

UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

GUSTAVO DA SILVA MAFRA

RELATÓRIO TERMÔMETRO COM LM35

Itajaí,

2022

GUSTAVO DA SILVA MAFRA

RELATÓRIO TERMÔMETRO COM LM35

Relatório para a obtenção das notas da M3
da disciplina de Eletrônica Aplicada, curso
de Engenharia de Computação da
Universidade do Vale do Itajaí – Escola do
Mar, Ciência e Tecnologia.
Professor: Walter Antônio Gontijo

Itajaí,

2022

Sumário

1	Introdução	4
1.1	Visão geral	4
2	Diagrama de blocos do projeto	5
3	Descrição dos componentes	6
3.1	Sensor de temperatura LM35	6
3.2	AMP-OP LM358	7
3.3	Arduino UNO	8
3.4	Buzzer	9
3.5	Display de 7 segmentos	10
4	Desenvolvimento	11
4.1	Esquemático do circuito	11
4.2	Funcionamento	12
4.3	Cálculos	13
4.4	Simulação	15
4.5	Prototipação física	16
4.6	Comparativo	17
5	Conclusão	21

1 Introdução

Esse relatório irá exemplificar o funcionamento do circuito desenvolvido para obtenção da terceira média da disciplina de eletrônica aplicada.

1.1 Visão geral

O propósito desse trabalho é desenvolver um termômetro utilizando do sensor de temperatura LM35, utilizando da plataforma de prototipagem Arduino UNO para realizar o demonstrativo da temperatura medida utilizando de um display de 7 segmentos. Dessa forma, o valor captado pelo sensor é lido por uma porta analógica do Arduino que faz o processamento do dado e prepara o mesmo para o display.

Entretanto, o valor obtido pelo sensor pode variar de uma forma muito pequena, sendo ela 10 mV por grau Celsius, tornando dessa forma a leitura pela porta analógica muito imprecisa, visto que a mesma capta dados entre 0 e 2,5V, dessa forma foi necessário atribuir um ganho para o valor obtido pelo sensor, sendo esse dado por AMP-OP não inversor com ganho de 1,5. Porém, ao utilizar desse ganho o valor de temperatura máxima e mínima precisaram ser definidos, delimitando o potencial do circuito considerando que o sensor poderia captar valores acima dessa delimitação, com isso o circuito pode medir temperaturas entre 0 e 50 graus Celsius, sendo assim é possível utilizar o mesmo para captação de temperatura em ambientes onde a temperatura não exceda esses limites.

Visto a delimitação proposta, o trabalho foi testado como um sensor de temperatura corporal, levando em conta que a média da temperatura do corpo humano fica entre 35 até 41 graus, sendo que uma temperatura acima de 37,8 graus é considerado como febre, dessa forma o circuito conta com um Buzzer para informar que a temperatura excedeu algum limite proposto no código fonte, para vias de teste foi utilizado a temperatura de 37,8 graus, simulando dessa forma um “alarme” para que o usuário saiba que ele está com febre.

2 Diagrama de blocos do projeto

Para obter um entendimento geral do funcionamento do circuito, um diagrama de blocos do projeto foi desenvolvido, levando em conta cada parte do circuito utilizado. Assim, é possível visualizar a parte de sensoriamento, amplificação, tratamento de dados e pôr fim a demonstração dos resultados, sendo os dados por áudio (Buzzer) e ou visualmente (Display 7 segmentos).

