor está no fato de que ele funciona com uma corrente de medida que o atravessa. Essa corrente pode provocar o auto-aquecimento do sensor, dando assim uma falsa indicação da temperatura que deve ser medida.

Uma outra desvantagem está no fato de que o fio sensor, por ser muito curto, apresenta uma resistência muito baixa, o que dificulta a elaboração dos circuitos que devem medir as variações da corrente que ocorre.

### 3.2.3. “Termo” transistores

- **TRANSISTORES**

A corrente de emissor de um transistor também é composta pelas componentes de difusão, leakage de superfície e recombinação. A corrente de coletor é principalmente constituída pela componente de difusão. Devido a base estreita, as duas outras componentes da corrente de emissor são drenadas para fora pela corrente de base. Dessa forma, o uso do transistor como sensor de temperatura é normalmente baseado na sua bem definida característica  $I_c-V_{be}$ .



## Característica $I_c$ - $V_{be}$ de um transistor bipolar

$$I_C = I_S \left( e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right) \cong I_S e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}$$

$I_C$  é a corrente de coletor

$V_T$  a tensão termodinâmica =  $kT/q$

$k$  é a constante de Boltzmann,  $k=1,38062E-23$  [J/K]

$T$  a temperatura em Kelvin

$q$  a carga do elétron  $1.60E-19$  [C]

portanto  $V_T$  @ temperatura ambiente = 25 mV

$I_S$  corrente de saturação reversa

Os termistores, além disso, apresentam um volume muito pequeno, o que significa uma baixa capacidade térmica que se traduz em maior prontidão e menor possibilidade de afetar a temperatura do corpo que está sendo medido.

A desvantagem maior do componente, também está nessa baixa massa térmica que faz com que uma corrente maior de medida afete sua temperatura.

Também é uma desvantagem a ser considerada sua baixa linearidade que exige dos circuitos o emprego de algoritmos que façam a correção.

### 3.3. CIs Sensores

A grande vantagem dos circuitos integrados projetados para operar como sensores de temperatura é que eles já possuem recursos que permitem obter uma resposta linear.

Além disso, já possuem circuitos de saída capazes de fornecer sinais intensos, com características que os circuitos usados normalmente podem operar.

No entanto, a maior dificuldade é que o número de componentes disponíveis é pequeno, assim como as configurações e faixas de temperatura. Os sensores, além disso, precisam de uma fonte de alimentação externa, o que os torna também sensíveis ao próprio aquecimento dado pela corrente de operação. Isso faz com que erros sejam introduzidos.

Também é uma desvantagem a ser considerada o tamanho desses dispositivos o que significa uma capacidade térmica capaz de limitar a prontidão e também afetar a temperatura do corpo que está sendo medido.

A tendência atual da indústria é cada vez mais fornecer sensores "espertos" (smart) com eletrônica embutida de tal forma a dotar o dispositivo de inteligência. Com isso esses dispositivos teriam maior facilidade em fornecer a informação correta para a computação e também da forma mais apropriada aos meios de transmissão usados.

Em suma, os sensores desse tipo vão incluir todo o sistema de aquisição de dados, eventualmente com recursos para multiplexação ou operação conjunta com diversos sensores do mesmo tipo, de maneira sincronizada.



## 4. APLICAÇÕES

O controle de temperatura é necessário em processos industriais ou comerciais, como a refrigeração de alimentos e compostos químicos, fornos de fusão (produção de metais e ligas, destilação fracionada (produção de bebidas e derivados de petróleo), usinas nucleares e aquecedores e refrigeradores domésticos (fornos elétricos e microondas, freezers e geladeiras) equipamentos biomédicos (autoclave, termodesinfetadora).

## 5. Aspectos Finais

Qualquer que sejam os sensores usados numa aplicação existem entretanto, fatores comuns que devem ser levados em conta para se obter uma medida precisa da temperatura. Os ruídos, por exemplo, são especialmente importantes quando se usam os pares termoelétricos.

Vejam os principais ruídos que afetam as medidas de temperatura e como eles ocorrem.

### **a) Ruído em modo comum**

Esse tipo de ruído normalmente ocorre devido a realimentação pela linha de terra em pares termoelétricos, já que na maioria das aplicações, o terminal de terra do sensor é sua própria carcaça que é ligada ao corpo da máquina ou equipamento em que ele funciona.

Como a corrente flui tanto pelo terminal aterrado como pelo terminal vivo, os efeitos que ela causa podem se somar no circuito processador causando grandes erros.

