

AUTOMATIZAÇÃO IOT DE UM MÓDULO DE CARDIOPLEGIA

João Pedro Gonçalves Cruz, Hélio Lourenço Esperidião Ferreira¹

¹Universidade do Vale do Paraíba/Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova - 12244-000 - São José dos Campos-SP, Brasil, joaopedrocg2003@gmail.com

Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma solução de modernização do Módulo de Cardioplegia CMCAP, substituindo seu painel touchscreen por uma interface móvel controlada via ESP32. Foram estudadas as funções originais do equipamento e implementado um firmware em C++ na Arduino IDE, com aprendizado de programação web para a comunicação entre ESP32 e celular. Ensaios de curta duração (até 10 minutos) confirmaram a fluidez da navegação e o tempo de resposta imperceptível aos comandos simulados. Os testes iniciais evidenciaram a necessidade de implementar TLS para garantir a segurança dos dados e a atenção ao nível de interferências em conexões Bluetooth. A abordagem proposta demonstra viabilidade técnica e oferece mobilidade, flexibilidade e baixo custo para a modernização de dispositivos médicos.

Palavras-chave: ESP32, CMCAP, Automação, Bluetooth

Área do Conhecimento: Engenharias / Engenharia Elétrica / Automação e Controle

Introdução

A parada cardíaca controlada (cardioplegia) é etapa essencial em cirurgias cardíacas, permitindo a parada temporária do miocárdio com segurança e, para isso, precisa de manutenção das condições fisiológicas do paciente, ou seja, um equipamento que faça a função do coração, conforme o manual do fabricante. Para isso, o Módulo de Cardioplegia CMCAP (Figura 1 A) foi desenvolvido pela Cardio Medical Industrial, oferecendo funções integradas de bomba peristáltica, sistema de troca de calor e cronometragem, tudo comandado por um painel touchscreen retroiluminado (Figura 1 B) que monitora temperatura, fluxo e tempo de procedimento.

Figura 1 A -Foto do equipamento CMCAP



Fonte: CARDIO MEDICAL INDUSTRIAL (2024)

Figura 1 B - Display do equipamento presente no CMCAP 001 atualmente



Fonte: CARDIO MEDICAL INDUSTRIAL (2024)

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Embora o painel sensível ao toque forneça uma interface centralizada e multifuncional, ele apresenta limitações inerentes à rigidez de reposição em caso de danos, dependência de manutenção especializada e restrição à mobilidade do operador no ambiente cirúrgico. Além disso, a crescente demanda por soluções de automação flexíveis e de baixo custo tem estimulado o uso de dispositivos móveis — que oferecem conectividade wireless, capacidade de atualização contínua de software e ergonomia aprimorada.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo substituir totalmente o painel físico do CMCAP por uma aplicação móvel executada em smartphone, utilizando um ESP32 como controlador intermediário. A solução prevê comunicação sem fio, replicando todas as funções originais de controle e monitoramento do equipamento. Apresenta-se aqui o desenvolvimento do firmware, a prototipagem da interface de aplicativo responsiva e os testes iniciais de comunicação, estabelecendo as bases para a integração física com o módulo real assim que disponibilizado.

Metodologia

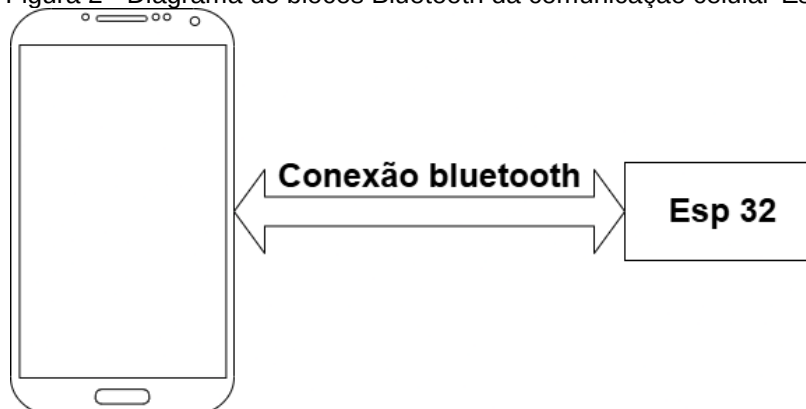
O desenvolvimento deste projeto foi estruturado em etapas que possibilitam sua replicação, mesmo sem o acesso imediato ao equipamento original. Inicialmente, foi realizado um estudo detalhado do manual técnico do Módulo de Cardioplegia CMCAP, com o objetivo de identificar todas as funções operacionais presentes no painel touchscreen, como controle de temperatura, leitura de fluxo, acionamento de bombas e cronômetros. A partir disso, foram mapeados os possíveis sinais de entrada e saída que futuramente serão conectados ao microcontrolador, considerando a lógica de funcionamento e os parâmetros operacionais do equipamento.