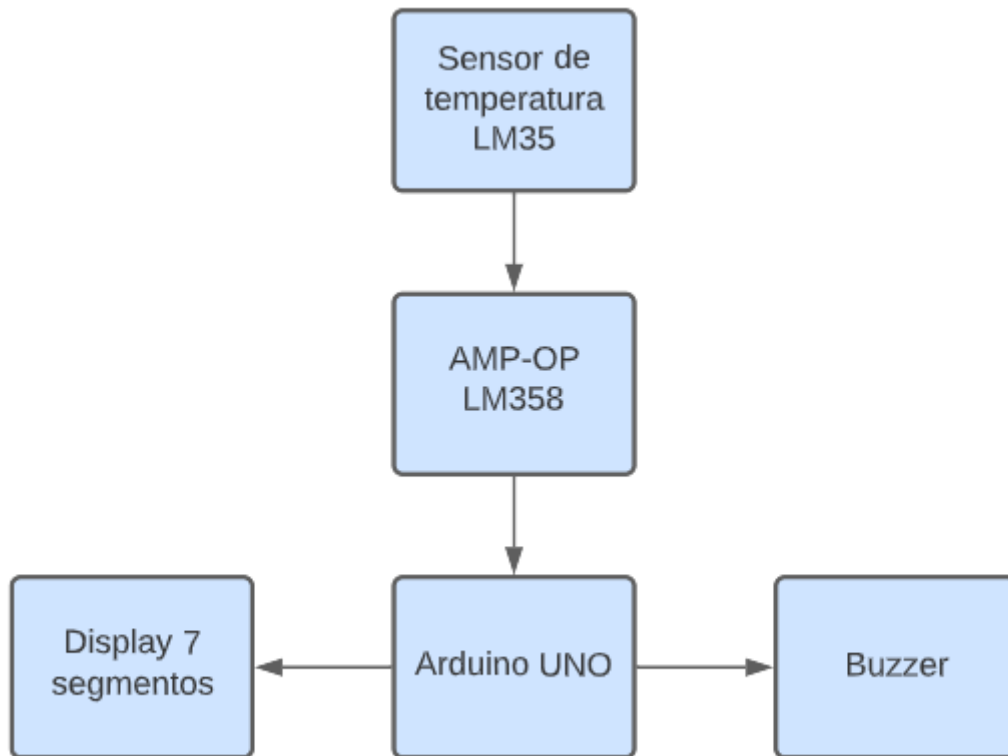


Figura 01 – Diagrama de blocos dos componentes utilizados no projeto

3 Descrição dos componentes

Nesta sessão será descrito o funcionamento de cada componente presente no circuito, especificando seu funcionamento interno, como tensão de utilização, corrente, explicação de funcionamento e aplicação no circuito.

3.1 Sensor de temperatura LM35

A série LM35 é circuito integrado preciso para leitura de temperatura, onde sua saída de tensão é proporcional a temperatura ambiente em Celsius. A vantagem em utilizar esse sensor contra outros sensores encontrados no mercado que tem sua saída em Kelvin, é praticidade do cálculo para obter a temperatura, visto que não é necessário a conversão de sua grandeza. O circuito possui um alcance de -55 até +150 graus Celsius, dessa forma a cada grau celsius sua saída aumenta 10mV. Para alimentar esse sensor, deve ser utilizado uma tensão 4 Volts até 30 Volts, além disso o componente utiliza menos de 60 uA da corrente no circuito, com uma impedância de 0,1 Ohm para cada 1 mA de carga.

Dessa forma, neste trabalho o LM35 foi alimentado com 5 V obtidos da saída de tensão do Arduino, aterrando o mesmo na porta GND do microcontrolador e utilizando da sua saída no AMP-OP, a disposição das suas entradas pode ser vista na figura 02, além da função tensão por graus Celsius.

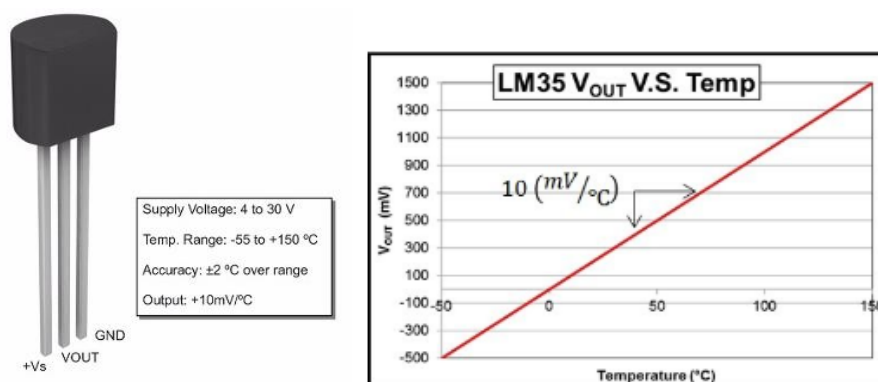


Figura 02 – LM35 visão do dispositivo e sua função de saída por temperatura

Com sua proporção linear, o LM35 é de fácil utilização para circuitos utilizando Microcontrolador, porém o range será muito curto devido principalmente sua baixa variação por graus Celsius. Assim, várias técnicas são utilizadas para mitigar esse problema, neste trabalho utilizaremos da solução que utiliza de um circuito de interface, usando de AMP-OP pra gerar um ganho na saída desse sensor.

3.2 AMP-OP LM358

O amplificador operacional LM358 é um dos AMP-OPs mais comuns em aplicações de baixa tensão DC e também em aplicações de baixa frequência em AC. Pode operar entre tensões de 32 V em alimentação única e em alimentação dividida entre mais e menos 16 V, além de suportar temperaturas entre 0 até 70 graus Celsius, o que permite que o mesmo trabalhe na mesma faixa proposta para o sensor. Tem como ganho máximo 200000 definido pelo fabricante, suas portas são definidas na estrutura demonstrada na figura 03, sendo que o mesmo possui duas saídas de comparação.

