



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

ANTONIO RAIMAR DO VALE OLIVEIRA E SOUSA

**UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS SENSORES DE TEMPERATURA NTC
E LM35**

MOSSORÓ-RN
2014

ANTONIO RAIMAR DO VALE OLIVEIRA E SOUSA

**UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS SENSORES DE TEMPERATURA NTC
E LM35**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Departamento de Ciências Exatas e Naturais para a obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Augusto Casillo e Coorientador: Prof. M.Sc. Lazaro Luis de Lima Sousa – UFERSA.

MOSSORÓ-RN
2014

O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade de seus autores

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)

Setor de Informação e Referência

S725e Sousa, Antonio Raimar do Vale Oliveira e.

Um estudo comparativo entre os sensores de temperatura NTC e LM35. / Antonio Raimar do Vale Oliveira e Sousa -- Mossoró, 2014.

45f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Augusto Casillo.

Co-orientador: Bel. Lázaro Luís de Lima Sousa.

Monografia (Graduação em Ciência da Computação) –
Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de
Graduação.

1. Sensor de temperatura. 2. LM35. 3. NTC. 4. Arduíno
I. Título.

RN/UFERSA/BCOT /349-14

CDD: 629.895

Bibliotecária: Danielle Belmont de Farias

ANTONIO RAIMAR DO VALE OLIVEIRA E SOUSA

**UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS SENSORES DE TEMPERATURA
NTC E LM35**

Monografia apresentada ao
Departamento de Ciências Exatas e
Naturais para a obtenção do título de
Bacharel em Ciência da Computação.

APROVADO EM 27/02/2014

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Leonardo Augusto Casillo - UFERSA
Orientador - Presidente

Prof. M.Sc. Lazaro Luis de Lima Sousa - UFERSA
Co-Orientador

Prof. M.Sc. Marcelo Roberto Bastos Guerra Vale - UFERSA
Primeiro Membro

Prof. M.Sc. João Phellipe Pinto – Instituto Metrópole Digital
Segundo Membro

AGRADECIMENTOS

Ao meu Pai Celestial, que sempre me ajudou durante toda essa caminhada e que tornou possível a obtenção deste título. Ele é quem me guia e me orienta. Tenho aprendido bastante com Ele e convido a você que lê este trabalho que o conheça também.

A minha família, à minha mãe, Maria Neuma de Oliveira, e ao meu pai, Raimundo Filho Neto, pelo amor, confiança e o apoio que eles tem me dado sem medir esforços.

A minha namorada, Luana Mirtes de Freitas Gomes, pelo grande apoio que me deu, pela força e amor, fatores estes de grande ajuda nesta caminhada.

Aos meus professores e, em especial, os meus orientadores, Leonardo Casillo e Lazaro Luis, por me ajudarem a desenvolver este trabalho com suas grandes ideias, e por me ajudarem a crescer no conhecimento.

Aos meus amigos, em especial Manoel Marisergio, Thiago Felipe, Vaux Sandino, Rafael Almeida, Magayver Cassiano, Danilo Gomes e Rodrigo Monteiro, pela força, companheirismo, apoio e pelas brincadeiras.

“Pedi, e dar-se-vos-á; buscai e encontrareis; batei, e abrir-se-vos-á. Porque aquele que pede recebe; e o que busca encontra; e, ao que bate, se abre.”

(Mateus 7:7,8)

“Ninguém se engane a si mesmo: se alguém dentre vós se tem por sábio neste mundo, faça-se louco para ser sábio. Porque a sabedoria deste mundo é loucura diante de Deus; pois está escrito: Ele apanha os sábios na sua própria astúcia.”

(1 Coríntios 3:18,19)

“Disse-lhe Jesus: Eu sou o caminho, e a verdade, e a vida. Ninguém vem ao Pai senão por mim.”

(João 14:6)

RESUMO

Cada vez mais, o uso de sensores está aumentando em nosso meio, podemos ver o seu uso nas mais várias áreas de ensino e pesquisa, bem como nas ciências exatas e em algumas aplicações tecnológicas. Este trabalho se propõe fazer um estudo comparativo entre os sensores de temperatura NTC e LM35, tendo como objetivo saber qual dos sensores é mais preciso em suas leituras de acordo com os testes que eles serão submetidos. Para isso foi utilizado a plataforma Arduino UNO, devido o seu baixo custo, como ferramenta para trabalhar em conjunto com os sensores. De acordo com os resultados obtidos o LM35 apresentou melhores resultados do que o NTC, em virtude das suas leituras de temperatura serem mais precisas.

Palavras-chave: Sensores de temperatura, NTC, LM35, Arduino.

A COMPARATIVE STUDY BETWEEN THE TEMPERATURE SENSORS NTC AND LM35

ABSTRACT

More and more, the use of sensors is increasing in our environment, we can see its use in the most varied areas of teaching and research as well as in the sciences and technological applications. This paper aims to make a comparative study between the temperature sensors NTC and LM35, aiming knows which sensor is more accurate in their readings according to the tests they will undergo. For this Arduino UNO platform was used, because of its low cost, as a tool to work in conjunction with sensors. According to the results obtained, the LM35 showed better results than the NTC, because of their temperature readings are more accurate.

KEY-WORDS: Temperature sensors, NTC, LM35, Arduino.

LISTA DE SIGLAS

NTC - Negative Temperature Sensor;
RTD - Resistive Temperature Detectors;
PTC - Positive Temperature Coeficiente;
GND - Ground;
GPS - Global Position System;
LED - Light-emitting Diode;
USB - Universal Serial Bus;
IDE - Integrated Development Environment;
PCB - Printed Circuit Board;
LCD - Liquid-crystal Display;
TO - Transistor Outline;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Relação entre as escalas de temperatura.....	17
Figura 2: Curva da relação entre a resistência e a temperatura do NTC.	19
Figura 3: Sensor de temperatura NTC.	20
Figura 4: Pinagem do LM35 com encapsulamento metálico (a) e plástico (b). Configurações para duas faixas de temperatura (c) e (d).	22
Figura 5: Sensor de temperatura LM35.....	23
Figura 6: Curvas de resistência versus temperatura mostrando as diferenças entre o padrão americano e o europeu para o coeficiente de temperatura da resistência do sensor de platina.	25
Figura 7: Curvas de razões de resistências como função da temperatura para termistores comerciais NTC e PTC.	26
Figura 8: Formato e tamanhos de termistores PTC comerciais.	26
Figura 9: Efeito Seebeck.	27
Figura 10: Tipos de termopares.	28
Figura 11: Arduino Mega 2560.	30
Figura 12: Arduino Uno.	31
Figura 13: Divisor de tensão.....	32
Figura 14: Imagem representativa do experimento.	33
Figura 15: Imagem real do experimento.....	34
Figura 16: Gráfico da razão entre temperatura e resistência.	35
Figura 17: Gráfico da razão entre temperatura e do valor adimensional do NTC.	37

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Encapsulamento e faixa de operação de diferentes tipos de LM35.	22
--	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA	13
1.2 OBJETIVOS	13
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1 TEMPERATURA	15
2.2 TERMISTORES	18
2.3 SENSOR DE TEMPERATURA NTC.....	18
2.4 SENSOR DE TEMPERATURA LM35	20
2.5 RTD, PTC E TERMOPARES	24
2.5.1 RTD (Termorresistências)	24
2.5.2 PTC.....	25
2.5.3 Termopares	27
2.6 AMBIENTE DE PROTOTIPAGEM ARDUINO.....	28
2.6.1 Conversor Analógico Digital.....	31
2.6.2 Divisor de tensão	32
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
3.1 CALIBRAÇÃO DO SENSOR DE TEMPERATURA NTC – ETAPA 1.....	33
3.1.1 CALIBRAÇÃO DO SENSOR DE TEMPERATURA NTC – ETAPA 2.....	35
3.3 CALIBRAÇÃO DO SENSOR DE TEMPERATURA LM35.....	37
3.4 EXPERIMENTO DE COMPARAÇÃO	38
4. ANÁLISE E RESULTADOS.....	39
4.1 CÓDIGO FONTE	39
4.2 RESULTADOS.....	41
5. CONCLUSÕES	42
REFERÊNCIAS.....	44

1. INTRODUÇÃO

Cada vez mais, o uso de sensores está aumentando em nosso meio, seja industrial, comercial, pessoal ou mesmo acadêmico, em diversas áreas de ensino e pesquisa, bem como nas ciências exatas.

Um sensor é, como apresentado em (STEFFENS, 2006), um dispositivo eletroeletrônico que tem a propriedade de transformar em sinal elétrico a transformação de uma grandeza física. Existem vários tipos de sensores, que propiciam a obtenção de grandezas como velocidade, pressão, volume, luminosidade, som, umidade, dentre outras. Para este trabalho, o foco serão os sensores de temperatura.

Um tipo muito conhecido de sensor de temperatura é o termistor (STEFFENS, 2006), que tem como objetivo converter a variação de temperatura em sinais elétricos. Segundo Steffens, esses sensores são chamados de termistores devido o valor da resistência variar em função da temperatura.

