Sensores e Instrumentação

Telemetria Termopar Tipo - K

Alunos:

Jonathan A. M. Candido (BP3038327)

Samara L. C. Hurtado (BP3038271)

Henrique M. Ribeiro (BP3054403)

Rafael D. S. Magalhães (BP3039501)

Professor: Dr. Alexandre Fonseca Jorge

Introdução

- Este trabalho apresenta o sistema de aquisição de dados baseado no microcontrolador ESP32, explorando sua capacidade de processamento e conectividade para realizar leituras térmicas confiáveis.
- Para ampliar o alcance e a precisão das medições, foram implementados dois métodos distintos de sensoriamento:

1 - Termopar tipo K acoplado ao módulo MAX6675, responsável por leituras em faixas elevadas de temperatura;

2 - Um termistor NTC, integrado a um circuito divisor de tensão para detecção de variações térmicas em faixas mais baixas.

Materiais utilizados

Materiais utilizados:

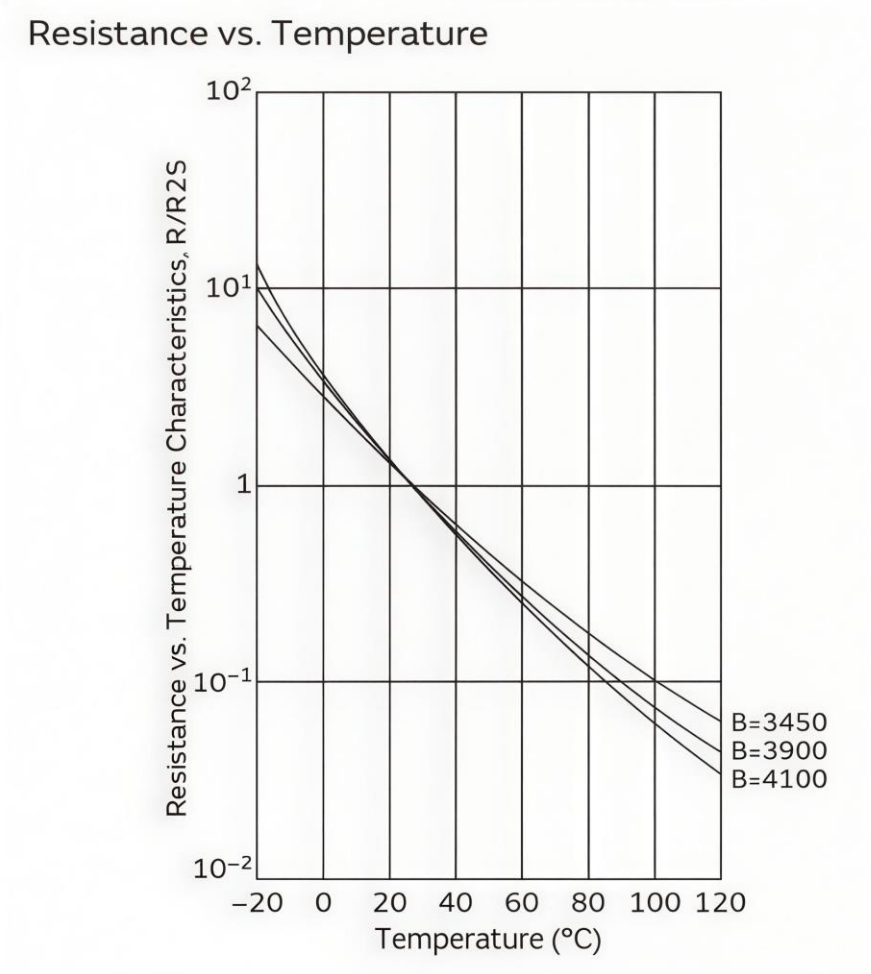
- Termopar Tipo - K;
- ESP32;
- Módulo MAX6675 (para leitura do tipo K);
- Termistor NTC - 100kΩ;
- Resistor 100kΩ;
- Plataforma Arduino IDE.

ESP32	MAX6675 + Termopar tipo - K	Termistor 100kΩ	Resistor 100kΩ
			

Funcionamento / Ligações

O termistor é um sensor de temperatura cuja resistência elétrica varia de forma previsível conforme a temperatura.
Trata-se de um dispositivo semicondutor com alta sensibilidade térmica, desde que operando dentro de sua faixa especificada de trabalho.
Além disso, por sua natureza resistiva, o termistor não possui polaridade elétrica.

