

DESENVOLVIMENTO DE UM SENSOR DE TEMPERATURA A PARTIR DE UM DIODO PARA MONITORAMENTO DE COMPOSTEIRA

Guilherme Pegoraro Mirabeti ¹; Konrad Souza Friedrich ¹; Leonardo Del Bel Sonoda ¹; Rafael Mayrink Shimoda dos Santos ¹

¹ Aluno do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT);

Resumo. *Este artigo detalha o desenvolvimento e a validação de um sensor de temperatura de baixo custo baseado no diodo 1N4148, projetado para o monitoramento térmico de composteiras. Controlado por um microcontrolador Raspberry Pi Pico (RP2040), o sistema explora a relação linear entre a tensão de polarização do diodo e a temperatura para realizar medições. A metodologia incluiu a criação de um circuito de condicionamento de sinal e um firmware com filtro de média móvel, que converteu com sucesso a variação de tensão em leituras de temperatura precisas, exibidas em um display OLED. Os resultados demonstram que o protótipo é uma solução acessível e eficaz para otimizar o processo de compostagem, reforçando sua aplicação em projetos de sustentabilidade.*

Introdução

O mundo moderno está cada vez mais automatizado, desde áreas industriais, até a saúde e sustentabilidade fazem parte desse processo. Para que isso seja possível, se tornam cada vez mais necessários sensores, para monitorar as diversas variáveis físicas que influenciam esses processos.

Em diversas aplicações, esses sensores podem acabar se tornando caros e dificultam as possibilidades de automação, por isso, se tornam necessários sensores mais simples, mas mais baratos, para aplicações que não exigem precisão muito alta, como é o caso de composteiras, que serão abordadas nesse projeto.

Para maximizar os microorganismos que atuam na compostagem, a temperatura ideal é entre 45 e 60°C (WAGNER, 2018), então, ao se utilizar um sensor para medir essa grandeza, é possível realizar o controle automático desse ambiente (que não caberá no escopo deste projeto). Nesse contexto, este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de sensoramento de temperatura de baixo custo utilizando o diodo 1N4148, integrado a um microcontrolador RP2040, visando oferecer uma solução acessível para o monitoramento térmico em composteiras.

Material e Métodos

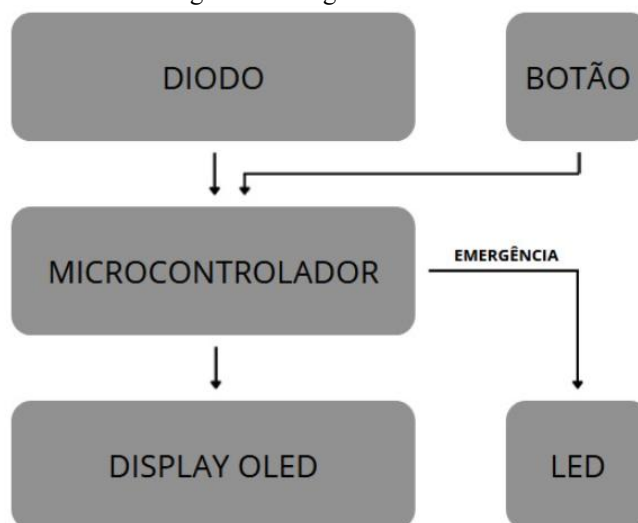
Inicialmente, foram feitos testes para confirmar o comportamento de variação linear de temperatura do diodo 1N4148 para certos valores de corrente, estudado por Freitas e Santos (2012). Para isso, foi utilizado um resistor de 10kΩ citado no artigo, e um soprador de calor, possibilitando a exposição do sensor a diferentes faixas de temperatura.

O princípio de funcionamento do diodo como sensor de temperatura baseia-se na variação previsível da sua tensão de condução direta com a temperatura. Especificamente, em diodos de silício como o 1N4148, essa tensão diminui aproximadamente 2 mV por grau Celsius. Essa característica permite que o diodo seja calibrado e utilizado como sensor analógico de temperatura, com resposta rápida e comportamento praticamente linear em uma faixa útil de operação, geralmente entre 0 °C e 100 °C, (VISHAY, 2015).