1.1 JUSTIFICATIVA

A importância dos sensores de temperatura é notória, visto que a sua aplicação abrange várias áreas de atuação industriais, comerciais e domésticas. Podemos ver a sua aplicabilidade em equipamentos de prevenção a incêndios, sistemas de segurança, controle de processos industriais, e também em equipamentos de uso doméstico, como chuveiros e torneiras eletrônicas (ADD-THERM, 2013). Devido a sua importância e as várias dúvidas entre esses sensores, tivemos a ideia de desenvolver um estudo comparativo para podermos esclarecer essas possíveis dúvidas e para sabermos com maior certeza qual dos sensores é mais confiável.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho consiste em propor um estudo comparativo entre os sensores de temperatura NTC (*Negative Temperature Coefficient*) e o LM35. A fim de mostrar qual destes sensores possui melhor aplicabilidade, tempo de resposta e precisão de valores de acordo com os testes que cada um será submetido, tendo em

vista que cada um possui características próprias que podem ser benéficas ou prejudiciais para cada tipo de aplicação. Embora existam diversos sensores e medidores de temperatura disponíveis no mercado, os dois modelos escolhidos são considerados dispositivos ideais para a integração em *protoboards* e placas de circuito impresso devido às suas características físicas como tamanho, voltagem, resistência e faixa de temperatura.

Por se tratar de grandezas analógicas, e visto que o processamento de dados em qualquer unidade de processamento deverá ser realizada de forma digital, também faz-se objetivo deste trabalho a utilização de um ambiente de prototipagem Arduino, bem como a programação do dispositivo, para que seja possível realizar a captura dos sinais analógicos de cada um dos sensores, transformar tais dados em um sistema digital, analisar os dados obtidos e realizar o estudo comparativo.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho está organizado em cinco capítulos. No Capítulo 2 iremos abordar a fundamentação teórica, onde serão expostos conceitos sobre definição de temperatura, suas escalas existentes e mais usadas, o termômetro e seus elementos que o compõe, a Lei zero da termodinâmica e equilíbrio térmico. Após a conceituação da grandeza, serão descritos alguns sensores de temperatura disponíveis comercialmente, como por exemplo, NTC, LM35, RTD, PTC e Termopares, dando ênfase aos sensores NTC e LM35, por serem o alvo das análises e comparações deste trabalho. Para cada um dos sensores, serão detalhados os conceitos gerais, faixa de temperatura de operação, componentes e principais áreas de aplicação. Por fim, o Capítulo trará informações sobre o ambiente de prototipagem Arduino, seus conceitos, componentes e aplicações.

O Capítulo 3 expõe os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento do estudo, apresentando a metodologia para a realização dos processos de montagem dos circuitos, calibração dos sensores e funcionamento do ambiente de testes.

O Capítulo 4 traz uma análise gráfica dos resultados obtidos nas comparações entre os sensores de acordo com os testes realizados em diferentes ambientes e situações. O Capítulo 5 encerra este texto com a conclusão do nosso trabalho e propostas para trabalhos futuros.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 TEMPERATURA

A noção que estamos acostumados a ter sobre este termo, está relacionada com a sensação de calor ou frio quando tocamos um objeto. De acordo com a Primeira Lei da termodinâmica, se colocarmos um corpo quente em contato com um corpo frio, o corpo quente se resfria e o corpo frio se aquece. Se esses corpos permanecerem em contato um com o outro por um período de tempo suficiente, eles parecerão ter a mesma temperatura. Contudo, sabemos que essa sensação térmica não é segura, pois algumas vezes os corpos frios podem parecer quentes e os corpos de materiais diferentes que estão na mesma temperatura, parecem estar em temperatura diferente. Isto acontece porque a temperatura é uma propriedade da matéria que está relacionada com a movimentação dos átomos de uma substância (SILVA, 2013).

Normalmente esses átomos possuem uma determinada energia cinética que se traduz nas formas de vibrações ou deslocamento para os líquidos ou gases. Quanto maior a velocidade de movimentação das moléculas, maior a temperatura do corpo, e quanto mais lento o movimento, menor a temperatura do corpo (SILVA, 2013). Baseado nisso podemos dizer que temperatura nada mais é que, uma grandeza física utilizada para dizer quão quente ou frio um corpo é.

De acordo com o que foi visto em (ANACLETO, 2007 apud Deus et al, 2000), a noção de temperatura está ligada às sensações de quente e de frio, ou seja, à quantidade de aquecimento. Já de acordo com Abreu, a temperatura é a grandeza que nos diz quão quente ou frio está um corpo (ANACLETO, 2007 apud Abreu *et al*, 1994). A temperatura pode ser representada em uma escala numérica contínua, onde quanto maior seu valor, maior a energia cinética média dos corpos em questão, e esta pode ser expressa na escala Celsius, Fahrenheit, Kelvin e Rankine.

Desde o início da termometria, os cientistas, pesquisadores e fabricantes de termômetro tinham dificuldade em atribuir valores de forma padrão à temperatura por meio de escalas (SMITH et al, 2011). Devido a essa dificuldade, existiu a necessidade de buscar pontos nos quais se pudessem reproduzir de forma definida os valores medidos. Com isso surgiram as escalas de temperatura, que foram

desenvolvidas ao longo do tempo, e segundo (SMITH et al, 2011) as principais escalas utilizadas são a Fahrenheit, a Celsius, a Kelvin e a Rankine.

A escala Fahrenheit é utilizada nos Estados Unidos e parte da Europa. Entretanto, existe uma tendência de se usar exclusivamente nos processos industriais de todo o mundo a escala Celsius. A escala Rankine e Kelvin são escalas absolutas, e são mais usadas nos meios científicos, sendo que atualmente usa-se quase que exclusivamente a escala Kelvin (SMITH et al, 2011).

Na escala Celsius, o ponto de gelo (ponto de congelamento da água saturada com ar na pressão atmosférica padrão) é zero, e o ponto de vapor (ponto de ebulição da água pura na pressão atmosférica padrão) é igual a 100. Temperaturas Kelvin são representadas pelo símbolo T ; temperaturas Celsius, com o símbolo t , são definidas em relação às temperaturas Kelvin (SMITH et al, 2011):

$$T\text{ }^{\circ}\text{C} = T\text{ }K - 273,15 \quad \text{Equação 1}$$

A unidade de medida da temperatura Celsius é o grau Celsius, $^{\circ}\text{C}$, igual em tamanho ao kelvin onde são 100 divisões do ponto de congelamento até o ponto de vaporização. Todavia, temperaturas na escala Celsius são 273,15 graus menores que na escala Kelvin. Sendo assim, o limite inferior de temperatura, chamado de zero absoluto na escala Kelvin, ocorre a $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Além das escalas Kelvin e Celsius, existem mais duas escalas utilizadas pelos engenheiros dos Estados Unidos: a escala Rankine e a escala Fahrenheit. A escala Rankine é uma escala absoluta diretamente relacionada à escala Kelvin por (SMITH et al, 2011):

$$T\text{ } (R) = 1,8\text{ } T\text{ } K \quad \text{Equação 2}$$

A escala Fahrenheit está relacionada à escala Rankine por uma equação análoga à relação entre as escalas Celsius e Kelvin (SMITH et al, 2011):

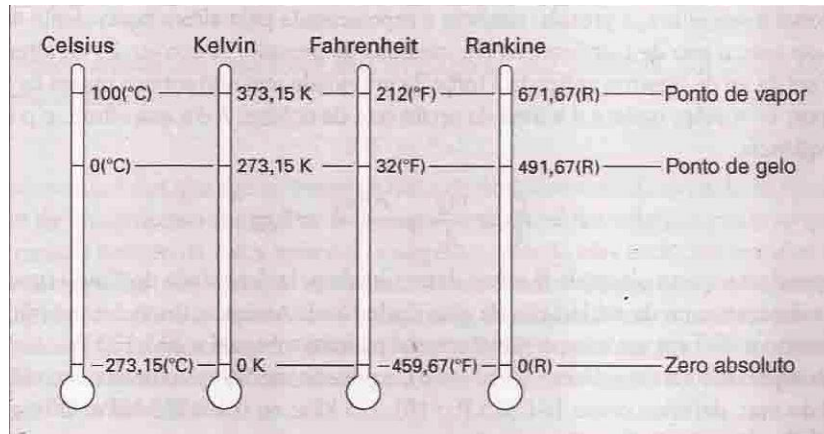
$$t\text{ } (^{\circ}\text{F}) = T\text{ } (R) - 459,67 \quad \text{Equação 3}$$

Sendo assim, o limite inferior na escala Fahrenheit é de $-459,67\text{ } (^{\circ}\text{F})$. A relação entre as escalas Celsius e Fahrenheit é (SMITH et al, 2011):

$$t\text{ } (^{\circ}\text{F}) = 1,8\text{ } t\text{ } ^{\circ}\text{C} + 32 \quad \text{Equação 4}$$

Na escala Fahrenheit, 32 (°F) é o ponto de gelo, e o ponto de ebulição da água é igual a 212 (°F) (SMITH et al, 2011). Segue abaixo a relação entre essas escalas de temperatura.

Figura 1: Relação entre as escalas de temperatura.



Fonte: SMITH, et al, (2011)

Um sistema com dois corpos que estão com a mesma temperatura pode-se dizer que eles estão em equilíbrio térmico. De acordo com a *Lei Zero da Termodinâmica*, visto (ANACLETO, 2007), podemos dizer que se um corpo A está em equilíbrio térmico com B, e se B está em equilíbrio térmico com C, então A está em equilíbrio térmico com C. Esse conceito é muito importante quando falamos de equilíbrio térmico, e a temperatura é fundamental para podermos ter a capacidade de dizer se um corpo está em equilíbrio com o outro ou não. Tendo em vista que, para dizermos se dois corpos estão em equilíbrio, primeiro temos que saber sua temperatura.

Uma forma clássica de medição de temperatura geralmente se dá mediante a utilização de um termômetro, disponível em modelos analógicos e digitais. Este aparelho contém um bulbo de vidro em seu interior, no qual o líquido se expande quando aquecido. Um tubo uniforme, parcialmente cheio de mercúrio, álcool, ou algum outro fluido, pode indicar grau de aquecimento simplesmente pelo comprimento da coluna de fluido (SMITH et al, 2011). No entanto, torna-se difícil interligar um termômetro com dispositivos de processamento digital, como microprocessadores ou microcontroladores. Desta forma, frequentemente costuma-

se recorrer ao uso de equipamentos conhecidos como sensores, os quais efetuam a leitura da temperatura atual e retornam valores de tensão ou resistência que possam ser utilizados como dados de entrada de tais dispositivos.