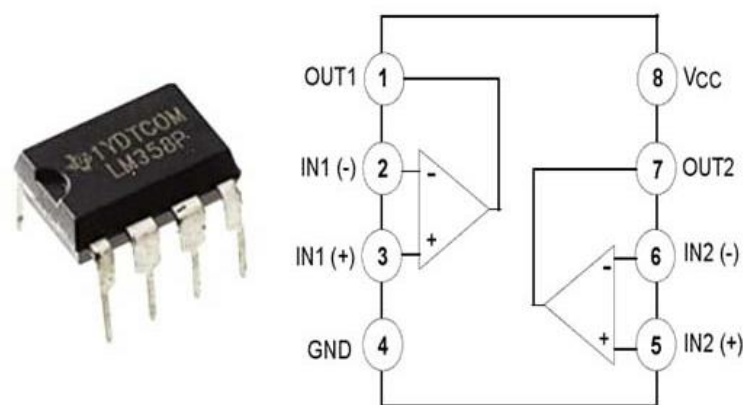


Figura 03 – LM358 visão do dispositivo e suas entradas

Um dos motivos da escolha do LM358 é sua característica de excursionar sua tensão de saída, sem a necessidade do uso de fontes simétricas, dessa forma é possível medir temperaturas até 0 graus Celsius. Além disso, ele poderá funcionar com a alimentação do microcontrolador em 5V, possibilitando uma saída de tensão de 0V até 5V dependendo da entrada posta em sua entrada, nessa aplicação o LM358 será utilizado como amplificador não inversor, configurando dessa forma nosso circuito de interface.

3.3 Arduino UNO

Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica muito versátil e amplamente utilizada. Os comandos recebidos pelos programas inseridos no Arduino, são feitos por um microcontrolador, que é o cérebro da placa, responsável por executar os programas e avaliar a qualidade das portas de entrada e saída, nomeadas de E/S ou I/O (Input/Output), são por esses canais que a placa se comunica com o mundo externo, enviando e recebendo informações de sensores, displays e módulos.

A placa utilizada neste projeto será a UNO que possui como microcontrolador o chip ATmega328 visto na figura 04, com clock de 16MHz, 14 pinos de I/O, sendo 6 analógicos e 6 com função PWM (Pulse Width Modulation). A placa Uno tem 32KB de memória flash, onde são armazenados os programas. A conexão com o computador usa um cabo USB A/B, o mesmo utilizado em impressoras USB, podendo ser alimentado com uma fonte externa chaveada de 7 a 12 VDC.

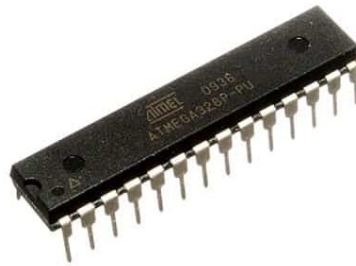


Figura 04 - Microcontrolador ATmega328 da placa Arduino UNO

Para obter os dados do circuito de interface, é utilizado das entradas analógicas do Arduino, ou seja, seu conversor A/D. Dessa forma, como o conversor A/D do ATmega328 possui 10 bits de resolução, para convertermos o valor obtido precisamos de um V_{ref} que na aplicação em questão usaremos 100, dessa forma temos a seguinte fórmula para obtenção do dado A/D.

$$ADC = \frac{V_{IN} \cdot 1024}{V_{REF}}$$

Figura 05 – Fórmula A/D para conversão do valor lido na porta analógica

3.4 Buzzer

O Buzzer é um componente eletrônico que baseia seu funcionamento no efeito piezoelétrico reverso. O mesmo funciona a partir de uma diferença de potencial aplicada que gera uma deformação mecânica variável, produzindo assim uma onda sonora.

No caso do Buzzer, aplica-se uma tensão nos seus terminais com uma determinada frequência e a célula piezoelétrica dentro do componente irá vibrar na mesma frequência produzindo um som. Sabendo disso, podemos produzir diversas melodias e até reproduzir uma música utilizando tal componente. O circuito proposto conta com um Buzzer para informar ao usuário uma temperatura elevada, reproduzindo um som de alerta ao mesmo.

O Buzzer consegue operar em uma faixa de tensão de 4 até 8 Volts e sua corrente pode ser de até 30 mA, conseguindo operar em uma temperatura ambiente de -25 até 80 graus Celsius, suportando dessa forma as temperaturas propostas ao circuito. Para evitar problemas, um resistor de 220 Ohms deve ser utilizado para uma fonte de 5 V alimentando o Buzzer, ficando dessa forma com uma corrente de 23 mA.