NTC é a sigla para o termo **Negative Temperature Coefficient**, que traduzindo significa Coeficiente Negativo de Temperatura. Isso significa que para um **aumento de temperatura** o termistor terá a sua **resistência diminuída** seguindo sua curva característica.

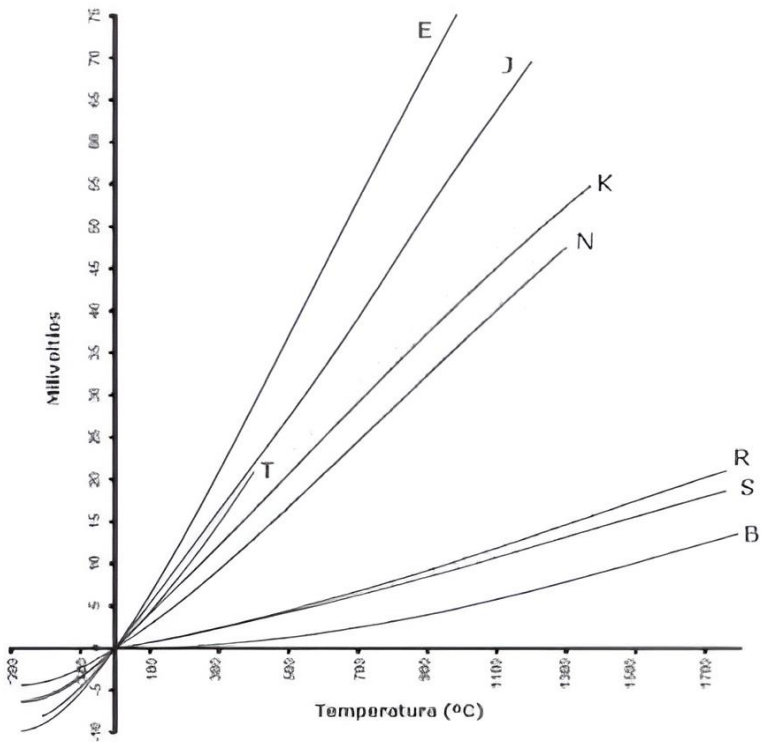


Funcionamento / Ligações

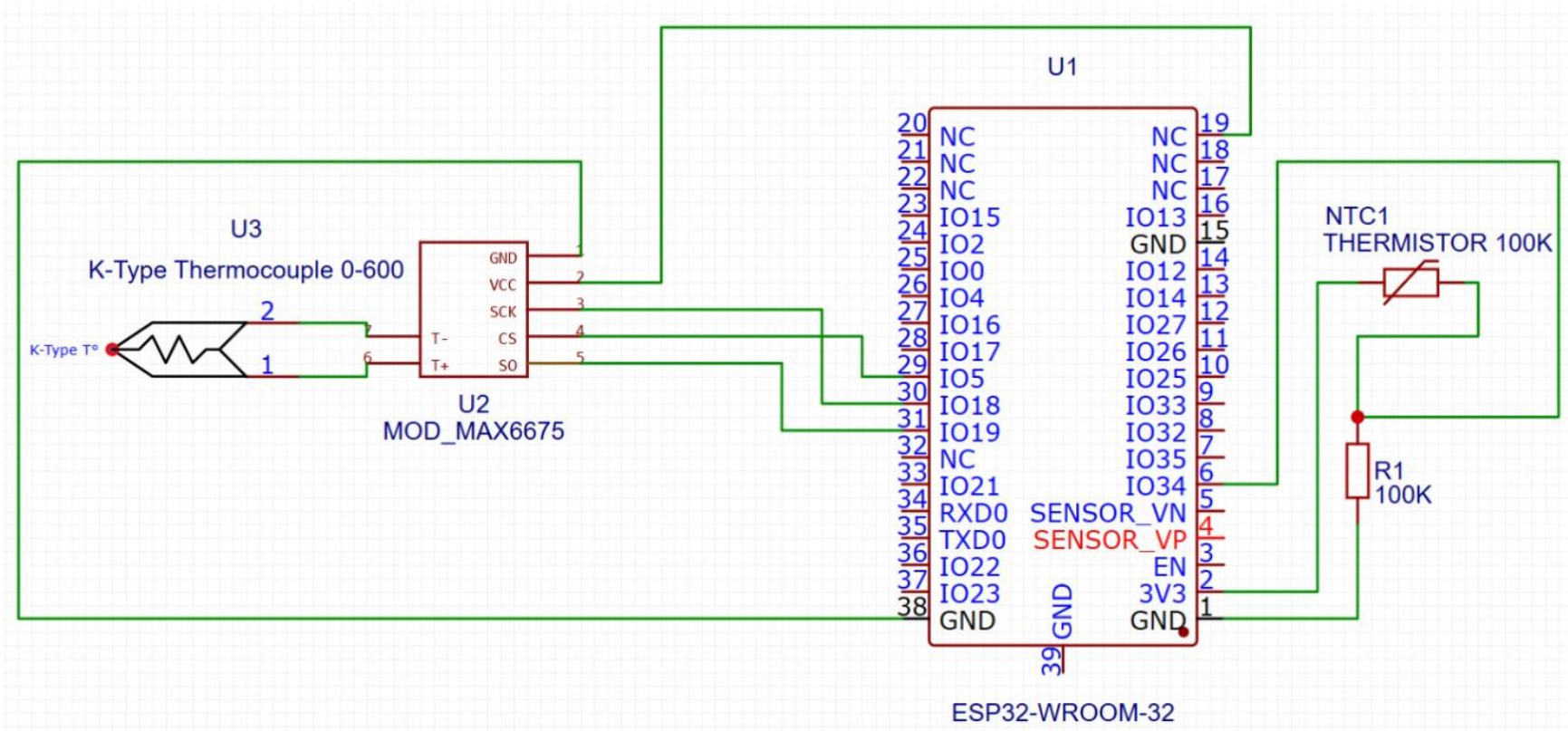
O **termopar** é um sensor de temperatura que opera a partir da diferença de potencial gerada entre dois metais distintos quando submetidos a um gradiente térmico. Essa tensão elétrica varia de maneira proporcional à temperatura, permitindo medições precisas mesmo em faixas muito elevadas.