2.2 TERMISTORES

Uma das características dos termistores é a variação da resistência em função da temperatura, ou seja, o valor da resistência depende da temperatura, a isso é dado o nome de termistor (HAAG et al, 2003).

Um termistor do tipo NTC é um componente eletrônico de material semicondutor, que exhibe uma grande variação de resistência em função da temperatura, tipicamente utilizável para medidas na faixa de -50 °C a 150 °C. O fator predominante para a variação da resistência do NTC é a temperatura do seu corpo que em equilíbrio com o meio em sua volta, permite que se determine a temperatura do meio (HAAG et al, 2003).

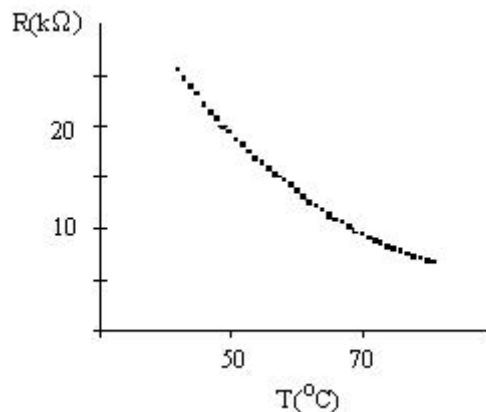
2.3 SENSOR DE TEMPERATURA NTC

Em ADD-THERM (2013, p. 4) diz que:

Sensores de temperatura NTC são fabricados a partir de um elemento resistor termicamente sensível que possui um coeficiente negativo (Negative Temperature Coeficiente). Fabricado a partir da mistura de óxidos de metais de transição, manganês, cobre, cobalto e níquel, apresentam variação de resistência ôhmica em relação a temperatura submetida. Quando aumenta a temperatura a resistência diminui.

Durante o processo de fabricação, dois destes metais de transição são sintetizados em elevada temperatura. Alternando o tipo de óxido, temperatura e atmosfera, produzirá curvas características de resistência-temperatura (R-T), onde esta relação é não-linear como podemos ver na Figura 2 (HAAG et al, 2003).

Figura 2: Curva da relação entre a resistência e a temperatura do NTC.



Fonte: HAAG, et al, (2003)

Estes sensores NTC operam na faixa de $-55^{\circ}C$ a $300^{\circ}C$, e oferecem grande estabilidade e sensibilidade, juntamente com o baixo custo e desempenho fez com que o NTC fosse muito usado em uma grande variedade de aplicações de medição de temperatura. A tolerância da temperatura pode chegar a $0,1^{\circ}C$ (JUNIOR, 2007).

Como visto em (SHIGUE, 2008), a maioria dos termistores tem coeficiente de temperatura negativo, por esse motivo são conhecidos como NTC, mas também existem os de coeficiente positivo e recebem o nome de PTC. De acordo com o que foi visto em (JUNIOR, 2007) dizemos que quando a resistência diminui com o aumento da temperatura este é o coeficiente negativo (NTC) e quando a resistência aumenta com o aumento da temperatura, o resultado é o coeficiente positivo (PTC). Os termistores NTC possuem uma grande sensibilidade tão elevada quanto às várias percentagens de ohms por graus Celsius, permitindo que circuitos que possuam termistores possam detectar variações ínfimas de temperatura (SHIGUE, 2008).

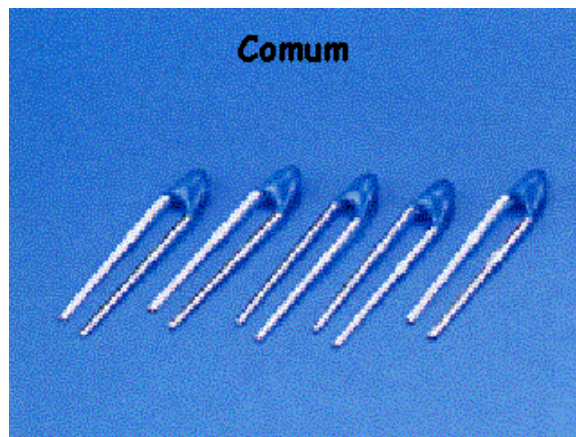
Existem diversos tipos de séries do termistor NTC, série MF54, MF57, MF52A1, MF52A2, MF11 e MF12, MF51E, MF58, MF51G, CMF e MF59. Cada uma com sua particularidade, ou seja, com seus valores específicos de resistência, tolerância, potência, dissipação e faixa de temperatura.

As vantagens de acordo com (ADD-THERM, 2013) do NTC são o baixo custo, devido os materiais da sua composição ele responde muito rápido as variações de temperatura, possui uma ótima precisão na faixa de temperatura de $-55^{\circ}C$ a $150^{\circ}C$.

Outras vantagens que podem ser citadas são menor inércia termal do sensor, mais robusto e possibilidade de medir pequenas variações de temperatura (JUNIOR, 2007). As desvantagens são características da temperatura x resistência não-linear, características não-padronizadas, intervalo de medida por parte do sensor menor, e suscetibilidade à permanente descalibração a altas temperaturas (JUNIOR, 2007).

O uso do NTC está nas mais variadas áreas, e de acordo com (ADD-THERM, 2013) ele pode ser aplicado na indústria, em processos fotográficos, aquecedores elétricos, máquinas agrícolas, linha automotiva, bebedouros com controle de temperatura eletrônico, equipamentos de incêndio e equipamentos de segurança, refrigeração e ar condicionado, entre outras. Na Figura 3 podemos ver uma amostra do sensor NTC.

Figura 3: Sensor de temperatura NTC.



Fonte: STEFFENS (2006)

2.4 SENSOR DE TEMPERATURA LM35

Antigamente utilizavam para atuar como sensor de temperatura o componente eletrônico diodo de silício, onde este trabalhava especialmente na faixa de temperatura entre $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Porém, utilizá-lo como sensor de temperatura apresentou algumas desvantagens, a saber: a tensão de saída decrescente com o aumento da temperatura representa uma função inversa que necessita ser processada para que a leitura final apresentada ao operador seja diretamente proporcional à temperatura; o valor absoluto do sinal fornecido pelo

sensor não corresponde ao valor numérico da temperatura (por exemplo, em °C); a cada substituição do sensor, mesmo tratando-se de um componente idêntico quanto à sua numeração e fabricante, há necessidade de se fazer uma nova calibração junto aos amplificadores operacionais, pois a tolerância de diodos e transístores introduz um erro na leitura da temperatura. Devido a isso, diversos fabricantes de componentes semicondutores a fim de minimizar estas desvantagens introduziram no mercado circuitos integrados específicos para o sensoriamento de temperatura como, por exemplo, o LM35 (NAKAMURA et al, 1996).

De acordo com (NATIONAL SEMICONDUCTOR, 2000) “o sensor LM35 é um sensor de precisão de temperatura, cuja tensão de saída é linearmente proporcional à temperatura em graus Celsius”, seu fator de escala linear de saída é de 10mV para cada grau Celsius de temperatura, dessa forma, ele possui uma vantagem com relação aos outros sensores de temperatura que são calibrados em Kelvin, pois não necessita de qualquer transformação de uma escala para outra, pois ele já mostra a temperatura em graus Celsius.

O LM35 não requer qualquer calibração externa, e sua temperatura varia $\frac{1}{4}$ °C à temperatura ambiente e $\frac{3}{4}$ °C dentro da faixa de temperatura que é de -55 °C à 150 °C. Ele possui baixa impedância de saída linear e calibração inerente, fazendo com que o seu interfaceamento de leitura seja simples, e com isso tornando todo o seu sistema barato (NATIONAL SEMICONDUCTOR, 2000).

Como ele utiliza 60µA para estas alimentações, seu auto-aquecimento é muito baixo ao ar livre que é de menos 0,1 °C (NATIONAL SEMICONDUCTOR, 2000).

A série de sensores LM35 possui vários tipos de encapsulamento, entretanto o LM35 está disponível em TO-46, enquanto o LM35C, LM35CA e LM35D também estão disponíveis em TO-92, que se parece mais com um transistor, e o LM35D também está disponível em TO-220. TO é relacionado ao estilo do pacote transistor, por exemplo, o TO-92, é o pacote transistor do estilo 92 (NATIONAL SEMICONDUCTOR, 2000).

Existem vários tipos do sensor LM35, de acordo com (TEXAS INSTRUMENTS, 2013) os tipos são o LM35AH, LM35CAH, LM35CH, LM35A, LM35C, LM35CA, LM35D, entre outros. Cada uma com sua particularidade, ou seja, com seus valores específicos de resistência, tolerância, potência, dissipação, faixa

de temperatura e encapsulamento. A tabela 1 reúne estes dados para os dois modelos encontrados no mercado nacional.