Para evitar esse tipo de problema o sistema de aquisição de dados preferivelmente deve ser de alta impedância em relação à a terra, devendo ter uma boa especificação de rejeição em modo comum. O isolamento do sensor em relação à terra também pode ajudar a eliminar esse problema.

### **b) Ruído no modo normal**

Uma das possíveis fontes para esse ruído é a indução de correntes nos cabos do sensor devido a campos magnéticos existentes no seu percurso. Isso ocorre quando o cabo do sensor tem grandes extensões próximas de cabos de altas intensidades de corrente.

O ruído em modo normal pode ser reduzido ou eliminado encurtando-se os cabos do sensor ou usando cabos trançados. Também devemos afastar os cabos dos sensores de cabos de altas correntes.

### **c) Ruído eletrostático**

Esse tipo de ruído pode ser causado por partes móveis de uma máquina que geram cargas estáticas intensas. Essas cargas podem provocar descargas nos dispositivos sensores com a produção de pulsos de transientes. Esse tipo de ruído pode ser eliminado como uso de cabos blindados.

## 6. CONCLUSÃO

Para conclusão desse relatório, realizaremos um teste de laboratório, pois nada melhor que colocar em prática nossos conhecimentos.

A proposta é a criação de um sistema simples utilizando um sensor de temperatura para ativar ou desativar um ventilador portátil de acordo com as condições de temperatura pré programada.

6.1. Utilizaremos para esse experimento os seguintes componentes:

- 1 Arduino Mega
- 1 Sensor de temperatura DHT11
- 1 Display lcd 20x4
- 1 Fan 5v
- 1 Protoboard
- 1 Cabo USB
- 2 Resistor 10k
- 1 fonte de alimentação 5v

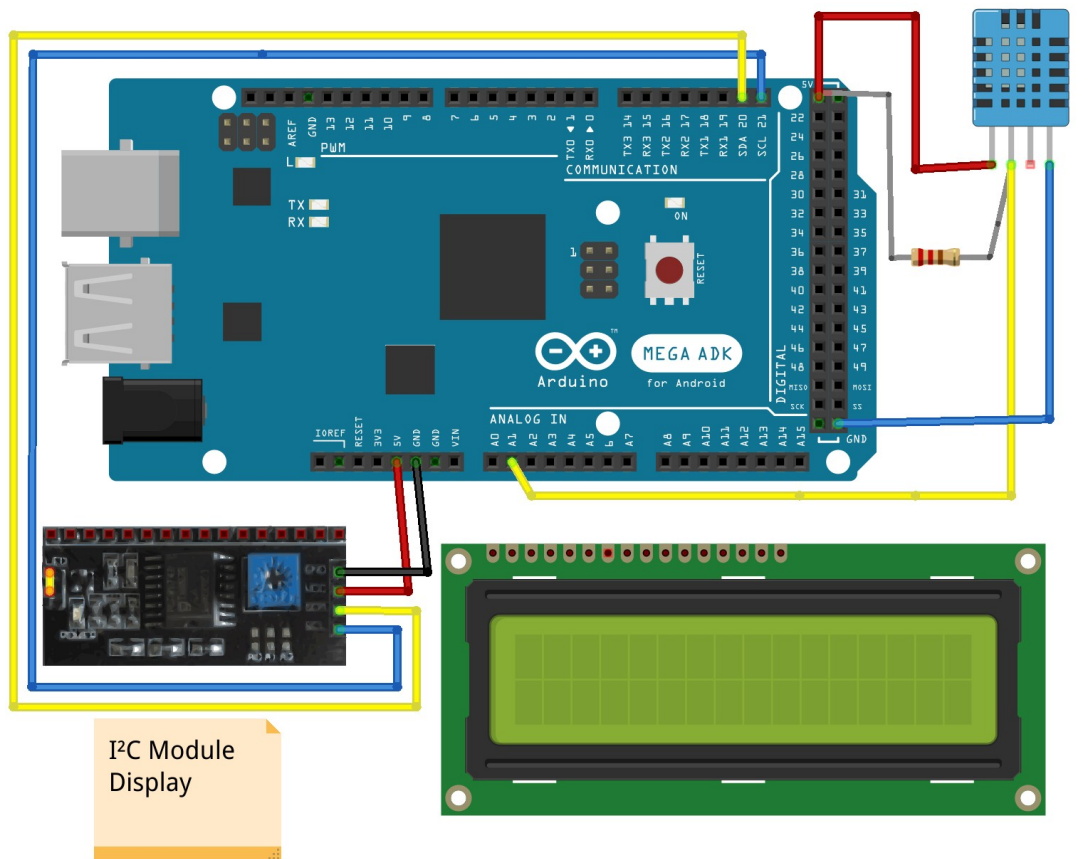
O DHT é um sensor básico e de baixo custo que utiliza um termistor e um sensor capacitivo para medir a temperatura e a umidade do ar ambiente.