Com base nesse levantamento, definiu-se a arquitetura inicial do sistema, adotando-se o ESP32 com tir de LED's e textos enviados, permitindo o desenvolvimento e teste da lógica de controle e comunicação no controlador principal, em razão de sua versatilidade de comunicação via Wi-Fi, Ethernet e Bluetooth. Na ausência de um exemplar físico do CMCAP, sensores e atuadores foram simulados a par de forma autônoma. O firmware foi programado na plataforma Arduino IDE, utilizando a linguagem C++ e bibliotecas específicas para as comunicações via Bluetooth. Foram criados módulos para leitura simulada de sensores (temperatura e fluxo) e controle de saídas digitais (como acionamento de bomba e modos de operação do trocador de calor), além dos módulos de comunicação com o celular.

Paralelamente ao desenvolvimento do firmware, iniciou-se o aprendizado e construção de uma interface no celular que utilizará do Bluetooth do telefone com a ESP32. Essa interface, desenvolvida através da plataforma AppInventor desenvolvido pelo MIT, simula o painel do equipamento, exibindo valores e permitindo o acionamento remoto das funções via navegador do celular. Também foram realizados testes com a comunicação via bluetooth, com mensagens trocadas no formato JSON.

No Bluetooth, há uma comunicação direta entre os dispositivos envolvidos, como demonstrado no diagrama abaixo e junto com ele o código usado para testes iniciais. Trata-se de uma conexão simples e, ao mesmo tempo, robusta. Na figura 2 temos uma demonstração da conexão *Wireless*, mostra um celular se conectando com uma Esp 32.

Figura 2 - Diagrama de blocos Bluetooth da comunicação celular-Esp 32



Fonte: elaborado pelo próprio autor

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

O código (Tabela 1) utilizado conecta o celular ao bluetooth do celular através da biblioteca BluetoothSerial.h onde hora ele enviava uma mensagem hora recebia.

Tabela 1 – Código usado nos testes na Esp 32

```
#include "BluetoothSerial.h" // Inclui a biblioteca para comunicação Bluetooth via porta serial

String device_name = "ESP32-BT-Slave"; // Define o nome do dispositivo Bluetooth

// Verifica se o Bluetooth está habilitado nas configurações do ESP32
#if !defined(CONFIG_BT_ENABLED) || !defined(CONFIG_BLUEDROID_ENABLED)
#error Bluetooth não está habilitado! Execute `make menuconfig` e habilite o Bluetooth
#endif

// Verifica se o perfil SPP (Serial Port Profile) está habilitado
#if !defined(CONFIG_BT_SPP_ENABLED)
#error Perfil de Porta Serial para Bluetooth não está disponível ou não está habilitado. Ele está disponível apenas para o chip ESP32.
#endif

BluetoothSerial SerialBT; // Cria um objeto para comunicação Bluetooth via porta serial

void setup() {
  Serial.begin(115200); // Inicia a comunicação serial com o computador (USB) em 115200 bps
  SerialBT.begin(device_name); // Inicia o Bluetooth com o nome definido
  // SerialBT.deleteAllBondedDevices(); // Descomente esta linha para apagar todos os dispositivos pareados. Deve ser chamada após begin()
  Serial.printf("O dispositivo com nome \"%s\" foi iniciado.\nAgora você pode pareá-lo via Bluetooth!\n", device_name.c_str());
}

void loop() {
  // Se dados estiverem disponíveis na porta serial (USB), envia-os via Bluetooth
  if (Serial.available()) {
    SerialBT.write(Serial.read());
  }

  // Se dados estiverem disponíveis via Bluetooth, envia-os para a porta serial (USB)
  if (SerialBT.available()) {
    Serial.write(SerialBT.read());
  }

  delay(20); // Pequeno atraso para evitar sobrecarga do processador
}
```

Fonte: elaborado pelo próprio autor

A fase inicial de testes junto com uma reunião com a empresa CMI, concluiu que há testes que devem ser feitos a respeito da comunicação, mas já está demonstrando resultados pertinentes e que mostram a viabilidade de continuar com o projeto.