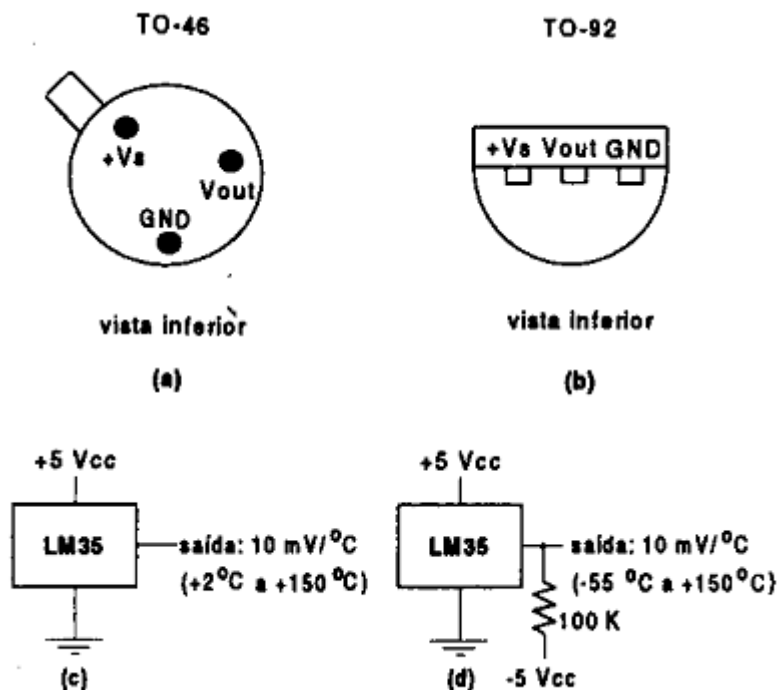
Tabela 1: Encapsulamento e faixa de operação de diferentes tipos de LM35.

Modelo	Encapsulamento	Faixa de operação (°C)
LM35	TO-46 (metálico)	-55 a + 150
LM35D	TO-92 (plástico)	0 a +100

Fonte: Nakamura, et al, (1996)

A figura 4 apresenta os diagramas de conexão para os dois tipos de encapsulamento (Fig. 4a e 4b), assim como também duas configurações possíveis, uma para a faixa de temperatura entre +2 °C e +150 °C (Fig. 4c) e a outra para -55 °C a +150 °C (Fig. 4d). É importante observarmos que a tensão de alimentação pode ser de qualquer valor entre 4 e 30 V (NAKAMURA et al, 1996).

Figura 4: Pinagem do LM35 com encapsulamento metálico (a) e plástico (b). Configurações para duas faixas de temperatura (c) e (d).

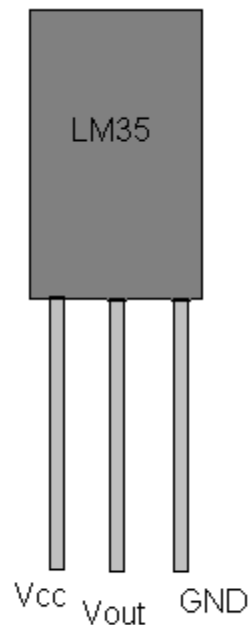


Fonte: Nakamura, et al, (1996)

Uma desvantagem do LM35, de acordo com (ADD-THERM, 2012) seria o seu tempo de resposta lento quando comparado com o sensor NTC, onde seu tempo de resposta varia de 5 segundos até 50 segundos, e o NTC de 0.12 segundos até 10 segundos.

De acordo com (ADD-THERM, 2013) as áreas de aplicação do LM35 são nas máquinas industriais, fornos industriais, apropriado para aplicações remotas, equipamentos de monitoramento GPS, controle de processos, proteção térmica de estabilizadores, entre outros. Segue abaixo a pinagem do sensor LM35, na Figura 5.

Figura 5: Sensor de temperatura LM35.



Fonte: Autoria própria

Como podemos perceber, o LM35 possui 3 terminais, sendo dois para a alimentação (+Vs e GND ou terra) e uma saída (Vout) que é de 10mV/°C, linear em toda sua faixa de operação. Desse modo, por exemplo, os valores de Vout em 250mV, 1000mV e -500 mV são, respectivamente, 25, 100 e -50 °C. Sua acuidade é de $\pm 0,25$ °C à temperatura ambiente e $\pm 0,75$ °C sobre toda a faixa de -55 °C a +150 °C (NAKAMURA et al, 1996).

2.5 RTD, PTC E TERMOPARES

2.5.1 RTD (Termorresistências)

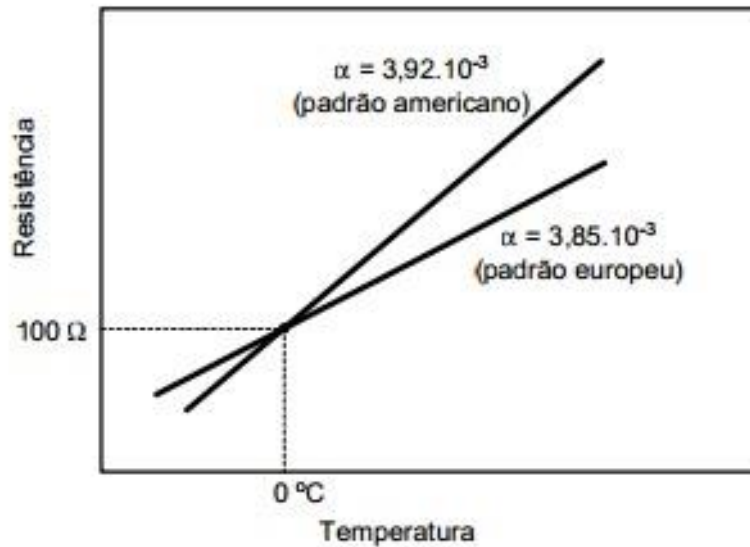
A termorresistência de acordo com (SHIGUE, 2008) que são conhecidas pela abreviação inglesa RTD (*Resistive Temperature Detectors*) são sensores de temperatura formados por metais de resistência elétrica com elevado coeficiente de temperatura α . A resistência elétrica dos metais varia de maneira quase linear. A escolha do metal para fabricar termorresistências depende da sensibilidade, precisão e faixa de temperatura de trabalho. A sensibilidade do sensor é definida como a variação da resistência por variação da temperatura. O tipo do metal que for usado na fabricação da termorresistência irá influenciar diretamente no sensor.

Podemos utilizar, por exemplo o níquel (Ni), que tem a maior sensibilidade entre os metais, tem uma faixa de temperatura de trabalho limitada, porque a sensibilidade se torna não-linear em temperaturas acima de 300 °C (SHIGUE, 2008).

O cobre por sua vez possui uma relação linear entre a resistência e a temperatura, mas se oxida facilmente mesmo em temperaturas moderadas e não pode ser utilizado acima de 150 °C (SHIGUE, 2008).

A platina é um metal nobre e possui uma relação entre resistência e temperatura mais estável sobre uma faixa de temperatura que varia de -180 °C a 650 °C. Trata-se do metal mais utilizado e recomendado na fabricação de sensores resistivos de temperatura por causa da relação linear entre resistência e temperatura, repetibilidade e sua ampla faixa de temperatura de trabalho (SHIGUE, 2008).

Figura 6: Curvas de resistência versus temperatura mostrando as diferenças entre o padrão americano e o europeu para o coeficiente de temperatura da resistência do sensor de platina.

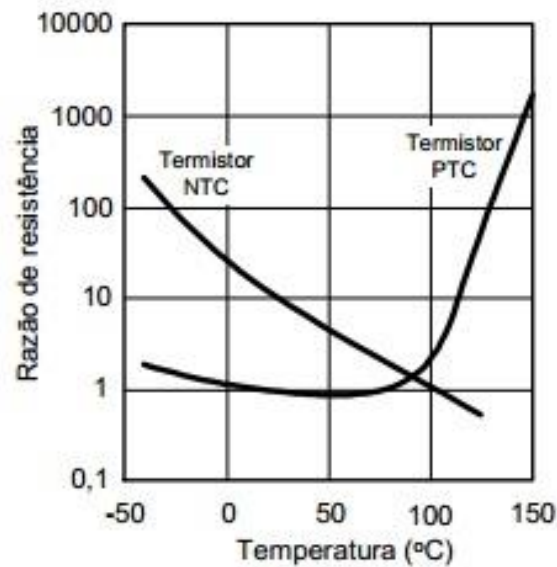


Fonte: SHIGUE (2008)

2.5.2 PTC

O PTC (*Positive Temperature Coeficiente*), que no português significa Coeficiente de Temperatura Positivo, é também um sensor de temperatura muito conhecido. Com o aumento da temperatura sua resistência aumenta. Na Figura 7 temos a curva da razão entre resistência e temperatura do PTC e NTC, onde poderemos ver esta relação mais facilmente.

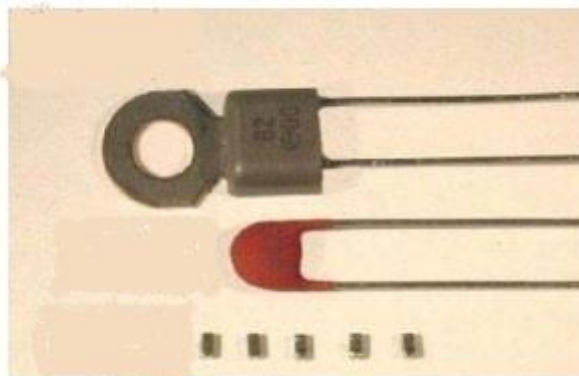
Figura 7: Curvas de razões de resistências como função da temperatura para termistores comerciais NTC e PTC.



Fonte: SHIGUE (2008)

Devido às características de grande elevação da resistência com a temperatura, os termistores PTC são usados na proteção térmica de circuitos eletrônicos (SHIGUE, 2008). Na figura 8 podemos ver uma amostra do sensor PTC.

Figura 8: Formato e tamanhos de termistores PTC comerciais.

