

# Proposta de Container para Controle de Temperatura de Insulina

Arthur Pfeilsticker, Matheus Sinis, Paulo Resende, Victor Monteiro

<sup>1</sup>Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas)  
Belo Horizonte – MG – Brasil

<sup>2</sup>Department of Computer Science – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

arthur.lima@sga.pucminas.br, malsinis@sga.pucminas.br,

paulo.resende@sga.pucminas.br, vgrataroli@sga.pucminas.br

**Abstract.** *The preservation of insulin efficacy depends critically on maintaining its storage temperature within a specific range. This work proposes a solution for continuous temperature monitoring in thermal bags used to transport insulin, aiming to prevent efficacy loss due to improper temperatures. The proposed system integrates a temperature sensor and a microcontroller with Wi-Fi connectivity, enabling real-time temperature tracking. Notifications are sent via email or mobile application when the temperature exceeds the safe range of 2°C to 30°C. The development follows a structured methodology, including the design of a hardware prototype, implementation of notification services, and testing under controlled conditions. The evaluation focuses on the system's precision in temperature readings, the timeliness of notifications, and the stability of wireless communication. This solution aims to improve the reliability of insulin storage during transportation, offering users timely alerts to prevent potential risks associated with temperature fluctuations.*

**Resumo.** *A preservação da eficácia da insulina depende criticamente da manutenção de sua temperatura de armazenamento dentro de uma faixa específica. Este trabalho propõe uma solução para monitoramento contínuo da temperatura em bolsas térmicas usadas para transportar insulina, visando prevenir a perda de eficácia devido a temperaturas inadequadas. O sistema proposto integra um sensor de temperatura e um microcontrolador com conectividade Wi-Fi, permitindo o rastreamento em tempo real da temperatura. Notificações são enviadas por e-mail ou aplicativo móvel quando a temperatura excede a faixa segura de 2°C a 30°C. O desenvolvimento segue uma metodologia estruturada, incluindo o design de um protótipo de hardware, implementação de serviços de notificação e testes em condições controladas. A avaliação foca na precisão das leituras de temperatura, na pontualidade das notificações e na estabilidade da comunicação sem fio. Esta solução visa melhorar a confiabilidade do armazenamento de insulina durante o transporte, oferecendo aos usuários alertas em tempo hábil para prevenir riscos potenciais associados a flutuações de temperatura.*

## **1. Introdução**

No contexto de transporte e armazenamento de medicamentos sensíveis, como a insulina, o controle de temperatura é vital. A insulina, utilizada no tratamento do diabetes, perde sua eficácia quando armazenada em temperaturas fora do intervalo recomendado, o que pode resultar em complicações graves para os pacientes. A maioria das bolsas térmicas utilizadas para transporte desses medicamentos não possui monitoramento contínuo, expondo os usuários ao risco de uso de insulina comprometida.

Essa falha no monitoramento representa um problema crítico, dado que a insulina deve ser mantida entre 2°C e 8°C durante o armazenamento, e, em situações específicas, pode ser usada até 30°C por curtos períodos. Uma solução de monitoramento contínuo e notificação em tempo real ajudaria a evitar a perda de eficácia do medicamento e garantir o controle adequado das condições de armazenamento.

## **2. Problemas Identificados**

- Falta de monitoramento contínuo da temperatura em bolsas térmicas que transportam medicamentos, como insulina.
- Risco elevado de uso de insulina com eficácia comprometida devido a variações não monitoradas na temperatura.
- Ausência de notificações em tempo real para alertar o usuário quando a temperatura ultrapassa os limites seguros.

## **3. Objetivos**

A proposta baseia-se na implementação de um sistema de controle e monitoramento de temperatura para bolsas térmicas, utilizando sensores de temperatura, microcontroladores com conectividade Wi-Fi, e um sistema de notificações. O sistema monitorará a faixa de temperatura adequada e alertará o usuário via e-mail ou aplicativo quando houver variações fora dos limites estabelecidos, permitindo ações corretivas rápidas.