Nestes testes, foi ligado ao mesmo microcontrolador e colocado no mesmo ambiente um sensor de umidade e temperatura DHT11, modelo vendido comercialmente e muito utilizado para monitoramentos simples dessas grandezas. Além disso, foi colocada uma sonda termopar, ligada a um alicate amperímetro.

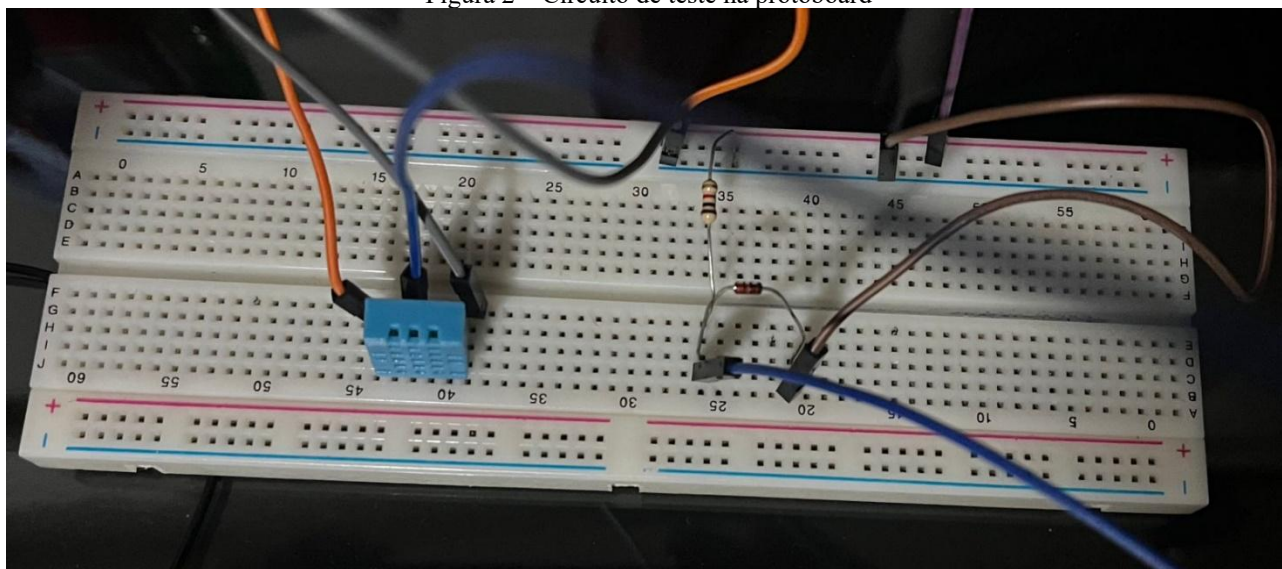
Após confirmado o comportamento esperado, foi feito um circuito de teste em uma protoboard, Figura 2, ligado ao microcontrolador, baseado no Diagrama de Blocos da Figura 1, utilizando a equação $V_{out} = -0,0021T + 0,6264$, obtida por Freitas e Santos (2012).

Figura 1 – Diagrama de blocos



Fonte: Autoria própria, 2025

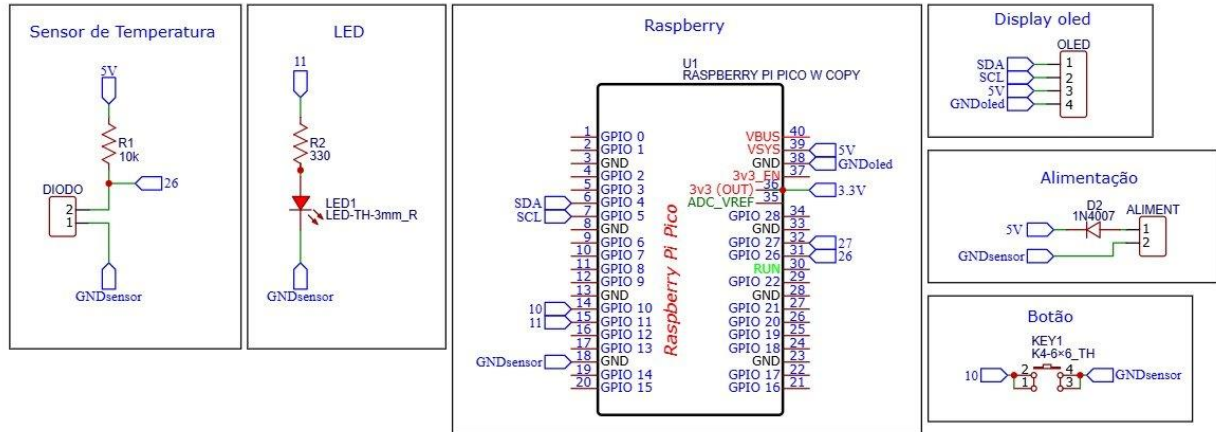
Figura 2 – Circuito de teste na protoboard