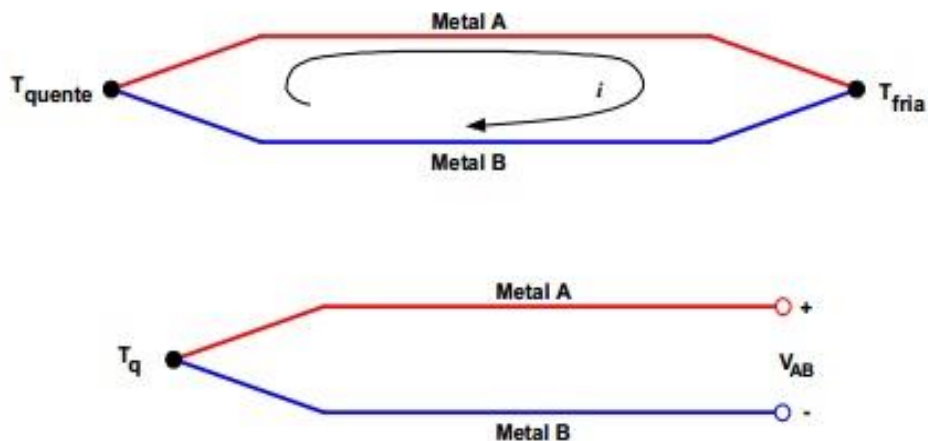


Fonte: SHIGUE (2008)

2.5.3 Termopares

Afirma (SHIGUE, 2008), que o princípio de funcionamento do termopar baseia-se no efeito *Seebeck*, descoberto por *Thomas Seebeck* em 1821. Se dois metais dissimilares forem soldados nas duas extremidades e uma delas for aquecida, uma corrente contínua fluirá pelo circuito termoelétrico. Se o circuito for aberto numa das extremidades, uma tensão elétrica de circuito aberto aparecerá e estará diretamente relacionada à diferença de temperatura entre as extremidades soldada e a extremidade aberta e à composição dos dois metais. Com isso, dá-se o nome desta tensão de tensão de *Seebeck*.

Figura 9: Efeito Seebeck.

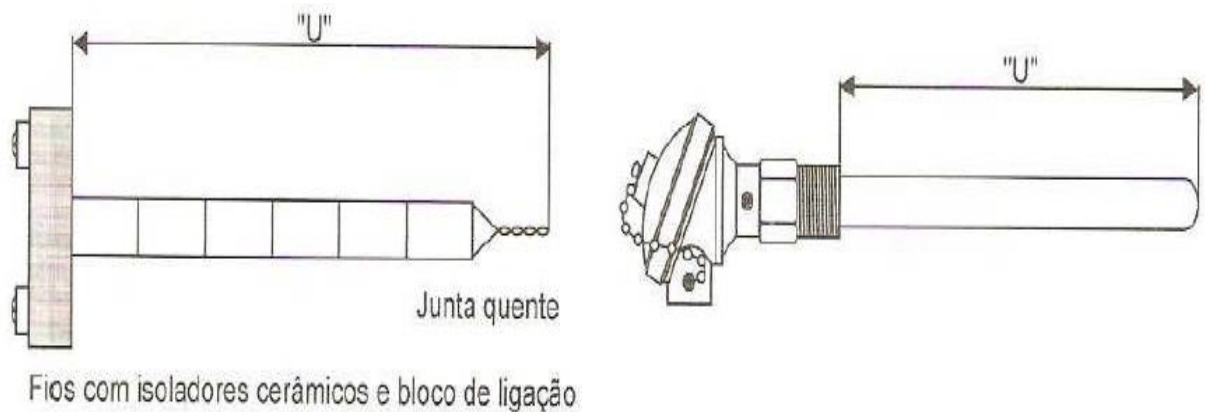


Fonte: SHIGUE (2008)

Todos os pares metálicos dissimilares apresentam este efeito, entretanto somente alguns deles produzem uma tensão Seebeck pronunciável (SHIGUE, 2008).

Na figura 10 são mostrados alguns tipos de termopares.

Figura 10: Tipos de termopares.



Fonte: THOMAZINI et al. (2005)

2.6 AMBIENTE DE PROTOTIPAGEM ARDUINO

Segundo McRoberts (2011, p. 22) diz que:

Em termos práticos, um Arduino é um pequeno computador que você pode programar para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele. O Arduino é o que chamamos de plataforma de computação física ou embarcada, ou seja, é um sistema que pode interagir com seu ambiente por meio de hardware e software.

Logo, o Arduino é uma placa pequena e com uma ampla aplicação, que está dentro das mais variadas áreas. O Arduino possibilitará que sejam criados vários tipos de projetos, desde pequenos trabalhos, como por exemplo, apagar e acender LEDs, até robôs. Com dedicação, vontade de aprender a programar um Arduino e interagi-lo com outros componentes, imaginação e criatividade, poderá ser feito tudo que quiser (MCROBERTS, 2011).

O Arduino pode ser utilizado para vários projetos, como por exemplo, com ele você pode desenvolver objetos interativos, pode ser conectado a um computador, a uma rede, ou a internet para enviar e recuperar dados do Arduino e atuar sobre eles. Ele também pode ser conectado aos LEDs, displays (mostradores), de matriz de

pontos, sensores de temperatura, botões, interruptores, motores, sensores de pressão, sensores de distância, receptores GPS, módulos *Ethernet* ou qualquer outro dispositivo que emita dados e possa ser controlado, ele também pode ler e controlar dados (MCROBERTS, 2011).

A placa Arduino é constituída de um microprocessador *Atmel AVR*, um cristal ou oscilador, que é um relógio simples que envia pulsos de tempo em uma frequência específica, para permitir sua operação na velocidade correta, e um regulador linear de 5 volts (MCROBERTS, 2011).

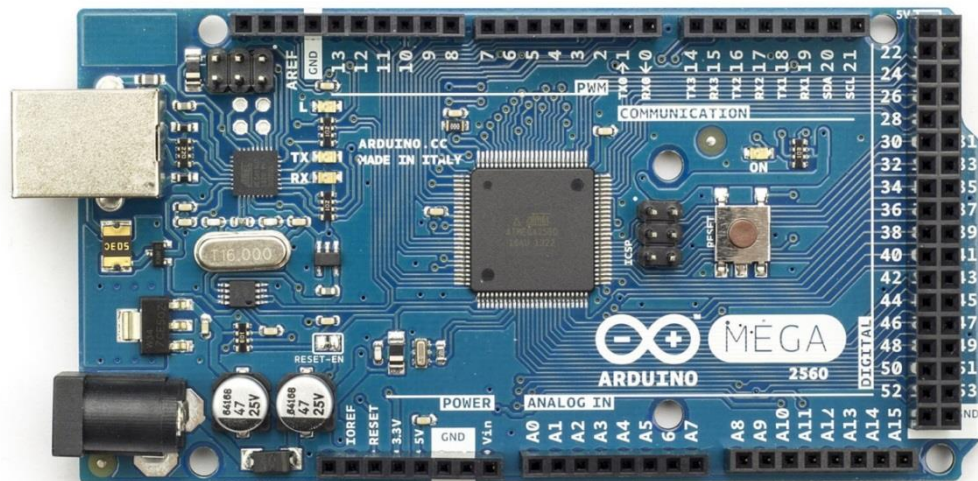
Dependendo do modelo da placa, pode ter também uma saída USB para conectar a um computador ou Mac para upload de dados.

Para programar o Arduino utiliza-se da IDE do Arduino, que é um software livre para escrever códigos na linguagem que o Arduino compreende, onde essa linguagem é baseada na linguagem C. Nessa IDE é escrito um conjunto de instruções passo a passo, na qual é feito upload para o Arduino, ou seja, é passado para a placa as instruções escritas na IDE. Logo em seguida, o Arduino irá executar as instruções interagindo com o que estiver conectado a ele. Essas instruções escritas na IDE são chamadas de programa, e esse programa, no mundo Arduino, é chamada de *sketches* (rascunho, ou esboço) (MCROBERTS, 2011).

O *hardware* e o *software* do Arduino são de fonte aberta, por esse motivo, o código, o projeto, etc. podem ser utilizados por qualquer um e para qualquer propósito. Existem muitas placas-clones no mercado, pois nada impede que a pessoa crie seu próprio Arduino. A equipe Arduino só não permite que seja usado o nome “Arduino” pois é o nome da placa oficial, por isso que existe outros nomes como Freeduino, Roboduino, etc. Como os projetos são de fonte aberta, toda placa-clone é 100% compatível com o Arduino (MCROBERTS, 2011).

O Arduino Mega 2560 (Figura 11) possui mais memória e tem um número maior de pinos de entrada e saída (MCROBERTS, 2011). Ele possui 54 pinos digitais de entrada e saída, onde 15 podem ser usados como saída PWM, 16 entradas analógicas, 4 UARTs (*hardware serial ports*), um cristal oscilador de 16 MHz, uma conexão USB, um conector de alimentação, um cabeçalho ICSP, e um botão de *reset* (ARDUINO, 2014). Possui também uma memória de 256 KBytes, na qual 8 KB é usado pelo *bootloader* (ARDUINO, 2014). As novas placas possuem um *bootloader* novo, o *Optiboot*, que libera mais 1,5 kB de memória *flash* e inicializa mais rapidamente (MCROBERTS, 2011).

Figura 11: Arduino Mega 2560.