Por ser um dispositivo baseado em junções metálicas e não em resistência elétrica, o termopar apresenta **tempo de resposta rápido**, ampla faixa de operação e grande robustez mecânica, podendo ser utilizado em ambientes industriais severos.

Além disso, o termopar **não possui polaridade resistiva**, porém sua conexão elétrica deve respeitar a identificação dos metais que compõem cada fio, garantindo a correta leitura de temperatura.



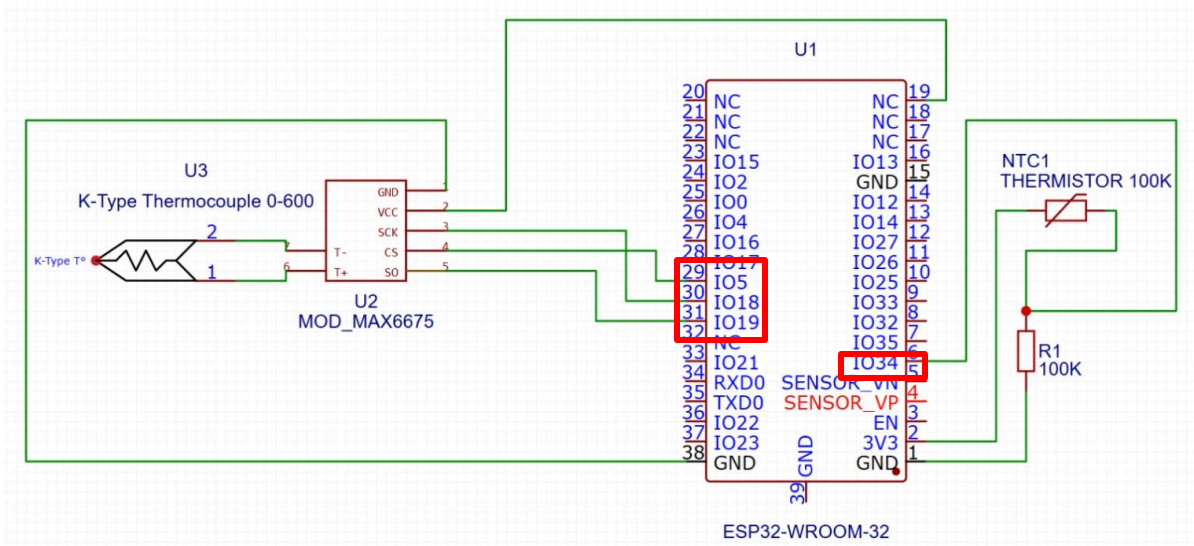
Funcionamento / Ligações



Funcionamento / Ligações

- **Configuração dos PINOS:**

```
int thermoSO = 19;
int thermoCS = 5;
int thermoSCK = 18;
MAX6675 thermocouple(thermoSCK, thermoCS, thermoSO);
const int NTC_PIN = 34;
```



Funcionamento / Ligações

Cálculo da Média: A soma das 20 leituras (totalADC) é dividida pelo número de amostras (samples = 20) para obter o **valor médio do ADC** (adcValue).