Figura 06 – Buzzer ativo utilizado no escopo do trabalho

3.5 Display de 7 segmentos

Com esse componente, é possível formar os caracteres decimais de 0 a 9, hexadecimais de A à F, e algumas letras do alfabeto latino. O display é formado pelo arranjo de LEDs (diodos emissores de luz) em um invólucro apropriado, acessíveis individualmente, que formam os segmentos (cada LED é um segmento), que podem ser controlados (acesos ou apagados) de modo a formar o caractere desejado. Uma das grandes vantagens que existem na utilização de um display de LEDs de 7 segmentos é a simplicidade de seu funcionamento e implementação em um circuito, além de seu custo, geralmente mais baixo do que o de um display LCD.

Existem dois tipos de displays de sete segmentos, classificados de acordo com a forma como são conectados: Catodo comum e Anodo comum, neste trabalho será utilizado de displays catodo comum. Em um display de Catodo Comum os catodos de todos os LEDs (segmentos) são conectados juntos ao terra. Ele é acionado por nível lógico alto em cada segmento. Na figura a seguir podemos observar as conexões e pinagem de um display de LED de catodo comum:

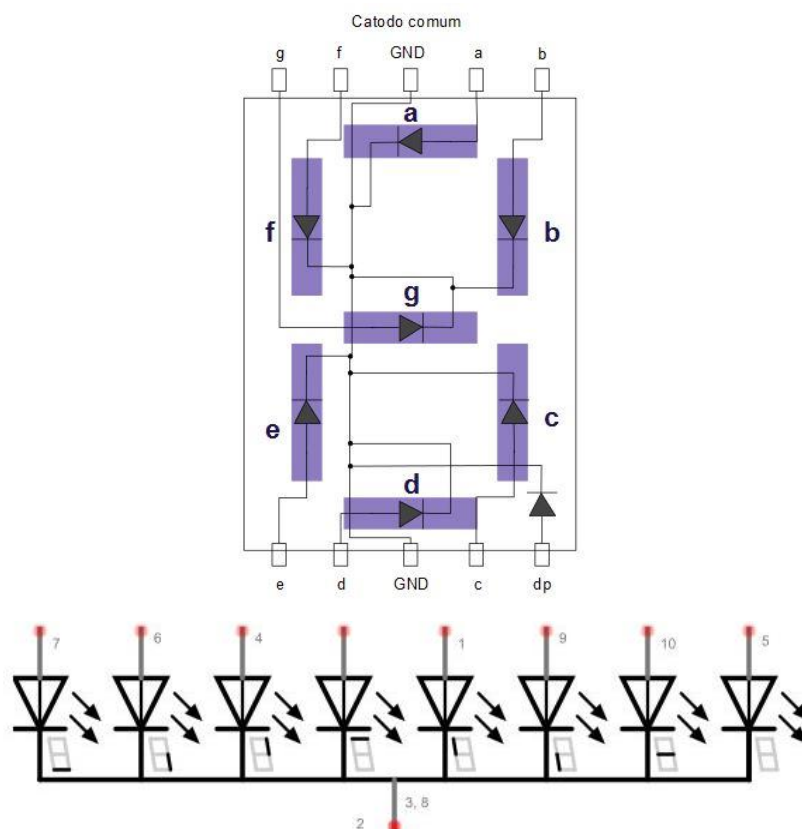


Figura 07 – Disposição das portas de um display de 7 segmentos do tipo catodo comum

4 Desenvolvimento

No tópico de desenvolvimento será abordado sobre o esquemático do circuito, o funcionamento de cada componente e parte do circuito, além de detalhar os cálculos, simulação e medições de grandezas do circuito. Por fim, será apresentado o código em C desenvolvido para o Arduino.

4.1 Esquemático do circuito

Nesta sessão será apresentado o esquemático completo do circuito, desenvolvido no ambiente de simulação do software Proteus. Demonstrando o funcionamento do circuito completo, com todos os componentes antes descritos neste trabalho.