Fonte: ARDUINO (2014)

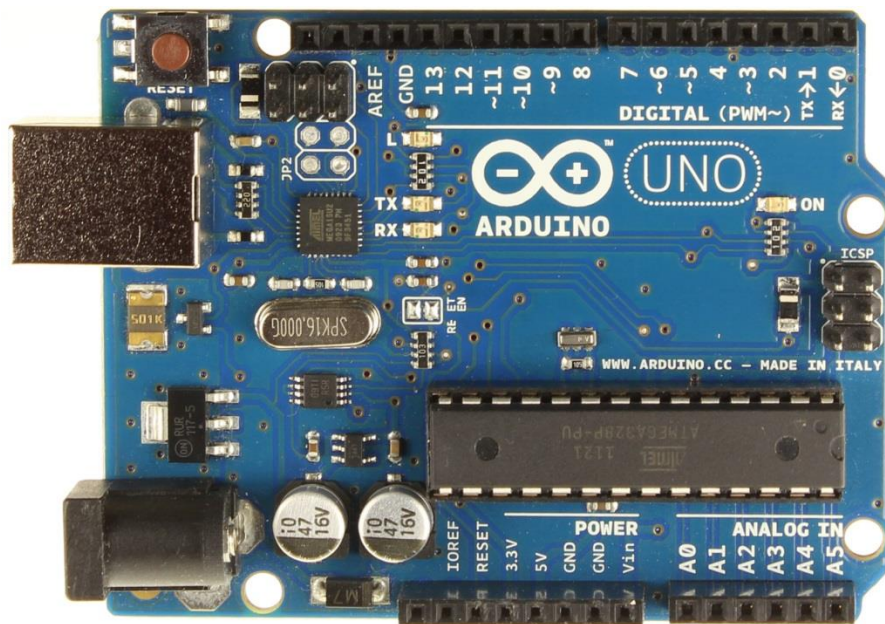
Existem muitas variantes do Arduino, e a mais utilizada delas é o Arduino Uno (seu predecessor é o *Duemilanove*). Existem também versões Mini, Nano e *Bluetooth* (MCROBERTS, 2011).

A placa Arduino Uno (Figura 12) é uma plataforma de prototipagem baseada no microcontrolador ATmega328, da família de microcontroladores ATMel. Ele possui 14 pinos digitais de entrada e saída, onde 6 podem ser utilizados como saídas PWM, 6 entradas analógicas, em ressonador cerâmico de 16 MHz, uma conexão USB, um conector de alimentação, um cabeçalho ICSP, e um botão de *reset* (ARDUINO, 2014).

A Placa pode operar na voltagem de 6 a 20 volts, no entanto se fornecido com menos de 7V, o pino de 5V pode fornecer menos do que 5V e a placa pode ficar instável. Se usar mais de 12V, o regulador de voltagem pode superaquecer e danificar a placa, por isso é recomendado uma voltagem no intervalo de 7 a 12V (ARDUINO, 2014). É utilizada uma corrente de 40 mA para os pinos de entrada e

saída, e de 50 mA para o pino de 3.3V (ARDUINO, 2014). Ele possui uma memória *flash* de 32 KBytes na qual 0,5 KB são usados pelo *bootloader* (ARDUINO, 2014).

Figura 12: Arduino Uno.



Fonte: ARDUINO (2014)

2.6.1 Conversor Analógico Digital

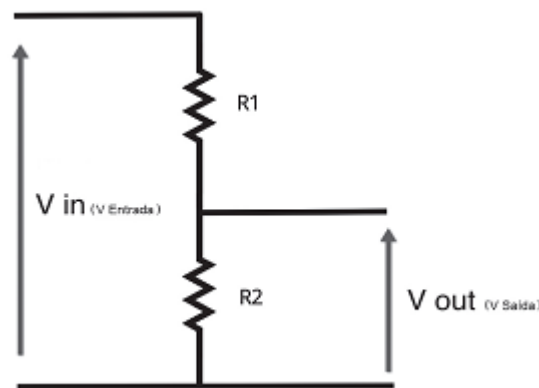
O Arduino tem seis entradas e saídas analógicas com um conversor analógico digital de 10 bits. O pino analógico pode ler voltagens entre 0 V e 5 V, na faixa de valores inteiros de 0 a 1023, onde o valor inteiro 0 representa o 0 V e o 1023 representa o 5 V. Isso mostra uma resolução de $5V / 1023$ unidades, ou 0,0049 V (4,9 mV) por unidade (MCROBERTS, 2011).

Para fazer a leitura dos dados analógicos e digitais, fazemos uso de algumas funções. Para ler o valor de um pino analógico, utilizamos o comando *analogRead*, e para escrita usamos *analogWrite*. Para leitura e escrita de dados nos pinos digitais, utilizamos as funções *digitalRead* e *digitalWrite*, respectivamente.

2.6.2 Divisor de tensão

O divisor de tensão também é conhecido como divisor de potencial. Utilizando dois resistores e passando a voltagem por um deles, podemos reduzir a voltagem que entra no circuito (MCROBERTS, 2011). No nosso caso, nós temos um resistor de valor fixo de 10 kΩ, e outro de valor variável que é o NTC, juntos eles fazem o divisor de tensão. A figura 13 mostra um exemplo de um divisor de tensão.

Figura 13: Divisor de tensão.



Fonte: McRoberts (2011).

A expressão para calcular a voltagem em V_{out} , quando medida em R2, é (MCROBERTS, 2011):

$$V_{out} = \frac{R2}{R2+R1} * V_{in} \quad \text{Equação 5}$$

Assim, se temos resistores de 100 Ω (ou 0,1 kΩ) para R1 e R2, e 5 V entrando em V_{in} , sua expressão é (MCROBERTS, 2011):

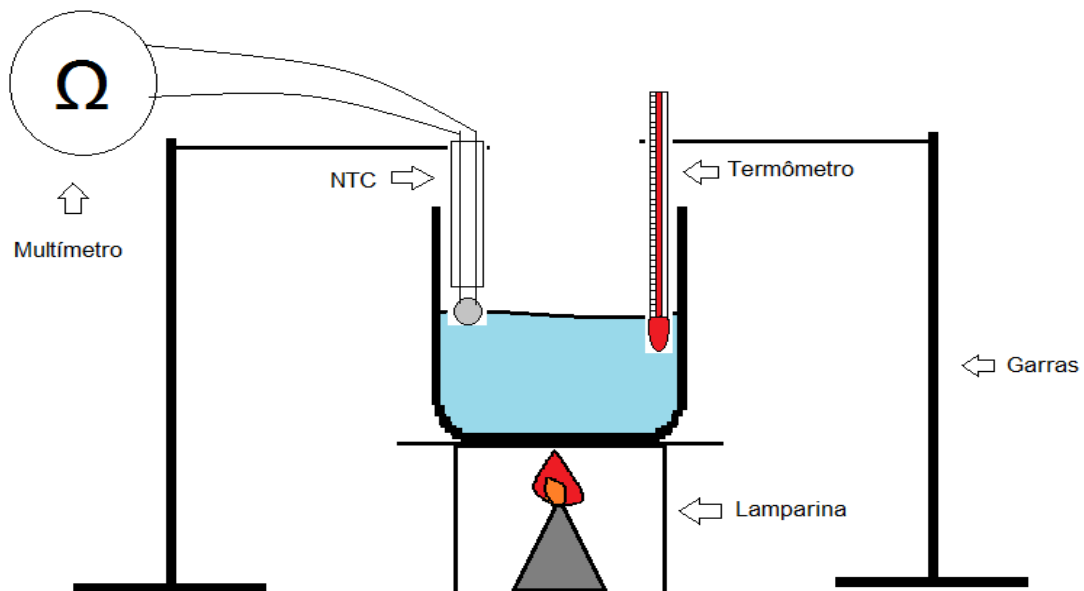
$$\frac{0,1}{0,1 + 0,1} * 5 = 2,5 \text{ V}$$

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CALIBRAÇÃO DO SENSOR DE TEMPERATURA NTC – ETAPA 1

Nesta primeira etapa iremos descrever todos os passos realizados para a obtenção dos dados de temperatura e resistência. Esses dados eram necessários de serem colhidos devido o NTC não vir calibrado de fábrica para mostrar a temperatura em graus Celsius, logo, como o NTC ele opera de acordo com a resistência e a temperatura, colhemos os seguintes dados para que desta forma ele pudesse fazer suas leituras corretamente e em graus Celsius. Na Figura 14 mostra como foi realizado o experimento.

Figura 14: Imagem representativa do experimento.



Fonte: Autoria própria

Como mostra a Figura 14, para a calibração do sensor NTC foram colhidos dados utilizando um multímetro (para a obtenção do valor da resistência) conectado ao NTC e um termômetro (para a obtenção do valor da temperatura) em graus centígrados. Neste, o termômetro e o NTC ficaram imersos na água a 20 °C inicialmente. Foi utilizada também uma lamparina de vidro com álcool, para aquecer a água, pois o propósito era obter informações sobre a resistência em função da temperatura. A temperatura da água foi aquecida até 80 °C. Os dados obtidos neste experimento serão utilizados para obtenção dos gráficos da razão entre temperatura e resistência que serão descritos na etapa 2. Uma imagem real do experimento pode ser vista na Figura 15.

Figura 15: Imagem real do experimento.