- **Leitura NTC com média e suavização:**

```
float readNTCTemp() {
float totalADC = 0;
int samples = 20; // Tira 20 medidas para fazer uma média
for (int i = 0; i < samples; i++) {
totalADC += analogRead(NTC_PIN);
delay(2);
}
```

Resolução do ADC: O ESP32, por padrão, usa **12 bits** de resolução para o ADC, o que significa que o valor lido (adcValue) varia de **0 a 4095** (2^{12}-1).

```
float adcValue = totalADC / samples;
  if (adcValue == 0 || adcValue >= 4095) return 0.0;
  float voltage = adcValue / 4095.0 * 3.3;
```

Funcionamento / Ligações

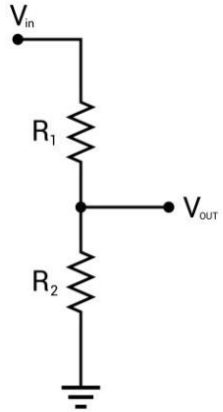
Cálculo da resistencia: Para um divisor de tensão, a fórmula da resistência do sensor (R_{NTC}) quando o **resistor de série** (R_{SERIE}) está no VCC e o **sensor** (NTC) está no GND, e a tensão é medida no NTC (V_{NTC}), é derivada da regra do divisor de tensão:

$$V_{NTC} = V_{CC} \times \frac{R_{NTC}}{R_{NTC} + R_{serie}} \xrightarrow{\text{Reorganizando Para NTC}} R_{NTC} = R_{serie} \times \left(\frac{V_{CC}}{V_{NTC}} - 1 \right)$$

- **Fórmula para NTC no 3.3V e Resistor no GND**

```
float resistance = SERIES_RESISTOR * ((3.3 / voltage) - 1.0);
```

O valor obtido em resistance é a resistência atual do NTC em Ohms.



Funcionamento / Ligações

A **Equação de Steinhart-Hart** é o modelo mais comum e preciso para descrever a relação não linear entre a resistência e a temperatura de um thermistor NTC. O código usa uma forma simplificada que requer apenas três constantes:

- **R0** (NOMINAL_RESISTANCE): Resistência nominal (em Ohms) na temperatura nominal. (100000.0 Ω)
- **T0**(NOMINAL_TEMPERATURE): Temperatura nominal (em Celsius). (25.0 °C)
- β(B_COEFFICIENT): Coeficiente β do material. (4092.0 K)

A fórmula para calcular a temperatura em **Kelvin** (TK) a partir da resistência atual (Rntc) usando este modelo simplificado é:

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} + \frac{1}{B}\left(\ln\frac{R}{R_0}\right) = a_0 + a_1 \ln\frac{R}{R_0}$$

$$\frac{1}{T} = \sum_{n=0}^{\infty} a_n \left(\ln\frac{R}{R_0}\right)^n$$

Simplificação:

$$\frac{1}{T_K} = \frac{1}{T_0 + 273.15} + \frac{1}{\beta} \times \ln\left(\frac{R_{NTC}}{R_0}\right)$$

Funcionamento / Ligações

- **Fórmula para divisor de tensão entre NTC e Resistor:**

```
float resistance = SERIES_RESISTOR * ((3.3 / voltage) - 1.0);
float steinhart;
steinhart = resistance / NOMINAL_RESISTANCE;
steinhart = log(steinhart);
steinhart /= B_COEFFICIENT;
steinhart += 1.0 / (NOMINAL_TEMPERATURE + 273.15);
steinhart = 1.0 / steinhart;
steinhart -= 273.15;

return steinhart;
}
```

$$\frac{1}{T_K} = \frac{1}{T_0 + 273.15} + \frac{1}{\beta} \times \ln\left(\frac{R_{NTC}}{R_0}\right)$$

Funcionamento / Ligações

- Configuração dos PINOS:

```
int thermoSO = 19;
int thermoCS = 5;
int thermoSCK = 18;
MAX6675 thermocouple(thermoSCK, thermoCS, thermoSO);
const int NTC_PIN = 34;
```