Esse sensor é bastante simples de usar, mas requer cuidado com o tempo entre duas leituras consecutivas, já que é necessário um intervalo de no mínimo 1 segundo entre uma leitura e outra.

Existem diferentes versões do DHT, similares na aparência e na pinagem, porém com características diferentes. As características do DHT11 utilizado são:

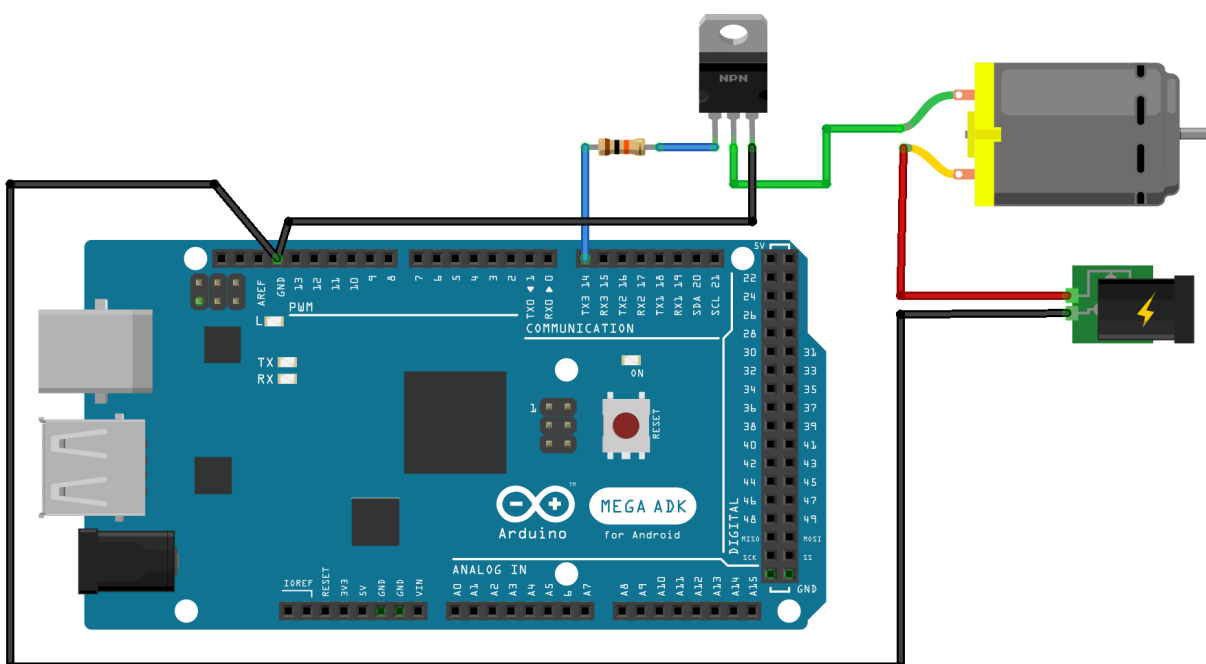
- Tensão de alimentação de 3V a 5V
- Baixo custo
- 2.5mA de corrente máxima durante a conversão
- Bom para medir umidade entre 20% e 80%, com 5% de precisão
- Bom para medir temperaturas entre 0 e 50°C, com  $\pm 2^\circ\text{C}$  de precisão
- Taxa de amostragem de até 1Hz (1 leitura por segundo)
- Dimensões: 15.5mm x 12mm x 5.5mm
- 4 pinos com 0.1" de espaçamento entre eles