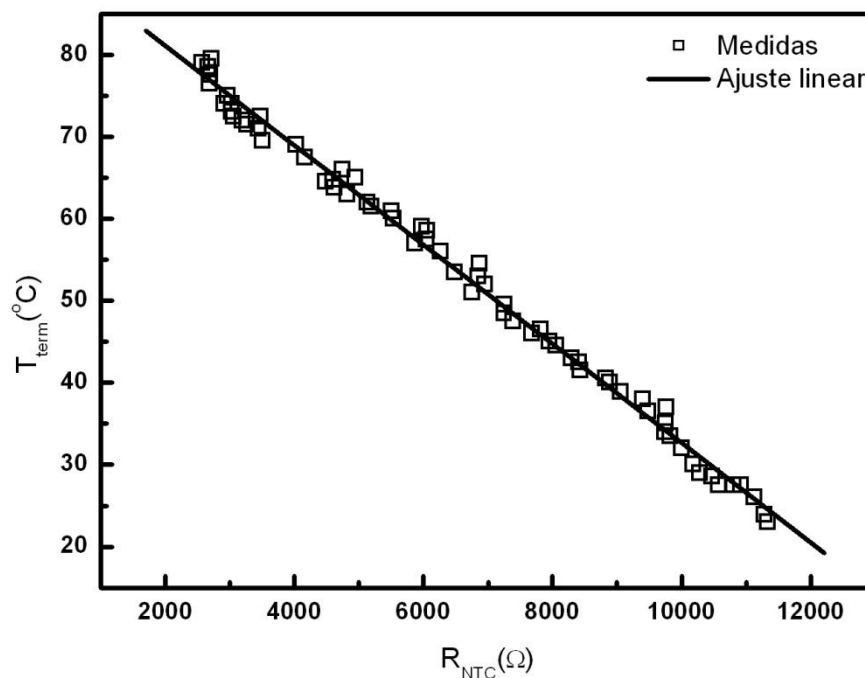


Fonte: Autoria própria

3.1.1 CALIBRAÇÃO DO SENSOR DE TEMPERATURA NTC – ETAPA 2

Com os dados de temperatura e resistência obtidos na etapa 1 do experimento, foi gerado o gráfico da Figura 16:

Figura 16: Gráfico da razão entre temperatura e resistência.



Fonte: Autoria própria

Como podemos ver no gráfico, o valor da resistência diminui com o aumento da temperatura, característica essa do NTC. Entretanto, o objetivo deste gráfico é de encontrarmos uma expressão para a temperatura, para assim podermos fazer com que o nosso sensor faça uma leitura correta da mesma.

Na subseção 2.5.2 deste trabalho, foi apresentada a expressão para calcular a voltagem de um divisor de tensão. Com base nesta mesma expressão iremos calcular a resistência do NTC (R_{NTC}), da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
V_s &= \frac{R_{NTC}}{R_{NTC} + R_2} * \mathcal{E} \\
(R_{NTC} + R_2)V_s &= R_{NTC}\mathcal{E} \\
V_s R_{NTC} + V_s R_2 &= R_{NTC}\mathcal{E} \\
V_s R_{NTC} - R_{NTC}\mathcal{E} &= -V_s R_2 \\
R_{NTC}(V_s - \mathcal{E}) &= -V_s R_2 \\
R_{NTC} &= \frac{-V_s R_2}{V_s - \mathcal{E}}
\end{aligned}$$

Equação 6

Encontramos a expressão (equação 6) que define a resistência do NTC. Agora igualamos com essa outra expressão:

$$R_1 = \alpha + \beta T$$

Equação 7

Onde α e β são os coeficientes do ajuste linear. É necessário igualar a equação 6 com a equação 7 para encontrarmos uma expressão para a temperatura, que é o que queremos determinar.

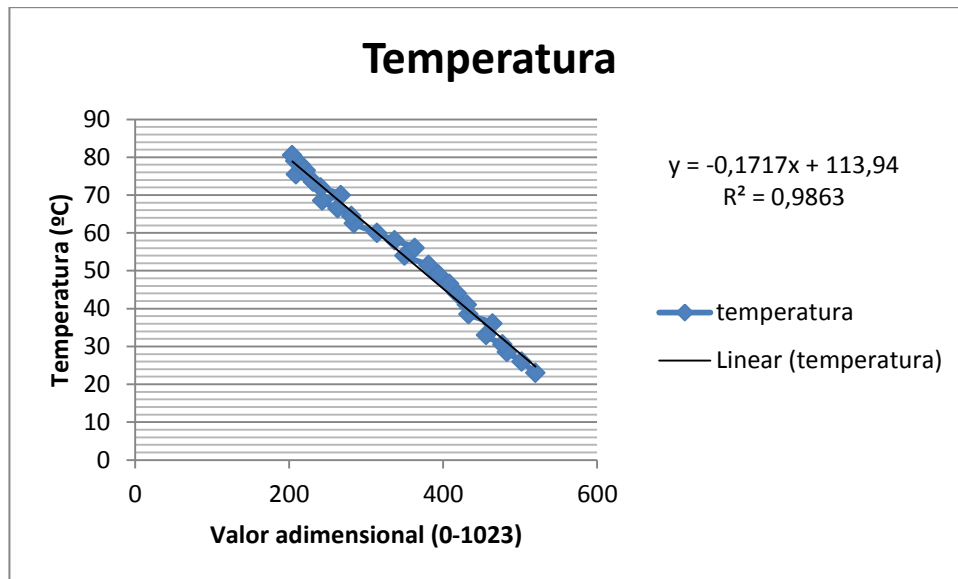
$$\begin{aligned}
\alpha + \beta T &= \frac{-V_s R_2}{V_s - \mathcal{E}} \\
\beta T &= \frac{-V_s R_2}{V_s - \mathcal{E}} - \alpha \\
T &= \frac{-V_s R_2}{\beta V_s - \mathcal{E}} - \frac{\alpha}{\beta}
\end{aligned}$$

Equação 8

Sendo assim, com esta expressão (equação 8) podemos calcular a temperatura através do NTC.

Depois disso, fizemos uma segunda calibração para o NTC, para fazermos uma melhor análise dos dados de calibração. Desta vez, colhemos os dados do valor adimensional lido pelo NTC e da temperatura do termômetro. Na figura 17 podemos ver o gráfico da segunda calibração.

Figura 17: Gráfico da razão entre temperatura e do valor adimensional do NTC.



Fonte: Autoria própria.

Como podemos ver na Figura 17, temos uma equação que foi gerada pelo analisador gráfico, e utilizamos a mesma para fazermos uma nova leitura da temperatura através do NTC.

3.3 CALIBRAÇÃO DO SENSOR DE TEMPERATURA LM35

Como já abordado no capítulo 2 deste trabalho, o LM35 não precisa de calibração, pois ele já vem calibrado de fábrica. Ele possui uma saída de 10 mV para cada grau Celsius de temperatura, desta forma, chegamos a seguinte expressão para a temperatura a partir de algumas conclusões: Se 10 mV está para 1°C, e V (tensão) está para T, logo:

$$10\text{mV } T = V \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T = \frac{V}{10\text{mV}} \text{ } ^\circ\text{C}$$

Equação 9

Portanto, com esta expressão (equação 9) podemos calcular a temperatura do sensor LM35.

3.4 EXPERIMENTO DE COMPARAÇÃO

Foi realizado este experimento de comparação para sabermos qual dos dois sensores, NTC ou LM35, realizou a leitura mais próxima da leitura do termômetro, para que com isso termos a certeza de qual dos dois realizou a leitura mais precisa.

Colocamos o sensor NTC, para fazer a leitura da temperatura do ambiente juntamente com o termômetro por um determinado tempo, e analisamos o seu comportamento em relação às leituras feitas. Depois, colocamos o LM35 e o termômetro para fazer a leitura da temperatura do ambiente, para que com isso termos como analisar qual dos dois fez a leitura mais precisa.

Os sensores estavam conectados na plataforma de prototipagem Arduino, e através do seu *software* de desenvolvimento, o Arduino IDE, foi desenvolvido um programa para fazer estas leituras de temperatura, tanto do NTC quanto do LM35.

4. ANÁLISE E RESULTADOS

Neste capítulo apresentam-se os resultados obtidos dos experimentos realizados com os sensores de temperatura. Também será apresentado o código fonte do programa usado para a medição de temperatura.

4.1 CÓDIGO FONTE

O seguinte código fonte foi desenvolvido através da IDE padrão do Arduino. A seguir, será apresentado o código e explicações do mesmo.

```

1 #define pinoNTC 0
2 #define pinoLM 1
3 const float a = -0.1717;
4 const float b = 113.94;
5 const int start = 1000; //define o tempo inicial para contagem
6 const int intervalo = 3000; //define o intervalo entre leituras
7 unsigned long tempo;
8 float ntc;
9 float lm35;
10 float t_ntc;
11 float t_lm;
12 float hora;

```

A diretiva *#define* define um valor e o seu *token* correspondente. Os valores da variável *a* e *b* (linha 3 e 4) são os valores dos coeficientes do ajuste linear gerados pelo analisador gráfico. As outras diretivas foram utilizadas apenas para definir variáveis.

```

13 void setup() {
14   Serial.begin(9600);
15   pinMode(pinoLM, INPUT);
16   pinMode(pinoNTC, INPUT);
17 }

18 void loop() {
19   tempo = millis();
20   if (tempo >= start) {

```

```

21 ntc = analogRead(pinoNTC);
22 lm35 = analogRead(pinoLM);
23 Serial.print("NTC = ");
24 Serial.print(ntc);
25 Serial.print(" ");
26 Serial.print("LM35 = ");
27 Serial.print(lm35);
28 Serial.println(" ");

```

Todo programa do Arduino precisa ter a função *setup()* (linha 13) e *loop()* (linha 18). A função *setup()* define instruções gerais, como a taxa de transmissão serial e os modos de operação dos pinos (Entrada/Saída). A instrução *pinMode* (linha 15 e 16), define o pinoLM e o pinoNTC como pinos de entrada.