- Calibração do thermistor NTC:

```
const float SERIES_RESISTOR = 260000.0;
const float NOMINAL_RESISTANCE = 100000.0; // NTC de 100k
const float NOMINAL_TEMPERATURE = 25.0;
 const float B_COEFFICIENT = 4092.0; // Ajustado para NTC de 100k (vidro)
```

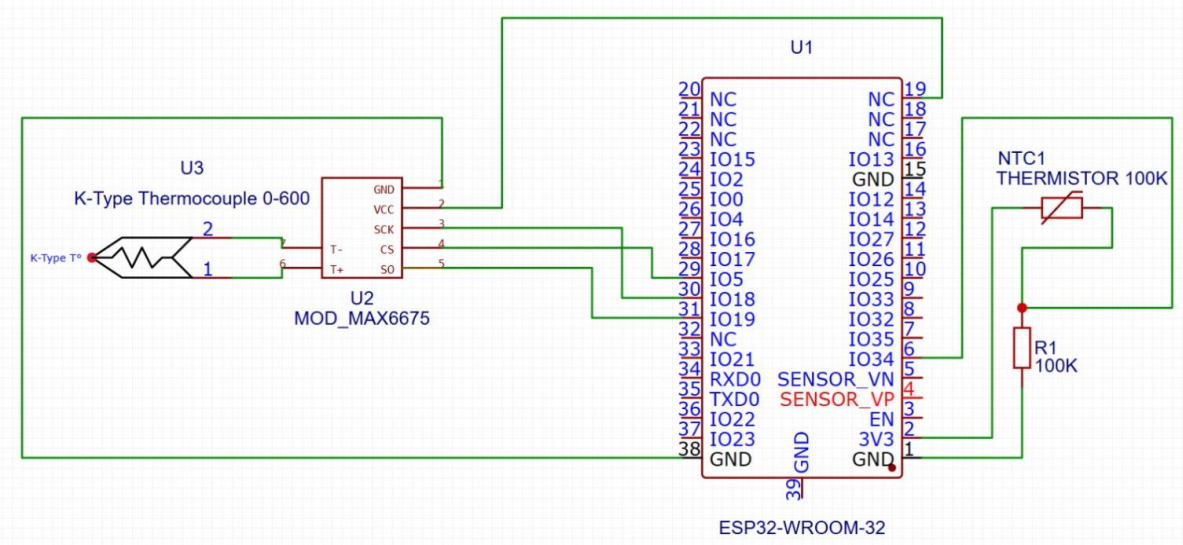
- Leitura NTC com média e suavização:

```
float readNTCTemp() {
float totalADC = 0;
int samples = 20; // Tira 20 medidas para fazer uma média
for (int i = 0; i < samples; i++) {
totalADC += analogRead(NTC_PIN);
delay(2);
}
float adcValue = totalADC / samples;
if (adcValue == 0 || adcValue >= 4095) return 0.0;
float voltage = adcValue / 4095.0 * 3.3;
```

- Fórmula para divisor de tensão entre NTC e Resistor:

```
float resistance = SERIES_RESISTOR * ((3.3 / voltage) - 1.0);
float steinhart;
steinhart = resistance / NOMINAL_RESISTANCE;
steinhart = log(steinhart);
steinhart /= B_COEFFICIENT;
steinhart += 1.0 / (NOMINAL_TEMPERATURE + 273.15);
steinhart = 1.0 / steinhart;
steinhart -= 273.15;

return steinhart;
}
```