- Implementar sensores de temperatura precisos que detectem variações dentro da faixa crítica para insulina.
- Integrar o sistema a um microcontrolador com conectividade Wi-Fi para leitura e transmissão de dados.
- Criar uma solução de notificações automáticas, permitindo o alerta imediato ao usuário
- Validar a solução tanto em ambientes controlados quanto em cenários de uso real.

## **4. Metodologia**

### **4.1. Pesquisa e Escolha de Componentes**

- Análise de sensores de temperatura adequados para a faixa crítica da insulina (2°C a 30°C).
- Seleção de microcontrolador com conectividade Wi-Fi e plataformas de notificação.

## **4.2. Protótipo de Leitura de Temperatura**

- Implementação da leitura de temperatura em tempo real com o sensor escolhido.
- Integração do sensor ao microcontrolador.

## **4.3. Conectividade e Configuração de Notificações**

- Configuração do microcontrolador para se conectar ao Wi-Fi.
- Implementação do serviço de notificação via e-mail ou aplicativo móvel, utilizando plataformas como IFTTT ou Blynk.

## **4.4. Testes de Funcionamento e Ajustes**

- Realização de testes com variações de temperatura para validar a precisão dos sensores.
- Ajuste de intervalos de leitura e notificações, conforme a necessidade.

## **4.5. Avaliação Final e Otimização**

- Avaliação em cenários reais de uso, com correções e otimizações finais.
- Entrega: Relatório final de avaliação e sistema validado.

# **5. Implementação**

## **5.1. Projeto TinkerCad**

Com o intuito de fazer testes sem prejuízos, foi escolhido o ambiente de simulação TinkerCad. Para o desenvolvimento do projeto foram utilizados os seguintes componentes: - Anduino - microcontrolador - TMP36 - sensor de temperatura - Led's - Resistores Para a montagem de componentes o sensor de temperatura foi conectado ao pino GND, a um pino analógico, A0, e a um pino de 5v para disponibilidade de energia. Além disso os leds foram conectados ao GND e a um pino de 5v, porém as conexões a esse pino passam por resistores para não queimar os leds. A ideia do algoritmo, em alto nível, consiste em ler o sinal analógico que o sensor gera e o transformar em temperatura. A partir da temperatura descoberta gerar uma alerta através do serial e dos led's. Os alertas são gerados da seguinte forma: - Temperatura a menos de 5 graus da máxima ou mínima, um aviso é gerado no serial - Caso a temperatura seja atingida: - Máxima: aviso no serial e led vermelho é aceso - Mínima: aviso no serial e led azul é aceso

## **5.2. Projeto Físico**

Seguindo o que foi desenvolvido no ambiente de simulação, muita coisa pôde ser aproveitada no projeto físico, pois os componentes são compatíveis. No projeto físico os componentes utilizados foram: - ESP8266 - microcontrolador - TMP36 - sensor de temperatura No projeto físico os leds ainda não se encontram presentes. A montagem de componentes pôde se manter a mesma, com a ausência dos leds, dos resistores e com a diferença que ao invés de pinos de 5V, no ESP8266 são pinos de 3.3V. O algoritmo desenvolvido se manteve praticamente o mesmo, pois os microcontroladores são compatíveis. O que pode ser encontrado como diferença é ausência de leds no projeto físico e por isso o aviso no momento está sendo apenas por meio de serial. Para se obter a temperatura a