Fonte: Autoria própria, 2025

Após as validações, foi desenvolvida uma placa de circuito impresso (PCI) para o produto final, onde foi soldado o resistor e conectores para o microcontrolador, diodo, botão para alteração de unidade de grandeza (entre graus Celsius e Fahrenheit), LED para alerta e display de OLED. As conexões deste circuito estão demonstradas na Figura 3.

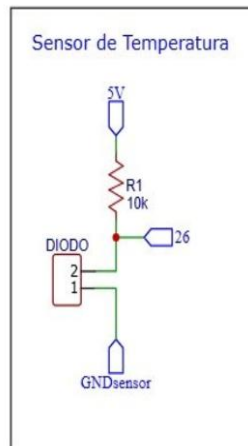
Figura 3 – Projeto do circuito



Fonte: Autoria própria, 2025

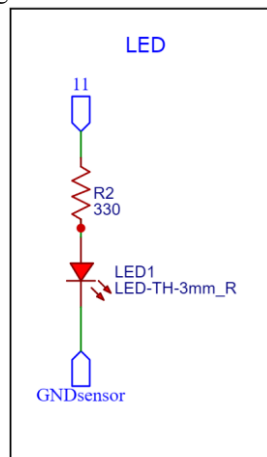
No circuito final, o sensor de temperatura foi feito através de uma ligação em série entre o resistor de $10k\Omega$ e o diodo 1N41, com uma conexão entre eles para o pino 26, que recebia os dados, como na Figura 4. O LED foi ligado ao pino 11, com um resistor de 330Ω , Figura 5. O display foi ligado nos finos 6 e 7 da placa, bem como no 5V da placa e em um GND próprio, para evitar interferências, Figura 6. A alimentação foi feita através de um conector, com um diodo para evitar danos de ligações incorretas, Figura 7. Já o botão foi ligado entre o pino 10 e o mesmo GND utilizado para o sensor, Figura 8.