## 6.2. Esquema de ligação: Arduino, Sensor e Display LCD



fritzing

## 6.3. Esquema de ligação: Arduino e Fan

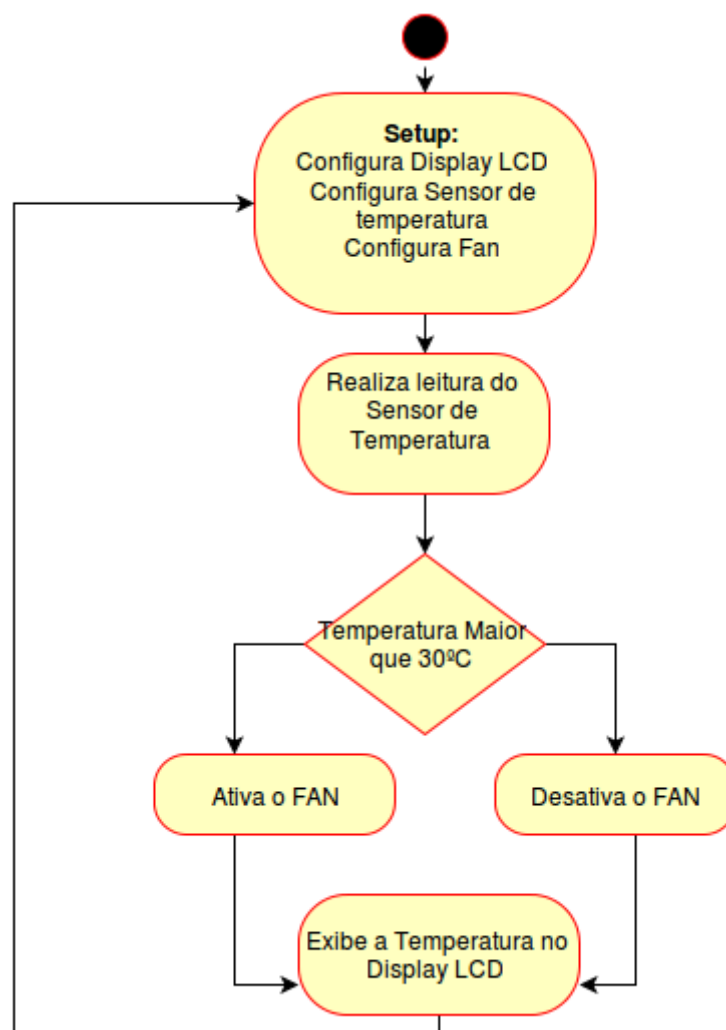


fritzing

## 6.4. Biblioteca para Desenvolvimento

Para trabalhar de forma fácil com o sensor DHT, utilizaremos uma biblioteca denominada DHTlib que pode ser encontrada no endereço disponibilizado nas referencias desse relatório.

## 6.5. Diagrama do Software



## 6.6. Código Fonte

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include "DHT.h"
#define DHTPIN A1 // pino ligado ao sensor DHT
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
const int pinFan = 14; // define o pino onde esta ligado o Fan

// Inicializa o display no endereco 0x3F
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE);

void setup()
{
  lcd.begin(20, 4); // configura o display lcd
  lcd.setBacklight(HIGH); // Ativa a luz do display lcd
  Serial.begin(9600);
  dht.begin(); // Inicia o sensor de temperatura
  pinMode(pinFan, OUTPUT); // configura o pino do fan
}