partir do sensor devemos levar algumas coisas em consideração. O sensor utilizado retorna um sinal lógico que varia entre 0 e 1023. Se tratando de voltagem, o pino analógico varia entre 0v e 1V. Portanto para encontrar a tensão se divide a voltagem máxima do pino, pelo valor máximo analógico. Na documentação do sensor de temperatura, é citado que cada grau Celsius corresponde a 10mV, então dividimos a tensão obtida por 10mV. Ao final desse processo obtemos a temperatura em graus Celsius.

```
#define pino A0
float temp=0.0, ultimatemp=0.0;
float tempMin = 2.0, tempMax = 30.0;
// int ledRed = 10, ledBlue = 9;

void setup(){
  Serial.begin(9600);
  // pinMode(ledRed, OUTPUT);
  // pinMode(ledBlue, OUTPUT);
}

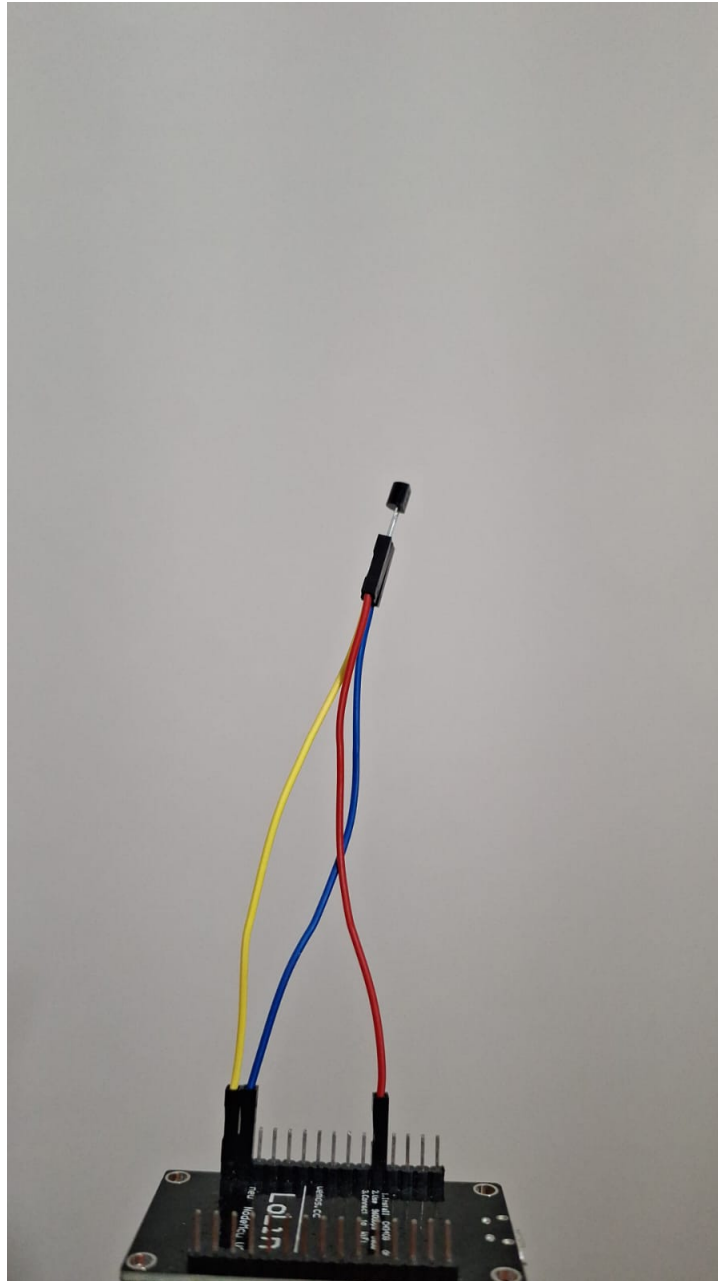
void loop(){
  temp = ((analogRead(pino) * (1.0/1023)) / 0.01);

  if(temp != ultimatemp){
    ultimatemp = temp;

    if(temp > tempMin && temp < tempMin+5.0){
      Serial.println("Temperatura esta se aproximando da minima!");
    }else if(temp <= tempMin){
      Serial.println("Temperatura minima atingida!");
      // digitalWrite(ledBlue, HIGH);
      // digitalWrite(ledRed, LOW);
    }

    if(temp < tempMax && temp > tempMax-5.0){
      Serial.println("Temperatura esta se aproximando da maxima!");
    }else if(temp >= tempMax){
      Serial.println("Temperatura maxima atingida!");
      // digitalWrite(ledBlue, LOW);
      // digitalWrite(ledRed, HIGH);
    }
    Serial.print(temp);
    Serial.println(" C");
  }
  delay(1000);
}
```

