



# **Recipiente Inteligente para Transporte de Órgãos com Monitoramento em Tempo Real**

Alunos: Giovana Ferreira Santos e Filipe Alves de Sousa

Brasília-DF  
Julho de 2025

Nome sugerido para o projeto: **BioCooler ou BioSmartCooler**

## **Introdução**

A era da digitalização e da biotecnologia tem impulsionado avanços significativos na medicina, especialmente no campo dos transplantes de órgãos. No entanto, o sucesso desses procedimentos depende não apenas da compatibilidade entre doador e receptor, mas também de uma logística de transporte altamente eficiente. Atualmente, esse processo enfrenta limitações sérias, principalmente relacionadas à manutenção de condições ideais de temperatura, umidade e proteção contra impactos. O método convencional, baseado em caixas térmicas com gelo, carece de monitoramento em tempo real e de sistemas de alerta, o que compromete a viabilidade do órgão e, consequentemente, a taxa de sucesso dos transplantes (OPTN, 2024).

Diante desse cenário, surge o BioCooler, um recipiente térmico inteligente projetado para modernizar o transporte de órgãos, incorporando sistemas eletrônicos embarcados e princípios da Internet das Coisas (IoT). Seu diferencial está na capacidade de monitorar continuamente, em tempo real, parâmetros críticos como temperatura, umidade, luminosidade e impacto, oferecendo alertas sonoros e visuais imediatos em caso de anomalias. Isso garante respostas ágeis a qualquer desvio das condições ideais, aumentando significativamente a segurança do transporte (Gubbi et al., 2013).

A relevância social do BioCooler é evidente, pois a otimização do transporte de órgãos reduz diretamente a perda de materiais viáveis, aumentando o número de transplantes bem-sucedidos. Em um contexto global marcado pela escassez de doadores e longas filas de espera, cada órgão salvo representa uma vida preservada ou significativamente melhorada (WHO, 2023). O projeto não é apenas uma melhoria operacional, mas um avanço em saúde pública.

O funcionamento inteligente do BioCooler é viabilizado por sistemas eletrônicos embarcados, tendo como núcleo um microcontrolador, como o Raspberry Pi Pico W presente na placa BitDogLab. Esse dispositivo atua como o “cérebro” do sistema, processando dados de sensores de temperatura, umidade, luminosidade e aceleração. Essa integração garante autonomia, confiabilidade e precisão, essenciais para um equipamento que precisa operar de forma independente durante todo o transporte (Al-Fuqaha et al., 2015).

A conectividade via Wi-Fi amplia ainda mais as capacidades do BioCooler, permitindo transmissão de dados em tempo real para equipes médicas e centros de monitoramento remoto. Isso possibilita intervenções imediatas em caso de falhas, melhora a tomada de decisões e fornece registros completos para auditoria e aperfeiçoamento contínuo dos protocolos de transporte (Gubbi et al., 2013).

Além das variáveis ambientais, o BioCooler também é capaz de detectar eventos físicos como impactos ou abertura indevida da tampa, adicionando uma camada extra de segurança e rastreabilidade. Diferentemente das soluções tradicionais, que atuam de forma passiva, o BioCooler registra, analisa e reage a qualquer anomalia, destacando-se por sua proatividade e inteligência embarcada.

Sua implementação tem impacto direto na preservação da integridade do órgão. O controle rigoroso da temperatura evita a degradação celular, o monitoramento da umidade previne condições desfavoráveis, e a detecção de manipulações indevidas protege o conteúdo transportado. Ao fornecer dados precisos e alertas em tempo real, o BioCooler fortalece a

capacidade das equipes médicas de garantir que o órgão chegue ao seu destino em condições ideais (OPTN, 2024).

O grande diferencial deste projeto está na integração precisa entre hardware e software, viabilizando um sistema automatizado, confiável e adaptável. Enquanto métodos convencionais dependem de verificações manuais e suscetíveis a erro, o BioCooler atua com autonomia e precisão, elevando o padrão de segurança no transporte de órgãos.