Figura 4 – Circuito do sensor de temperatura



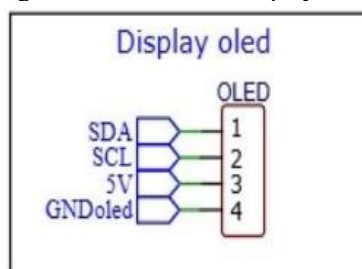
Fonte: Autoria própria, 2025

Figura 5 – Circuito do LED



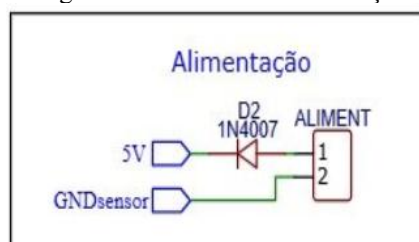
Fonte: Autoria própria, 2025

Figura 6 – Circuito do display OLED



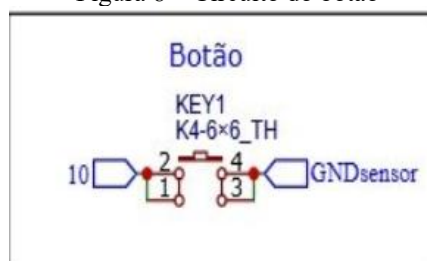
Fonte: Autoria própria, 2025

Figura 7 – Circuito da alimentação



Fonte: Autoria própria, 2025

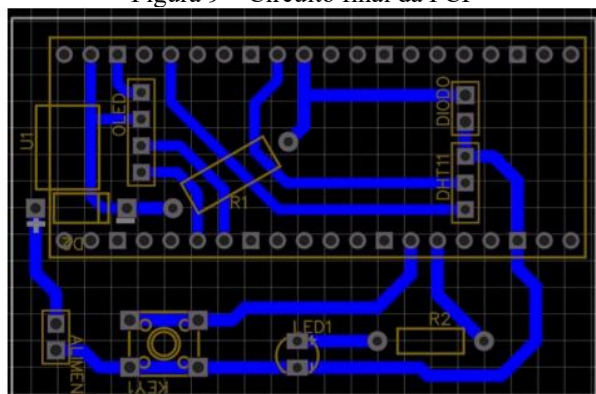
Figura 8 – Circuito do botão



Fonte: Autoria própria, 2025

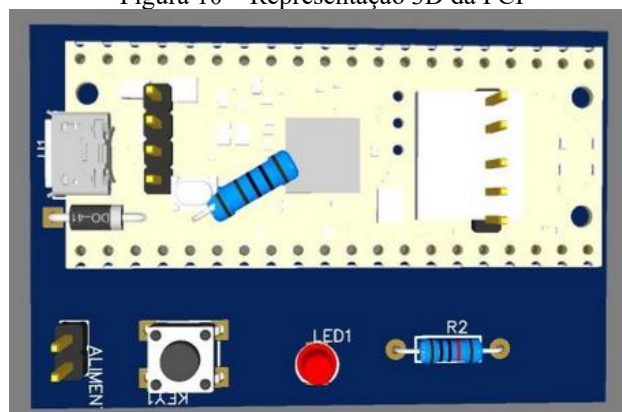
O circuito final para a PCI, uma representação 3D e a montagem final, sem a conexão da o display OLED, estão representados nas Figuras 9, 10 e 11, respectivamente.

Figura 9 – Circuito final da PCI



Fonte: Autoria própria, 2025

Figura 10 – Representação 3D da PCI



Fonte: Autoria própria, 2025

Figura 11 – PCI na montagem final (sem conectar o display)



Fonte: Autoria própria, 2025

A programação do microcontrolador foi feita em SDK utilizando a linguagem C/C++. A arquitetura do firmware foi desenvolvida com base em um modelo orientado a eventos, priorizando a eficiência energética e a resposta em tempo real aos estímulos externos.^{1 1}

Ao ser inicializado, o firmware configura os periféricos do Raspberry Pi Pico conforme o esquemático elétrico (Figura 3). Os pinos de propósito geral (GPIO) são ajustados: GP11 como saída para o LED de alerta, GP10 como entrada com resistor de *pull-up* interno para o botão, e GP26 como entrada analógica para o sensor. A interface I2C é habilitada nos pinos GP4 (SDA) e GP5 (SCL) para comunicação com o display OLED, e o Conversor Analógico-Digital (ADC) é preparado para leituras no canal correspondente ao GP26.

Para a aquisição de dados, um temporizador periódico é configurado para gerar uma interrupção a cada 500 ms. A rotina de serviço desta interrupção é responsável por:

1. Realizar a leitura do valor de 12 bits do ADC.
2. Converter o valor digital em uma medida de tensão, considerando a referência de 3.3V.
3. Aplicar a equação de conversão para obter a temperatura, ajustada empiricamente com base nos estudos de Freitas e Santos (2012), utilizando o mesmo tipo de diodo (1N4148).
4. Controlar o estado do LED de alerta, ativando-o caso a temperatura esteja dentro de uma faixa pré-determinada.

Para mitigar ruídos e flutuações na leitura, implementou-se um filtro de média móvel. Esta técnica armazena as 40 últimas medições em um buffer circular e calcula a média aritmética,

¹ O código-fonte do firmware e os arquivos do projeto estão disponíveis no repositório GitHub:
<https://github.com/leosonoda00/projetoInstrument/tree/94a66fddf061a61e199e997bec2bbfdb4af12b6>.

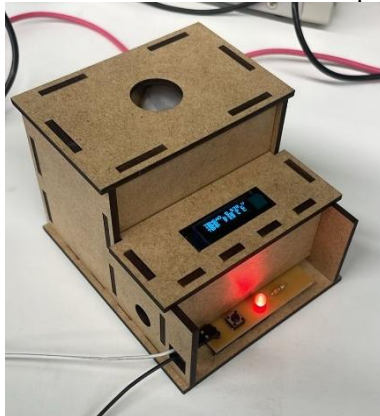
resultando em um valor de temperatura suavizado e estável, como demonstrado posteriormente nos resultados (Figura 14).