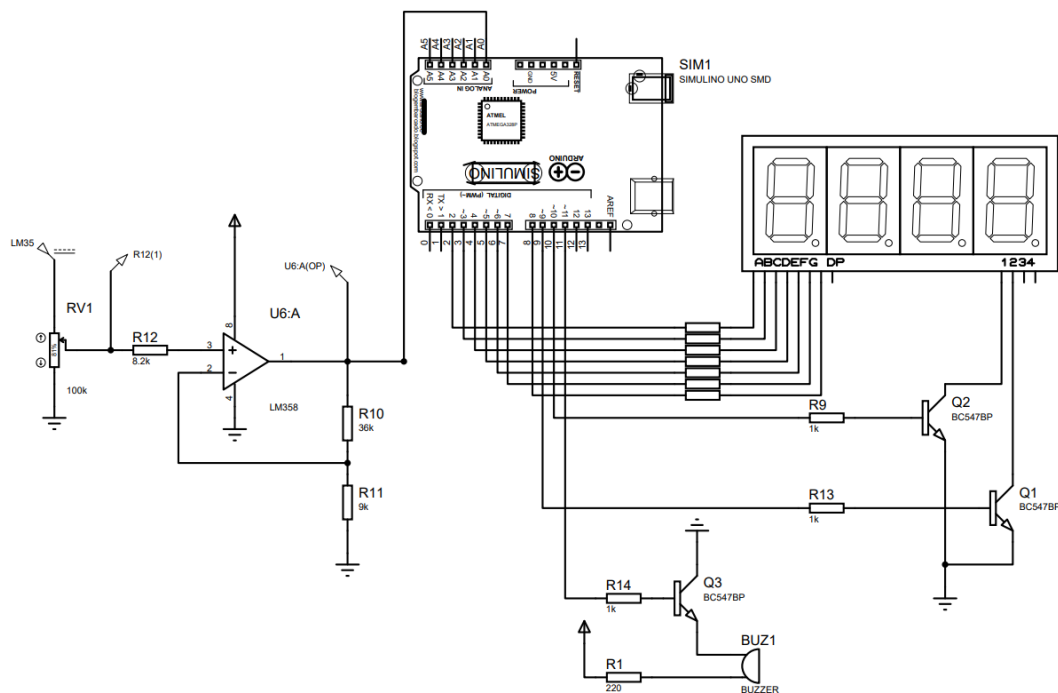


Figura 08 – Esquemático do circuito desenvolvido

Dessa forma, na figura 08 é possível ter a compreensão da junção dos componentes antes descritos, como o componente LM35 não foi encontrado no ambiente Proteus, como forma de simular seu funcionamento foi utilizado de uma fonte com um potenciômetro, regulando dessa forma uma tensão entre 0 a 500 mV, que seria o limite de temperatura proposto pelo circuito.

Na figura 09 temos o demonstrativo do circuito de interface, que será a parte do circuito a ser mais abordada nos itens seguintes.

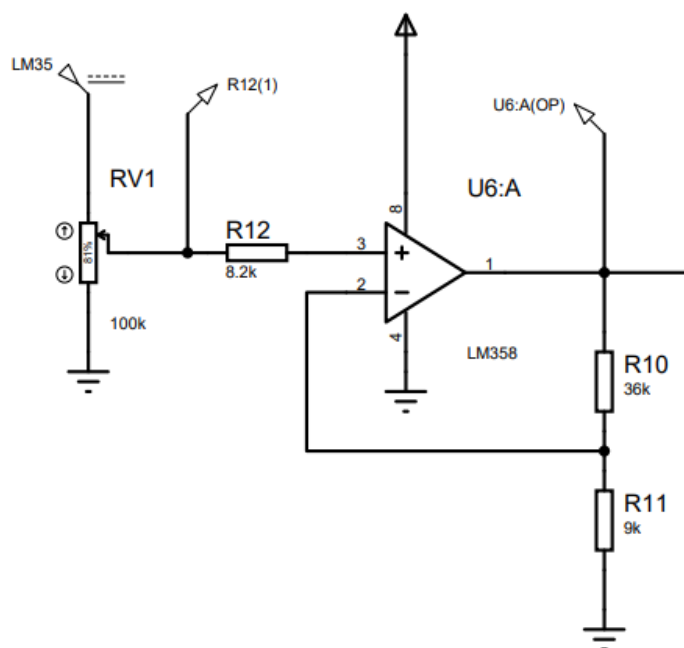


Figura 09 – Circuito de interface

4.2 Funcionamento

Para melhorar a leitura do LM35 no meio que é inserido, um circuito de interface pode ser utilizado para que a variação dada pelo sensor seja aumentada, visto que, as entradas analógicas em microcontroladores precisaram ler essa diferença para demonstrar com precisão a temperatura do meio. Assim, aplicando um ganho a esse valor, utilizando de um AMP-OP não inversor, podemos aumentar a tensão dependendo do valor lido, facilitando dessa forma a leitura na porta analógica.

Entretanto, utilizando desse meio o circuito proposto foi delimitado a uma leitura de 0 até 50 graus Celsius, visto que o ganho definido no AMP-OP foi de cinco, dessa forma uma leitura no sensor de 50 graus resultaria em uma tensão de saída de 500mV, que ao receber um ganho de cinco, chega na casa de 2,5V que é o limite da leitura no sensor analógico, ou seja, valores de temperatura superiores a 50 graus serão considerados como 50 na conversão analógica do microcontrolador.

Para realizar o ganho proposto, no projeto foi considerado um resistor de 36K e um de 9K Ohms, visto que se trata de uma modelagem não inversora, o ganho do circuito é a divisão de ambos somado um, que nesse caso chega na casa de cinco. O circuito pode excursionar de zero, que seria o ground, até cerca de 5 V, entretanto como o AMP-OP

não tem a capacidade de excursionar até o valor alimentado, esperasse ver tensões abaixo da alimentação, entretanto para o projeto não é necessário que ele chegue até os 5 Volts, apenas é necessário que seja maior que 2,5 Volts.