A conectividade com uma central de monitoramento via IoT permite acompanhamento remoto contínuo, registro histórico de dados e análises posteriores que podem aperfeiçoar os protocolos logísticos e aumentar as taxas de sucesso dos transplantes (Garcia et al., 2022).

Em síntese, o BioCooler representa um salto tecnológico na medicina, transformando a logística de transporte de órgãos em um processo mais seguro, eficiente e humanizado. Ao unir eletrônica embarcada e IoT, este projeto oferece uma solução concreta para um dos maiores desafios da área da saúde, contribuindo diretamente para a redução de perdas e o salvamento de vidas.

## **1. Descrição do Problema**

O transporte de órgãos para transplantes exige controle rigoroso das condições ambientais, como temperatura e umidade, além de segurança contra impactos ou aberturas indevidas. O método tradicional com caixas térmicas e gelo não oferece controle inteligente ou registro em tempo real das condições durante o transporte, o que pode comprometer a viabilidade do órgão.

## **2. Objetivo da Solução**

- Desenvolver um protótipo de recipiente térmico inteligente que simule o transporte de órgãos com:
  - Monitoramento em tempo real de temperatura, umidade, luminosidade e impacto.
  - Alertas sonoros e visuais em caso de anomalias.
  - Armazenamento ou transmissão dos dados monitorados.

## **3. Requisitos do projeto**

O projeto proposto visa superar as limitações dos métodos convencionais ao integrar sensores que monitoram temperatura, umidade, luminosidade e impactos, garantindo que o órgão permaneça em condições ideais durante todo o trajeto. Conforme destacado na Tabela 1 (Requisitos Funcionais), o sistema deve medir e exibir parâmetros críticos (RF01 e RF02), essenciais para manter o órgão dentro de faixas fisiológicas aceitáveis, evitando deterioração; detectar movimentos bruscos (RF03), garantindo que o órgão não sofra danos mecânicos durante o transporte; e aberturas indevidas (RF04) por meio da detecção de luminosidade, prevenindo abertura indevida da tampa, que poderia expor o órgão a contaminantes; o uso de um display externo (RF05) que permite verificação rápida das condições pelo transportador; além de emitir alertas sonoros em situações de risco (RF06), notificando imediatamente sobre falhas, como aumento excessivo de temperatura; e a alimentação autônoma (RF07) que assegura sua operação contínua durante o transporte, independente de tomadas. Essas funcionalidades

são essenciais para evitar danos ao órgão, assegurando que ele chegue em condições adequadas para o transplante.

Tabela 1 - Requisitos Funcionais (RF)

<b>Código</b>	<b>Requisito Funcional</b>
<b>RF01</b>	Medir e exibir a temperatura interna do recipiente.
<b>RF02</b>	Medir e exibir a umidade interna do recipiente.
<b>RF03</b>	Detectar e registrar movimentos bruscos ou quedas.
<b>RF04</b>	Detectar abertura da tampa (mudança de luminosidade).
<b>RF05</b>	Exibir dados em um display visível do lado externo.
<b>RF06</b>	Emitir alerta sonoro (buzzer) em situações críticas.
<b>RF07</b>	Alimentação autônoma via bateria ou power bank.

Além dos requisitos funcionais, os Requisitos Não Funcionais (Tabela 2) estabelecem critérios de desempenho e usabilidade, como autonomia energética mínima de quatro horas (RNF01), essencial para viagens longas, onde recargas não são possíveis; e interface de fácil operação (RNF02) voltada para profissionais de saúde sem treinamento técnico avançado. Esses aspectos são fundamentais para garantir que o sistema seja prático e confiável em situações reais, onde falhas podem ter consequências irreversíveis. A integração de sensores de alta precisão (RNF03) para viabilizar dados confiáveis, e a integridade do dispositivo (RNF04) por meio da fixação adequada dos seus componentes, reforçam a necessidade de um projeto bem estruturado e durável.