A interação com o usuário é gerenciada por uma segunda interrupção, atrelada ao botão. Para evitar o fenômeno de *bouncing* (múltiplas detecções por um único pressionamento), a rotina de interrupção desabilita temporariamente novas interrupções do mesmo pino e sinaliza a mudança de estado (de Celsius para Fahrenheit, ou vice-versa) para o loop principal através de uma variável *flag*.

A principal característica da arquitetura de software é o gerenciamento de energia. O loop principal do firmware, após verificar as *flags* de eventos (como um clique de botão ou a necessidade de atualizar o display), coloca o processador em um estado de baixo consumo de energia por meio da instrução `__wfi()`. O microcontrolador permanece "adormecido" até ser despertado pela próxima interrupção do temporizador ou do botão. Esta abordagem reduz drasticamente o consumo elétrico, tornando o sistema viável para aplicações que podem depender de baterias.

Para a demonstração do funcionamento, foi feito um modelo em pequena escala, de uma caixa cortada a laser para abrigar o circuito e uma “câmara de compostagem”, mostrada na Figura 12. Por dentro deste modelo, foi colocado algodão, para melhor simular o comportamento do material de compostagem. Isso pode ser visto na parte interna do modelo, representada na figura 13.

Figura 12 – Modelo da câmara de compostagem



Fonte: Autoria própria, 2025

Figura 13 – Interior do modelo



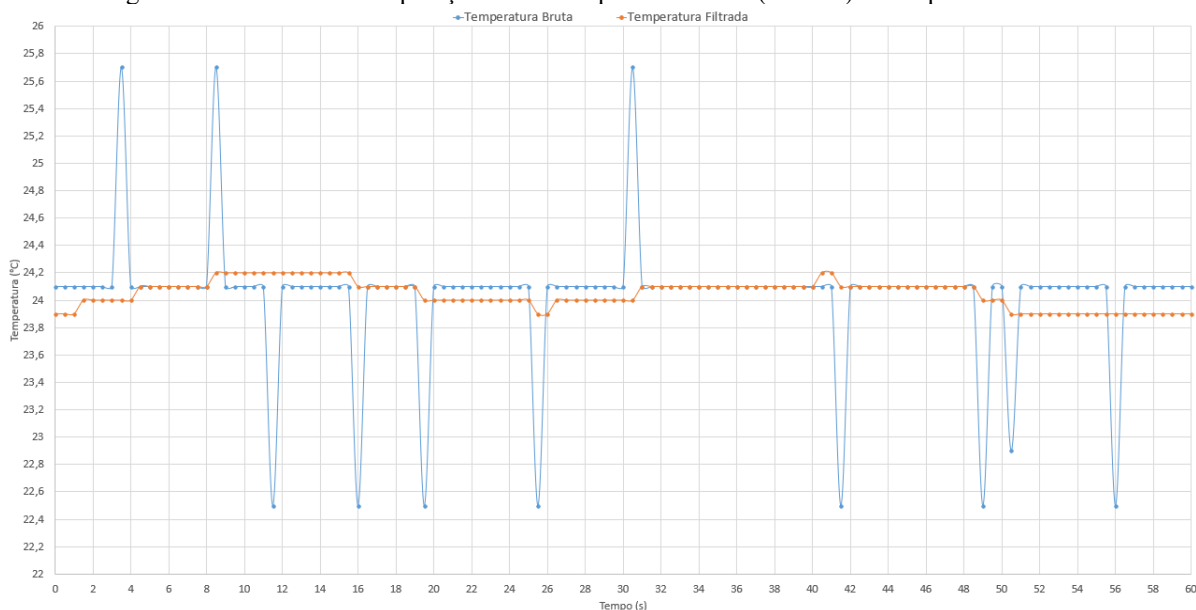
Fonte: Autoria própria, 2025

Após a montagem final, o funcionamento do protótipo foi testado novamente utilizando o soprador de ar e o resultado comparado com o da sonda termopar.