Figure 1. Código para leitura de temperatura



**Figure 2. Projeto Físico**

### **5.3. Integração do Sistema de Notificações por E-mail e Futuro Desenvolvimento de Aplicativo**

O desenvolvimento de uma solução robusta para o monitoramento contínuo da temperatura de bolsas térmicas que transportam insulina inclui o envio de notificações ao usuário quando a temperatura ultrapassa os limites seguros. Embora o objetivo final seja integrar o sistema com uma aplicação em iOS ou Flutter, que oferecerá uma experiência mais rica e personalizada ao usuário, nesta fase inicial de desenvolvimento e testes, foi implementado um sistema de notificações via e-mail utilizando o protocolo SMTP (Simple Mail Transfer Protocol).

Essa abordagem foi escolhida por sua simplicidade e facilidade de implementação,

permitindo que a lógica de notificações fosse testada rapidamente em condições reais. Utilizou-se a API SMTP para envio de e-mails, aproveitando serviços de provedores como o Gmail para realizar a autenticação e envio das mensagens. Essa API oferece uma solução acessível para garantir a entrega de notificações em tempo hábil, sem a necessidade de construir uma infraestrutura complexa neste estágio inicial. O código utiliza a biblioteca nativa do Python, `smtplib`, que facilita a integração com serviços de e-mail baseados em SMTP.

Esse sistema de envio de e-mails serve como uma solução temporária, mas funcional, para testar o comportamento da solução em diferentes cenários, enquanto o desenvolvimento da aplicação nativa avança.



**Figure 3. Exemplo de notificação por E-mail**

## **6. Adição de um Buzzer para Sinalização**

Uma nova funcionalidade foi adicionada ao sistema para melhorar a segurança da conservação da insulina, mesmo em casos onde não há conexão com a internet. Trata-se de um buzzer acoplado ao microcontrolador, que é ativado quando a temperatura ultrapassa o limite seguro estabelecido entre 2°C e 30°C. Essa solução oferece um alerta imediato e local, possibilitando ao usuário tomar medidas rápidas para evitar a perda de eficiência da insulina, mesmo sem acesso à internet. A integração do buzzer se mostrou essencial em condições adversas, onde a conectividade pode não estar disponível, garantindo assim maior robustez ao sistema de monitoramento.