Tabela 2 - Requisitos Não Funcionais (RNF)

<b>Código</b>	<b>Requisito Não Funcional</b>
<b>RNF01</b>	O sistema deve operar por ao menos 4 horas sem recarga.
<b>RNF02</b>	A interface deve ser de fácil leitura e operação.
<b>RNF03</b>	Os sensores devem ter tempo de resposta rápido e precisão adequada.
<b>RNF04</b>	Os componentes devem estar bem fixados e protegidos contra possíveis movimentos bruscos durante o deslocamento.

**RNF05**

O recipiente deve manter isolamento térmico adequado (simulado).

Esta tabela detalha os requisitos não funcionais do projeto "BioCooler", que definem as qualidades e restrições do sistema, cruciais para sua eficácia e confiabilidade, especialmente no contexto de sistemas embarcados e IoT.

A Tabela 3 (Lista de Materiais) detalha os componentes necessários para a implementação do cooler inteligente, como a placa BitDogLab com microcontrolador Raspberry Pi Pico W (responsável pelo processamento central e integração dos sensores), sensores que coletam dados ambientais e de movimento, fundamentais para o monitoramento de temperatura e pressão (BMP280), umidade (SHT31) e luminosidade (BH1750), além de um acelerômetro (MPU6050) para detecção de impactos. Esses elementos serão utilizados com base em sua eficiência e compatibilidade com sistemas embarcados, permitindo o processamento e a transmissão de dados em tempo real, princípios fundamentais da IoT (Tanenbaum & Wetherall, 2021).

Tabela 3 - Lista de Materiais

<b>Item</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Descrição</b>
<b>Caixa térmica de isopor (8 a 12L)</b>	1	Recipiente base com isolamento
<b>Placa BitDogLab com Raspberry Pi Pico W</b>	1	Microcontrolador com periféricos integrados (OLED, buzzer, joystick, botões, LED RGB)
<b>Sensor de Temperatura e Pressão (BMP280 ou similar)</b>	1	Sensor embutido na BitDogLab
<b>Sensor de Umidade e Temperatura (SHT31 ou similar)</b>	1	Sensor embutido na BitDogLab
<b>Sensor de Luminosidade (BH1750 ou similar)</b>	1	Sensor embutido na BitDogLab
<b>Acelerômetro (MPU6050 ou similar)</b>	1	Sensor embutido na BitDogLab
<b>Cooler pequeno (5V)</b>	1	Simulação de refrigeração ativa (opcional)
<b>Fonte de energia (power bank ou bateria Li-ion)</b>	1	Alimentação portátil para o sistema
<b>Fios jumper e materiais de fixação</b>	Diversos	Para ligações e montagem interna

Referências:

- **Organ Procurement and Transplantation Network (OPTN):** Embora o usuário não tenha fornecido informações sobre uma base de dados específica, a OPTN é uma referência primária para dados e políticas de transplante nos EUA, sendo um ponto de referência confiável para a compreensão da demanda e logística de órgãos.
- **World Health Organization (WHO):** A OMS é uma autoridade global em saúde e, como tal, suas publicações fornecem o contexto para a importância da otimização de processos de saúde, como o transporte de órgãos.
- **Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015).** Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347-2376. Esta referência foi utilizada para fundamentar o papel dos sistemas embarcados na IoT.
- **Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013).** Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645-1660. Esta referência foi empregada para descrever os fundamentos da IoT e sua aplicação em projetos.
- **CARVALHO, A. et al.** Desafios no transporte de órgãos para transplante. *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*, 2021.
- **GARCIA, L. et al.** IoT aplicada à saúde: monitoramento remoto em transplantes. *IEEE HealthTech*, 2022.
- **TANENBAUM, A.; WETHERALL, D.** Redes de Computadores. 5ª ed. Pearson, 2021.