Funcionamento / Ligações

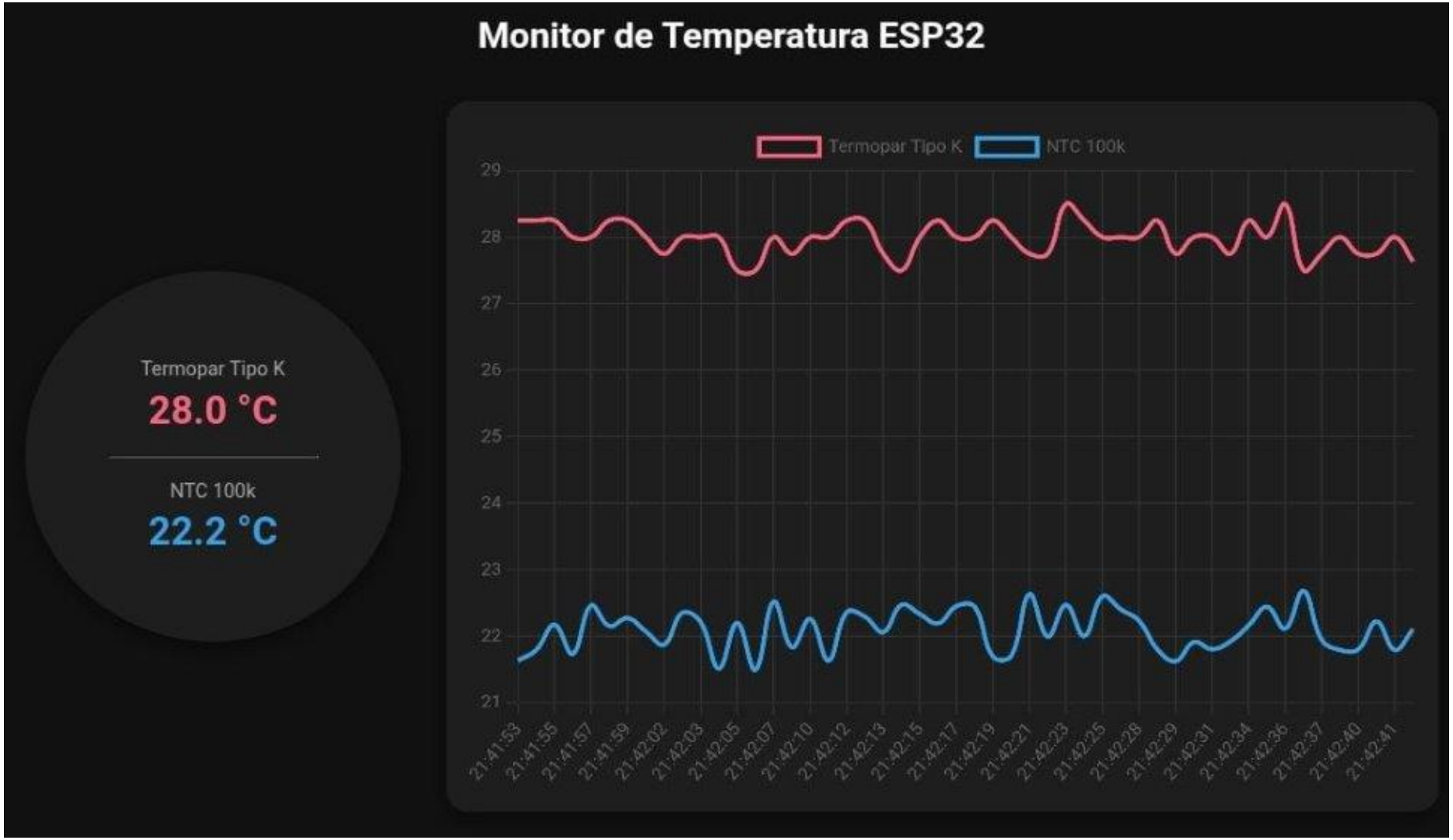
Para o termopar Tipo K, a leitura é extremamente simples porque o módulo **MAX6675** é um circuito integrado especializado que:

1. Lê o **sinal de tensão** do termopar (milivolts).
2. Realiza a **compensação da junta fria** (que corrige a temperatura ambiente onde o chip está conectado aos fios do termopar).
3. Converte o resultado em um valor de temperatura digital.

Toda a complexidade de cálculo (incluindo a não linearidade do Termopar Tipo K) está encapsulada dentro do chip MAX6675 e é acessada pela biblioteca:

```
float tMax = thermocouple.readCelsius();
```

Funcionamento / Ligações



Conclusão

Síntese final:

- O projeto validou a capacidade de integrar e processar dados de sensores heterogêneos (*digital* e *analógico*) em uma única plataforma IoT, aplicando modelos matemáticos essenciais (Steinhart-Hart) para garantir a **acurácia** e a **confiabilidade** da medição. Este sistema é um protótipo funcional para **controle e automação** de processos térmicos.

Referências

https://en.wikipedia.org/wiki/Steinhart%E2%80%93Hart_equation

https://en.wikipedia.org/wiki/Thermistor

https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/6741/material/Aula_10 termistor 20191.pdf

GitHub - adafruit/MAX6675-library: Arduino library for interfacing with MAX6675 thermocouple amplifier

https://www.makerhero.com/blog/como-usar-o-termopar-tipo-k-com-arduino/?srsltid=AfmBOorVejGMOwNyhybTbjQp0qBUZZe2zQ9hkRiUeSTv4jxQ0J4CiuKh

https://portal.vidadesilicio.com.br/medindo-temperatura-com-termistor-ntc/