Após o circuito de interface, o valor é lido na porta A0 do Arduino, e após ser processado pelo código desenvolvido, é realizada uma lógica para verificar se a temperatura está mais elevada do que a temperatura proposta, caso esteja o Buzzer é acionado e desacoimado, gerando dessa forma um som de alerta para o usuário, além disso é realizada a multiplexação do display com o valor da temperatura lida.

4.3 Cálculos

Nesta sessão serão apresentados os cálculos feitos para o desenvolvimento correto do circuito, sendo eles destinados a parte de interface do circuito e da carga, mais especificadamente do Buzzer.

AMP-OP

Para calcular o ganho do circuito a seguinte expressão foi utilizada, considerando um AMP-OP não inversor:

$$G = \frac{R_F}{R_1} + 1$$

Visto que o ganho precisava ser de 5, a razão entre R_F e R_1 precisava ser igual a 4, dessa forma os seguintes valores foram utilizados:

$$R_F = 36K\Omega$$

$$R_1 = 9K\Omega$$

Com a indisponibilidade de um resistor de 9K comercialmente, no projeto foi utilizado de dois resistores de 18k, visto que:

$$R_1 = \frac{18K * 18k}{18k + 18k} = 9K$$

Assim, a tensão de saída VO é dada pela seguinte equação:

$$VO = (V_+ - V_-) * G$$

$$VO = VI * G$$

Considerando então uma tensão de 20 graus Celsius, nossa entrada Vi seria igual a saída do sensor para essa temperatura, que nesse caso seria 200 mV, obtendo assim na saída do AMP-OP a seguinte tensão:

$$VO = VI * G$$

$$VO = 200m * 5 = 1V$$

Buzzer

Considerando a necessidade de alimentar o Buzzer com uma corrente inferior a 30 mA, e a alimentação de 5V no Buzzer um resistor teve que ser aplicado para conter a corrente e prevenir futuros defeitos no componente, dessa forma o seguinte cálculo foi feito para definir o resistor:

$$V = R * i$$

$$I \leq 30mA$$

$$I \geq \frac{V}{R}$$

$$30m \geq \frac{5}{R}$$

$$R \geq \frac{5}{30m}$$

$$R \geq 166 \Omega$$

Com isso, o resistor escolhido foi um resistor de 220 Ω , suprimindo dessa forma a necessidade de circuito, visto que a corrente fica em aproximadamente 23 mA.

Com os cálculos apresentados, o circuito proposto teve um funcionamento ideal no que tange a parte teórica, dessa forma a simulação foi montada para a verificação da validade dos cálculos.

4.4 Simulação

Para realizar a simulação do circuito foi utilizado do ambiente de simulação Proteus, onde utilizando de uma extensão de Arduino foi possível simular o funcionamento completo do circuito, alguns problemas com os transistores foram identificados, visto que ao utilizar da saída digital do Arduino o transistor não estava alterando sua fase de operação, dessa forma para multiplexar os displays foram utilizados de portas NOT.

Com isso os valores de tensão obtidos para diferentes temperaturas, levando em conta que o LM35 foi simulado utilizando de uma fonte de tensão de 500 mV e um potenciômetro para variar sua saída de tensão, gerando dessa forma o funcionamento parecido com o componente utilizado.

Grandezas / Temperatura	24	30	40
Tensão VO LM35	241 mV	301 mV	405 mV
Tensão de saída AMP-OP	1,21 V	1,51 V	2,04 V
Corrente Buzzer	22,7 mA	22,7 mA	22,7 mA

Com os valores obtidos em simulação, testes na prototipação podem ser realizado para verificar a validade dos dados obtidos, considerando as temperaturas propostas para teste.

4.5 Prototipação física

Com o funcionamento descrito anteriormente, a prototipação física foi desenvolvida para avaliar o funcionamento do circuito. Na figura 10 é possível ver o circuito montado na protoboard, e o Arduino conectado ao mesmo.