Resultados e Discussão

Após os testes, foram obtidos gráficos para demonstrar o funcionamento do protótipo desenvolvido com o diodo 1N4148 como sensor de temperatura. Para melhorar a qualidade da leitura e reduzir o ruído de medição, foi aplicada a técnica de média móvel, que suaviza variações pontuais e torna as oscilações de leitura menos perceptíveis — inferiores a 0,5 °C. Dentro da aplicação proposta, essas pequenas flutuações são consideradas desprezíveis. A Figura 14 ilustra o comportamento do sensor com o filtro em uma situação de temperatura ambiente.

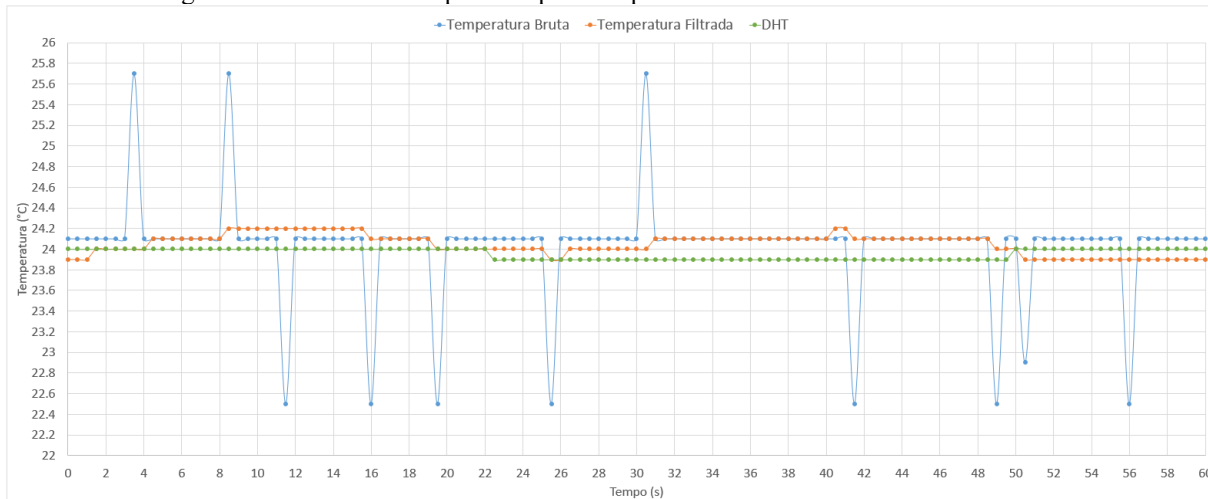
Figura 14 – Gráfico de comparação entre Temperatura Bruta (medida) e Temperatura filtrada



Fonte: Autoria própria, 2025

A comparação com sensores comerciais revelou-se desafiadora, principalmente devido às diferenças nos princípios de funcionamento de cada dispositivo. Ainda assim, em condições de temperatura constante — tanto em ambiente quanto sob aquecimento controlado — os sensores apresentaram resultados consistentes. Entretanto, nas situações em que a temperatura variava rapidamente, observou-se discrepância entre as leituras dos diferentes sensores. A figura 15 apresenta uma comparação entre a temperatura bruta, filtrada e DHT, para uma leitura em temperatura ambiente.