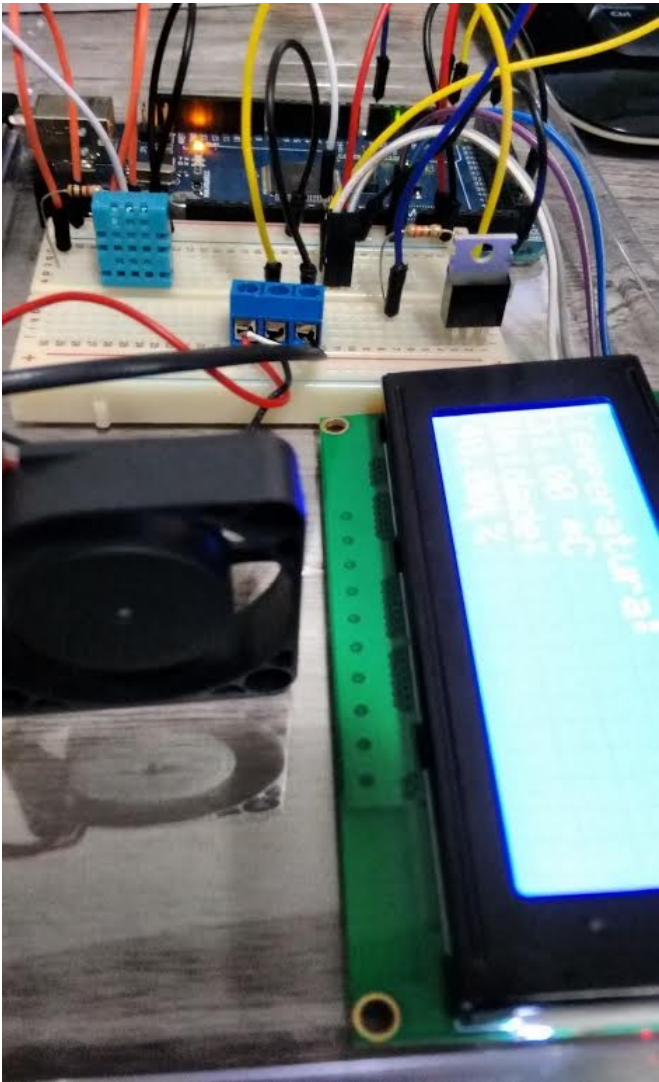
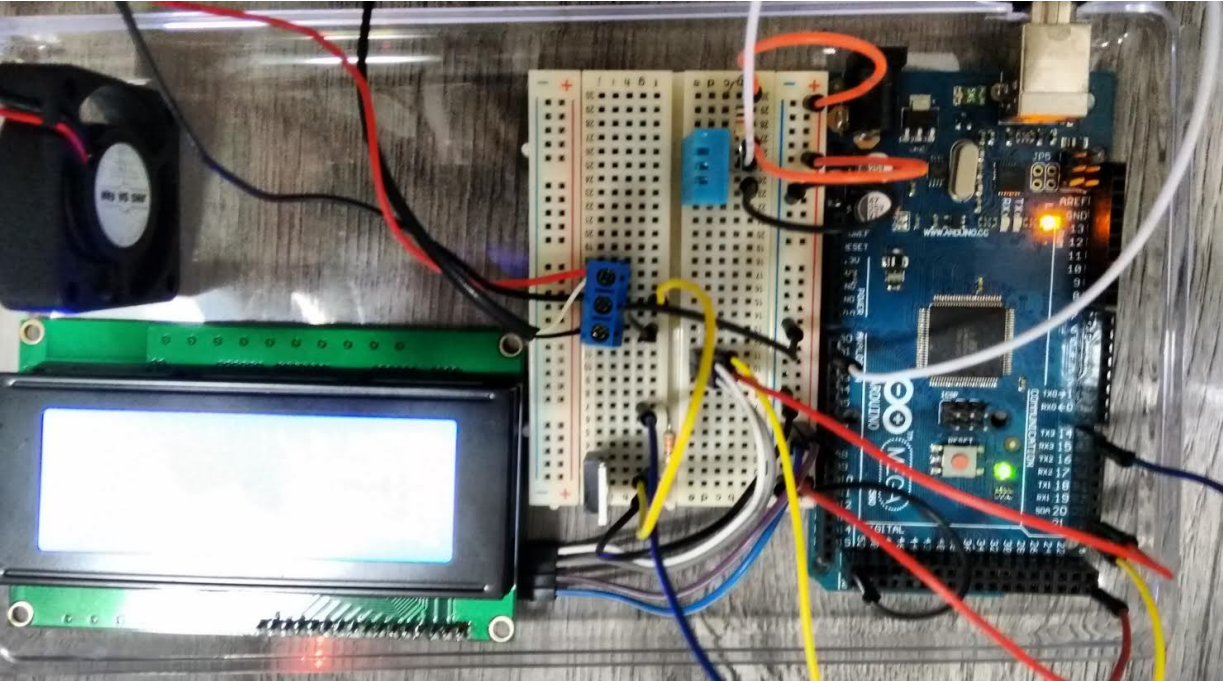
void loop()
{
  float h = dht.readHumidity(); // Lê a umidade relativa do ar através sensor
  float t = dht.readTemperature(); // Lê a temperatura através do sensor

  if (t > 30) {
    digitalWrite(pinFan, HIGH); // Liga o Fan
  } else {
    digitalWrite(pinFan, LOW); // Desliga o Fan
  }

  // Exibe no display as informações
  if (isnan(t) || isnan(h)) {
    lcd.clear();
    lcd.print("Falha ao ler o sensor DHT");
  } else {
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Temperatura:");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(t);
    lcd.print(" *C");
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("Umidade:");
    lcd.setCursor(0, 3);
    lcd.print(h);
    lcd.print(" %");
  }
  delay(1000);
}
```



6.7. Imagens do resultado Final





## 7. REFERENCIAS / BIBLIOGRAFIA

- DHTlib (<https://github.com/RobTillaart/Arduino/tree/master/libraries/DHTlib>)
- Livro: AVR e Arduino (Charles Borges de Lima / Marco V. M. Villaça)
- Electronics-tutorials (<http://www.electronics-tutorials.ws/>)