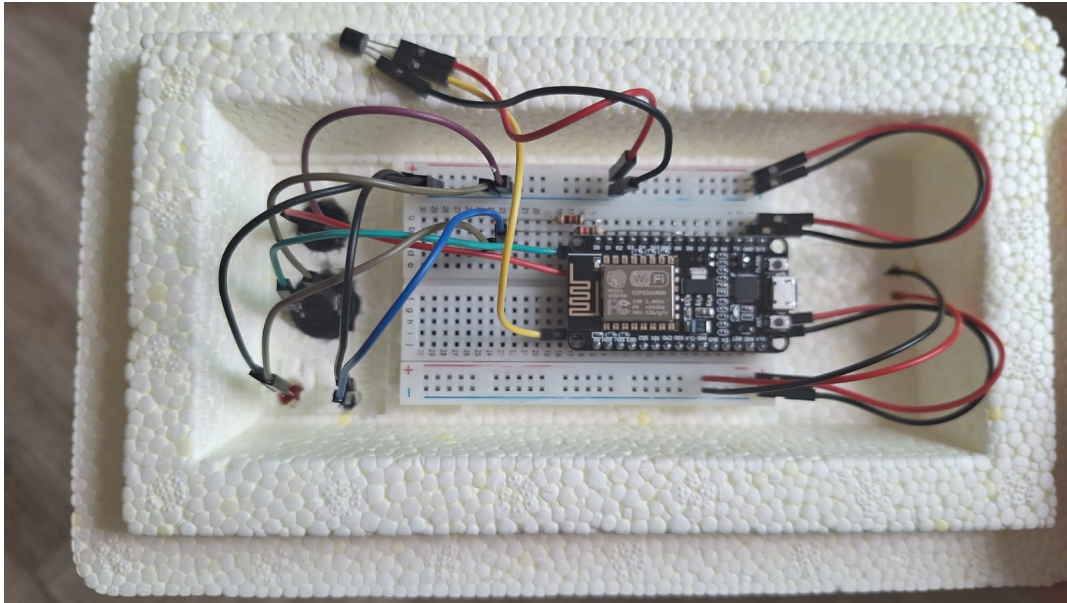


**Figure 4. Buzzer acoplado na caixa térmica**

## **7. Resultados**

Foi realizado um teste preliminar do sistema com um usuário que possui diabetes, durante um período de dois dias. Nesse teste, a temperatura da bolsa térmica foi monitorada continuamente, e todas as variações que ultrapassaram os limites seguros geraram notificações por e-mail. O teste foi bem-sucedido, com os e-mails sendo enviados corretamente e o buzzer sendo ativado nas situações onde a conexão com a internet foi perdida. O usuário relatou que o sistema ajudou a manter a tranquilidade durante o transporte da insulina, pois, mesmo em locais onde não havia cobertura de internet, o buzzer alertou rapidamente sobre a necessidade de intervenção. Além disso, o teste demonstrou a precisão dos sensores de temperatura utilizados, que se mostraram eficazes em detectar variações mesmo sutis na temperatura, permitindo uma resposta ágil do usuário. O buzzer, por ser um dispositivo sonoro, provou ser uma solução de alerta eficaz, mesmo em ambientes onde o usuário estava distraído ou envolvido em outras atividades, garantindo que a notificação fosse percebida imediatamente. Esse tipo de redundância no sistema de alerta aumenta consideravelmente a segurança e a confiabilidade na conservação da insulina. O teste também evidenciou a importância da combinação de diferentes tipos de notificações para garantir a eficácia do sistema. Enquanto os e-mails forneciam um registro das variações de temperatura, o buzzer funcionava como uma medida emergencial para garantir que o usuário pudesse agir prontamente. Dessa forma, o sistema mostrou que é possível oferecer uma solução robusta e confiável para a conservação segura da insulina, mesmo em condições adversas e ambientes onde a conectividade é limitada ou inexistente.





**Figure 5. Tapa da caixa térmica**



**Figure 6. Produto Final**



## 8. Cronograma

Semana	Atividade
1	Pesquisa e escolha de componentes
2-3	Protótipo de leitura de temperatura
4-5	Conectividade e notificações
6-7	Testes de funcionamento e ajustes
8	Avaliação e ajustes finais

## 9. References

Autores utilizados como referência [Fortuna da Silva et al. 2023], [Maqbool et al. 2023], [Zisser 2010], [Gómez Herrera 2014] e [He et al. 2017].

### References

Fortuna da Silva, L., dos Santos Ferreira, M., de Paula Mello, S. D., de Andrade Soares de Oliveira, A. B., Santos da Silva, J. C., and Paulo dos Santos, P. (2023). Análise da conservação dos frascos de insulina em refrigeradores domésticos. *EBSCO*.

Gómez Herrera, C. (2014). Sistema de enfriamiento portátil para transportar y conservar la insulina a una temperatura adecuada. Master's thesis, Universidad Católica de Pereira. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10785/2182>.

He, R.-R., Zhong, H.-Y., Cai, Y., Liu, D., and Zhao, F.-Y. (2017). Theoretical and experimental investigations of thermoelectric refrigeration box used for medical service. In *Proceedings of the 10th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning, ISHVAC2017*, Jinan, China. Insert publisher here, if applicable. \*Corresponding authors: Rong-Rong He and Fu-Yun Zhao.

Maqbool, S., Bajwa, I. S., Maqbool, S., Ramzan, S., and Chishty, M. J. (2023). A smart sensing technologies-based intelligent healthcare system for diabetes patients. *Journal of Healthcare Engineering*. Author to whom correspondence should be addressed: Imran Sarwar Bajwa, Department of Computer Science, The Islamia University of Bahawalpur, Bahawalpur 63100, Pakistan.

Zisser, H. C. (2010). The omnipod insulin management system: The latest innovation in insulin pump therapy. *Diabetes Therapy*. Received: August 6, 2010 / Published online: September 13, 2010.