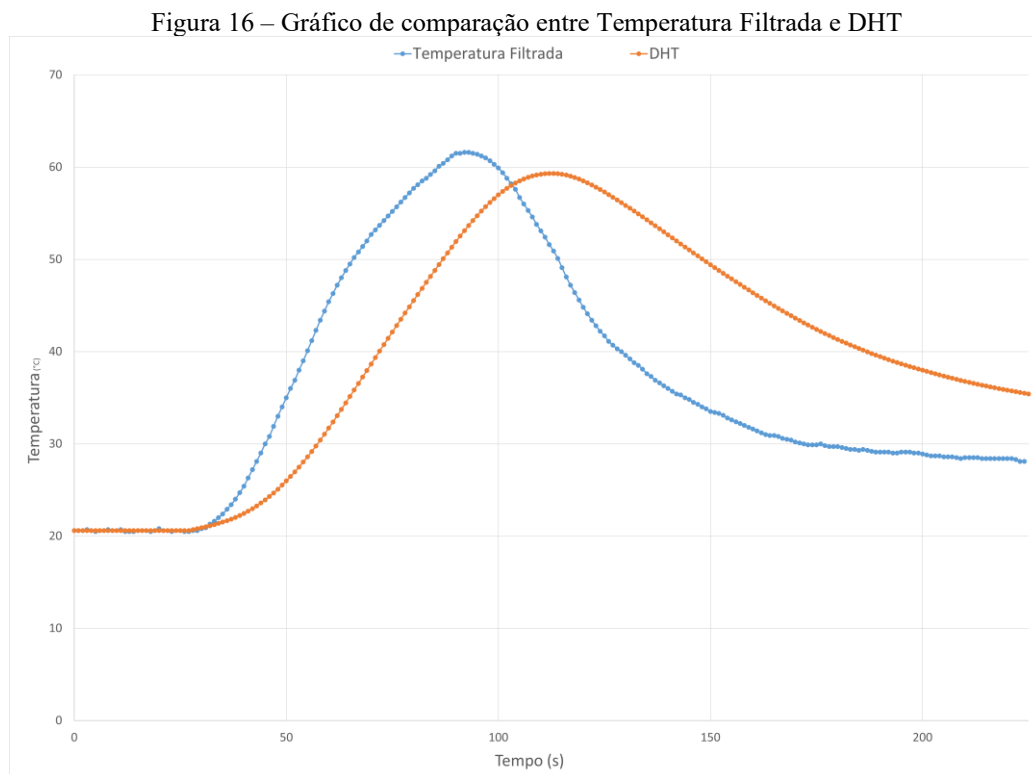
Figura 15 - Gráfico da temperatura pelo tempo do sensor do diodo e o sensor DHT11



Fonte: Autoria própria, 2025

O sensor DHT11, em particular, apresentou limitações consideráveis. Seu tempo de resposta relativamente alto o torna pouco eficaz em detectar mudanças rápidas de temperatura. Esse comportamento se deve ao seu princípio de funcionamento, baseado em um termistor interno encapsulado e à necessidade de processamento digital interno antes do envio da leitura. Em contraste, o sensor desenvolvido com o diodo 1N4148 demonstrou uma resposta mais rápida e com boa repetibilidade, sendo mais eficaz para aplicações em que variações rápidas de temperatura precisam ser captadas. Apesar disso, sensores como o termopar ainda apresentam superioridade em velocidade e precisão em aplicações mais exigentes.

A Figura 16 apresenta a comparação direta entre o comportamento dinâmico do sensor com o diodo 1N4148 e o sensor DHT11, evidenciando a superioridade do primeiro em cenários com variação térmica significativa.



Fonte: Autoria própria, 2025

Conclusões

Os resultados obtidos foram considerados satisfatórios e semelhante, ou melhores, ao observado em outros sensores que já existem no mercado. Apesar de o sensor apresentar alguma deficiência para analisar mudanças bruscas de temperatura, ele pode ser uma alternativa viável e muito mais econômica que as já existentes no mercado.

O microcontrolador Raspberry Pi Pico (RP2040) também se provou uma ferramenta viável para o desejado, permitindo a leitura e tratamento de dados, além de permitir o acionamento de atuadores, como o display OLED utilizado para a visualização dos dados. Para projetos futuros, outros atuadores poderiam ser adicionados, como um aquecedor e uma ventoinha, para que o sistema tivesse um controle próprio de temperatura.

Referências Bibliográficas

- LIMA, R. A.; COSTA, P. T. S.; OLIVEIRA, C. D. A. **Desenvolvimento de um Sistema de Medição de Temperatura Utilizando Diodos Semicondutores como Sensores**. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA, 9., 2012, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: CEEL, 2012. Disponível em: https://www.peteletricaufu.com.br/static/ceel/doc/artigos/artigos2012/ceel2012_artigo044_r01.pdf. Acesso em: 4 jun. 2025.
- VISHAY. **1N4148, 1N4448: High-speed diodes**. *Datasheet*, Document Number: 81857. Revision: 25-May-2015. 5 p. Disponível em: <https://www.vishay.com/docs/81857/1n4148.pdf>. Acesso em: 4 jun. 2025.
- WAGNER, B. **Sistema de controle e monitoramento de temperatura para leiras de compostagem**. 2018. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3386/1/CT_PPGEC_M_Wagner%2c%20Brunah_2018.pdf. Acesso em: 4 jun. 2025.