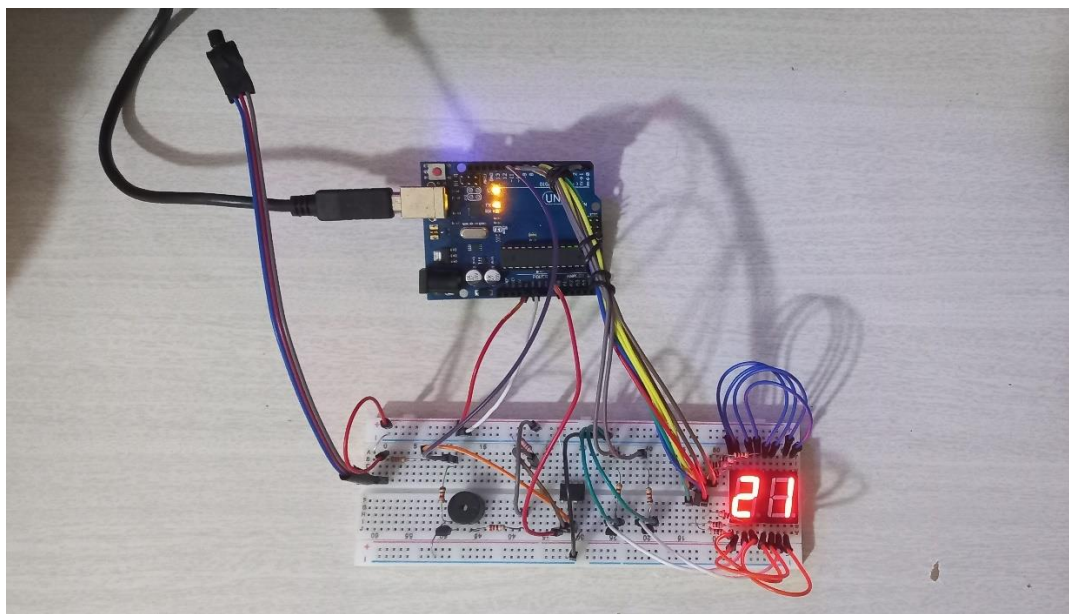


Figura 10 – Circuito protótipo

Diante disso, os valores medidos para cada temperatura no circuito são descritos abaixo em forma de tabela, para melhor compreensão dos dados avaliados.

Grandezas / Temperatura	24	30	40
Tensão VO LM35	240 mV	303 mV	391 mV
Tensão de saída AMP-OP	1,25 V	1,56 V	1,93 V
Corrente Buzzer	21,8 mA	21,8 mA	21,8 mA

4.6 Comparativo

Com os cálculos definidos, a simulação elaborada e a prototipação realizada, é possível elaborar uma tabela comparativa das grandezas escolhidas para medição, para dessa forma ter uma melhor compreensão do funcionamento do circuito em um todo. Nas tabelas abaixo é possível ver o comparativo obtido para cada temperatura proposta.

Considerando uma temperatura de 24 graus Celsius:

Grandezas	Teórico	Simulação	Protótipo
Tensão VO LM35	240 mV	241 mV	240 mV
Tensão de saída AMP-OP	1,2 V	1,21 V	1,25 V
Corrente Buzzer	22,7 mA	22,7 mA	21,8 mA

Considerando uma temperatura de 30 graus Celsius:

Grandezas	Teórico	Simulação	Protótipo
Tensão VO LM35	300 mV	301 mV	303 mV
Tensão de saída AMP-OP	1,5 V	1,51 V	1,56 V
Corrente Buzzer	22,7 mA	22,7 mA	21,8 mA

Considerando uma temperatura de 40 graus Celsius:

Grandezas	Teórico	Simulação	Protótipo
Tensão VO LM35	400 mV	405 mV	391 mV
Tensão de saída AMP-OP	2 V	2,04 V	1,93 V
Corrente Buzzer	22,7 mA	22,7 mA	21,8 mA

Com os comparativos apresentados, é possível notar uma pequena diferença nas tensões, entretanto, o desvio apresentado é aceitável, considerando as variações entre resistores reais, taxa de erro do sensor utilizado e outros fins.

4.7 Funcionamento do software

Para demonstrar o funcionamento do código, será apresentado partes importantes do funcionamento do código e posteriormente um fluxograma do mesmo. Primeiramente demonstrando a multiplexação utilizada, para utilizar de dois displays de 7 segmentos, dessa forma um dos displays é ativado enquanto o outro é desligado, no mesmo momento que é escrito na porta digital o valor a ser apresentado.

```
void Display(){
  if(displayActive == 9){
    displayActive = 10;
    digitalWrite(10, LOW);
    sevenSegWrite(count2);
    digitalWrite(9, HIGH);
  } else {
    displayActive = 9;
    digitalWrite(9, LOW);
    sevenSegWrite(count1);
    digitalWrite(10, HIGH);
  }
}
```

Para definir cada segmento do display, um laço de repetição é aplicado escrevendo na porta digital 1 ou 0 indicando assim LOW ou HIGH dependendo do número desejado, o qual é consultado em um vetor de 1 e 0 dependendo do dígito a ser escrito.

```
void sevenSegWrite(byte digit){
  byte pin = 2;
  for (byte segCount = 0; segCount < 7; ++segCount) {
    digitalWrite(pin, seven_seg_digits[digit][segCount]);
    ++pin;
  }
}
```