A função *loop()* é a função principal que fica executando repetidamente enquanto o Arduino estiver em funcionamento. Durante sua execução realizamos a leitura do pinoNTC e pinoLM e imprimimos os resultados em um monitor serial, presente na IDE do Arduino.

```

29 // calculo do NTC
30 t_ntc = -0.1717 * ntc + 113.94;
31 Serial.print("Temperatura NTC: ");
32 Serial.print(t_ntc);
33 Serial.println(" ");

```

Neste código (linha 30 a 33) fizemos o cálculo para a leitura da temperatura do NTC. Na linha 30 é realizado o cálculo utilizando os coeficientes do ajuste linear, e o resultado é salvo na variável *t_ntc*. Nas linhas 31, 32 e 33, temos uma função responsável por imprimir na tela *strings* e valores.

```

34 // cálculo do LM35
35 t_lm = lm35*0.4887;
36 Serial.print("Temperatura LM35: ");
37 Serial.println(t_lm);

```

E neste código (linha 35 a 37) fizemos o cálculo da leitura da temperatura do LM35. Na linha 35 é feito o cálculo e salvo na variável *t_lm*.

```

38 hora = tempo - start; //Desconta o tempo inicial
39 hora = hora/1000.0f; //Mostra o tempo em segundos.
40 Serial.print(" ");
41 Serial.print("Tempo = ");

```

```
42 Serial.println(hora);  
43 delay(intervalo);
```

Aqui mostra o tempo em segundos de cada leitura, e existe um intervalo entre uma leitura e outra, definida pela diretiva *delay()* (linha 43).

4.2 RESULTADOS

Como descrito no tópico 3.2 deste trabalho, fizemos diversas calibrações para uma melhor análise dos dados. Na primeira calibração, analisamos todos os dados e geramos um gráfico *Temperatura x Resistência*, e a partir deste obtivemos uma equação para o cálculo da temperatura do NTC. Feito isso, fizemos a leitura da temperatura do termômetro e do NTC e as observamos. As leituras não foram satisfatórias, tendo em vista que os valores variaram muito, sendo que o termômetro marcava 28 °C, e o NTC chegou a apresentar 24 °C. Depois disso, fizemos uma segunda calibração e analisamos as leituras realizadas, e obtivemos resultados melhores do que os da primeira calibração, porém ainda não aceitáveis.

Quando trocávamos de ambiente de teste, por exemplo, imerso dentro de um recipiente com água, o sensor apresentou valores incorretos de acordo com o termômetro. O NTC fazia as leituras parecidas com o termômetro por um tempo, mas durante as medições podíamos ver variações grandes na leitura, fazendo com que chegássemos à conclusão de que ele não se comportou de modo confiável quanto às leituras que fazia.

Da mesma forma, realizamos os testes com o sensor LM35 e obtivemos resultados mais satisfatórios do que o NTC. O LM35 se mostrou mais preciso em suas leituras, apresentando maior coerência de acordo com o termômetro. As suas leituras de temperatura tinham uma baixa variação, sempre se aproximando do termômetro, diferente do NTC que variava muito. O LM35 apresentava uma temperatura sempre variando entre 27 °C a 28 °C, enquanto a temperatura indicada pelo termômetro estava a 28°C, ou seja, apresentava valores bem próximos à realidade.

5. CONCLUSÕES

Objetivou-se neste trabalho, um estudo comparativo entre os sensores de temperatura NTC e LM35 utilizando o ambiente de prototipagem Arduino, para pesquisar qual dos dois sensores é o melhor indicado para medições de temperatura de um ambiente de acordo com os experimentos propostos.

Como os dois sensores citados possuem intervalos de temperatura condizentes com a temperatura-ambiente, com leituras suportadas entre 0 e 100 graus Celsius, optou-se pela escolha destes dois modelos. Sensores como termopares, indicados para ambientes com altas temperaturas, acima de 1.000°, não foram considerados.

Os dois modelos pesquisados possuem baixo custo, são leves, pequenos e de fácil manuseio e utilização. Possuem poucos pinos e contém manuais na literatura com a descrição dos pinos e modos de funcionamento. São modelos ideais para serem utilizados com o Arduino, por este se tratar também de um modelo de baixo custo, voltado para experimentos científicos e industriais.

Vimos de acordo com os resultados obtidos que o LM35 obteve um melhor desempenho do que o NTC, sempre com sua leitura de temperatura próxima da leitura do termômetro, considerado como medida de referência nas medições efetuadas. Tal diferença pode ser explicada em virtude das características físicas dos dispositivos: enquanto o LM35 não necessita de uma calibração externa, este procedimento é necessário no NTC. Como descrito nos capítulos anteriores, foram realizadas várias calibrações, todas em um mesmo ambiente, horário e condições climáticas. Para cada tentativa de calibração, os resultados adquiridos do processo indicaram valores diferentes, o que alterou o gráfico *temperatura x resistência* obtido do sensor e resultando em diferentes coeficientes na equação que rege sua calibração.

Dessa forma, para cada par de coeficientes gerados nas equações de calibração, foram realizadas as medidas com o Arduino e o termômetro. Como era de se esperar, todos os resultados obtidos foram diferentes, com erros de 1 a 6 graus entre o NTC e o termômetro. Na melhor tentativa, houveram erros de apenas 1 grau durante o processo de aquecimento da água e aumento de temperatura, mas à medida que o sensor esfriava, a diferença entre os valores obtidos e os valores reais aumentava.

Também houve uma diferença considerável de medida com o NTC ao ar livre e o NTC imerso em um béquer com água.

Tomando como fato a característica do LM35 de realizar medições constantes de temperatura, sempre próximos aos valores reais comparando-se com um termômetro, mesmo com tempo de resposta superior ao termistor NTC, conclui-se que o LM35 deve ser o sensor de temperatura indicado para uso com o Arduino para ambientes com variação de 0 a 100° devido à sua alta confiabilidade.

TRABALHOS FUTUROS

Não se pode realizar uma afirmação apenas com as medidas efetuadas, pois seriam necessários meses de testes e um uso de diferentes modelos de sensores NTC para comprovar que a alteração de um ambiente (seco, imerso n'água) altera o comportamento de um sensor NTC. Como trabalhos futuros, sugere-se que o estudo do NTC seja alvo de estudos de iniciação científica, para um maior aprofundamento de pesquisa e coleta de dados.

A gama de utilização de sensores LM35 e NTC é imensa. Também se sugerem mais práticas utilizando o Arduino, com a presença de sensores e atuadores para que possa haver uma completa interação do sistema digital com o ambiente físico, visto que todas as entradas e saídas que tratam de grandezas físicas são analógicas. Desta forma, poderão ser criados modelos de experimentos que efetuem os conceitos da computação física.

REFERÊNCIAS

ABREU, M. C.; Matias, L.; Peralta, L. F. *Física Experimental – Uma introdução*, Editorial Presença, 1994.

ADD-THERM. *Sensores Analógicos IC's – LM35*. Disponível em: <<http://www.addtherm.com.br/wp-content/uploads/2013/05/A74-Sensores-Analogicos-LM35-ADD.pdf>> Acesso em: 07 jan. 2014.

ADD-THERM. *Sensores de temperatura – Vantagens e Desvantagens*. Disponível em: <<http://www.addtherm.com.br/wpcontent/uploads/2011/09/Compara%C3%A7%C3%A3o-de-Sensores-ADD2.pdf>> Acesso em: 07 jan. 2014.

ADD-THERM. *Sensores de Temperatura NTC*. Disponível em: <<http://www.addtherm.com.br/wp-content/uploads/2013/06/Introducao-Sensores-NTC.pdf>> Acesso em: 03 jan. 2014.

ANACLETO, A. M. C. *Temperatura e sua medição*. Disponível em: <http://www.fc.up.pt/fcup/contactos/teses/t_000355002.pdf> Acesso em: 10 dez. 2013.

ARDUINO WEBSITE <<http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>> Acesso em: 13 fev. 2014.

ARDUINO WEBSITE <<http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>> Acesso em: 13 fev. 2014.

DEUS, J. D.; Pimenta, M.; Noronha, A.; Peña, T.; Brogueira, P. *Introdução à Física*, 2ª ed., McGraw-Hill, Lisboa, 2000.

HAAG, R.; Oliveira, L. M.; Veit, E. A. *Coleta automática e interpretação de dados em um laboratório didático de termologia*. Disponível em:

<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/producao/XVSNEF/XVSNEF_temperatura_HaagOliveiraVeit.pdf> Acesso em: 08 fev. 2014.

JUNIOR, P. A. G. *Sistema computacional de monitoramento e controle de temperatura*. Curitiba, 2007.

MARTINEZ, B. *Termistores – NTC*. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/edu/Sensores/2000/brenno/index.html>> Acesso em: 03 jan. 2014.

MCROBERTS, M. *Arduino Básico*, Novatec Editora, São Paulo, 2011.

NAKAMURA, M. S.; Li, R. W. C.; Gruber, J. *LM35: Um sensor de temperatura de precisão. Projeto e construção de uma termômetro digital multicanal*. Química Nova, Instituto de Química – USP, São Paulo, 1996.

NATIONAL SEMICONDUCTOR. *LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors*. Disponível em: <<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheetpdf/view/8866/NSC/LM35.html>> Acesso em: 05 jan. 2014.

SHIGUE, C. Y. *Sensores de temperatura*. Disponível em: <http://www.demar.eel.usp.br/eletronica/aulas/Sensores_de_temperatura.pdf> Acesso em: 03 jan. 2014.

SILVA, F. F. *Temperatura*. Disponível em: <<http://www.trabalhosfeitos.com/ensaios/Temperatura/45586858.html>> Acesso em: 17 jan. 2014.

SMITH, J. M.; Van Ness, H. C.; Abbott, M. M. *Introdução à Termodinâmica da Engenharia Química*, 7ª edição, Editora LTC, Rio de Janeiro, 2011.

STEFFENS, César A. *O funcionamento e uso de alguns sensores*. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/mpef/mef004/20061/Cesar/>> Acesso em: 05 de Agosto, 2013.

TEXAS INSTRUMENTS. *LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors*. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>> Acesso em: 07 jan. 2014.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. *Sensores Industriais – Fundamentos e Aplicações*. 1ª edição, Editora Érica, São Paulo, 2005.