Por fim, no laço principal o valor do sensor é lido com a porta analógica e posteriormente é multiplicado por 100 e depois dividido por 1024, para realizar a conversão do valor lido em char na porta analógica. Com isso, o dado é dividido por 10 para pegar as dezenas do valor, e depois é feito a porcentagem de 10 para assim pegar as unidades, sendo elas o resto em uma divisão por 10. Além disso, é realizado uma comparação da temperatura lida com 38 graus Celsius, e caso essa temperatura seja maior ou igual a esse valor o Buzzer é acionado para informar ao usuário que a temperatura ultrapassou o limite proposto.

```
Void loop() {  
    unsigned long sensorValue = 0;  
    while(1){  
        //noInterrupts();  
        sensorValue = analogRead(A0);  
        Serial.println(sensorValue);  
        sensorValue *= 100;  
        sensorValue /= 1024;  
        if(sensorValue >= 38){  
            digitalWrite(11, HIGH);  
            delay(200);  
            digitalWrite(11, LOW);  
        }  
        Serial.println(sensorValue);  
  
        count1 = sensorValue/10;  
        count2 = sensorValue%10;  
        //interrupts();  
        delay(200);  
    }  
}
```

O fluxograma presente na figura 11, demonstra funcionamento do código em etapas para melhor compreensão do leitor, descrevendo as ações que o código executa no funcionamento do projeto.

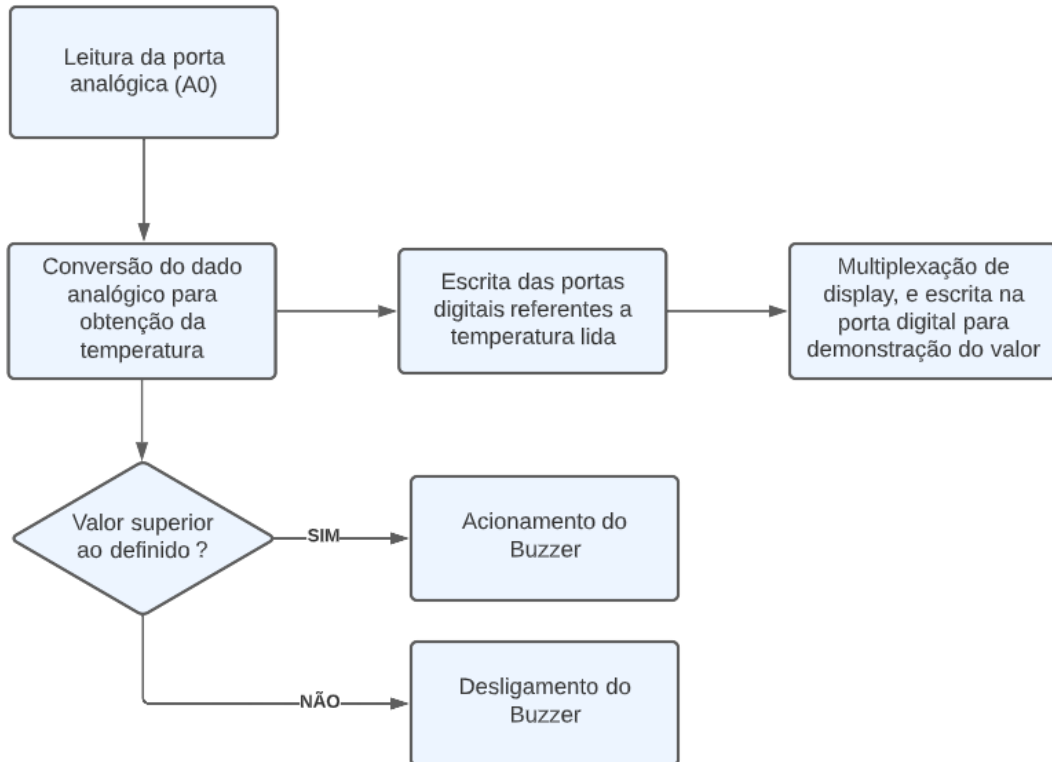


Figura 11 – Fluxograma do software proposto ao projeto

5 Conclusão

Por fim, o circuito cumpriu o objetivo proposto, realizando as medições de temperatura com uma precisão aceitável dentro do escopo do trabalho. Porém, o trabalho poderia ter sido evoluído para suportar temperaturas mais baixas que o zero grau.

Com o desenvolvimento do trabalho, fundamentos obtidos em sala de aula foram utilizados, tanto para obtenção dos cálculos, utilização de componentes e realizações de medições no circuito. Aprimorando dessa forma o conhecimento sobre AMP-OP, e prototipação física de circuitos, obtidos no decorrer do curso.