Resultados

Nos ensaios iniciais, realizados em sessões de até 10 minutos, foram avaliada a interface da ESP32 e as opções de comunicação IoT (Bluetooth Classic). Durante esses testes de curta duração, a interface demonstrou excelente desempenho em navegadores móveis, carregando em menos de dois segundos e mantendo navegação fluida entre as telas de controle de bomba, temperatura e cronômetro. As ações

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

do usuário — como toques em botões virtuais para iniciar/parar o cronômetro ou alternar modos de aquecimento/resfriamento — foram refletidas imediatamente no simulador de respostas do ESP32, sem atrasos perceptíveis.

Quanto à transmissão de dados, o Bluetooth Classic demonstrou comunicação rápida e direta entre os dispositivos, conforme ilustrado na Figura 3, que apresenta o monitor serial da IDE Arduino exibindo os dados recebidos pelo ESP32. No entanto, foram observadas pequenas interrupções durante os testes, atribuídas à interferência de múltiplos dispositivos operando na mesma faixa de frequência (2,4 GHz), o que exige atenção especial à estabilidade do sinal, especialmente em ambientes hospitalares onde coexistem diversas tecnologias sem fio.

Figura 3 – Teste com Bluetooth, print do monitor serial da ide do Arduino.

```
load:0x3fff0030,len:1448
load:0x40078000,len:14844
ho 0 tail 12 room 4
load:0x40080400,len:4
load:0x40080404,len:3356
entry 0x4008059c
The device started, now you can pair it with bluetooth!
Ligado
```

Fonte: elaborado pelo próprio autor

A maneira que foi escolhida para fazer um aplicativo protótipo foi o AppInventor do MIT, na figura 4 temos um print da tela, vemos as semelhanças com a figura 1 B, tendo, no lado esquerdo, os controles de Bomba, refrigeração e aquecimento da água que terá a troca de calor com o sangue junto com o controle da temperatura e, no lado direito, controle do cronômetro e vazão do fluxo de sangue.

Figura 4 – Tela do aplicativo protótipo que substituirá a tela mostrada na Figura 1 B.



Fonte: elaborado pelo próprio autor

Esses resultados iniciais reforçam a viabilidade da modernização do CMCAP por meio do controle via dispositivo móvel, embora indiquem a necessidade de novos testes mais longos e a adoção de medidas adicionais de segurança e robustez antes da integração definitiva com o equipamento físico.

Discussão

A avaliação inicial mostrou que a interface web no ESP32 funciona bem em dispositivos de recursos limitados. Nesse contexto, o Bluetooth Classic surge como uma alternativa prática de comunicação, pois facilita o pareamento, é amplamente suportado e elimina a necessidade de infraestrutura de rede

A Ciência do **NANO** e seu impacto transformador no **MACRO**

adicional. Além disso, seu uso reduz a dependência de cabos, favorece a mobilidade e simplifica a integração entre módulos do equipamento.

Apesar de estar sujeito a possíveis interferências no espectro de 2,4 GHz, o Bluetooth apresenta características que atendem às demandas de automação de uma máquina de cardioplegia, equilibrando desempenho, praticidade e confiabilidade. Cabe à empresa Cardio Medical Industrial (CMI) avaliar essa proposta e, posteriormente, conduzir os testes de certificação necessários antes da integração ao módulo físico do CMCAP.

Conclusão

Com base nos estudos realizados, foram levantadas e avaliadas alternativas de comunicação sem fio para a modernização do Módulo de Cardioplegia CMCAP, com destaque para o uso do Bluetooth Classic. Essa tecnologia apresenta-se como uma solução de integração simples, permitindo conexão direta entre dispositivos sem a necessidade de infraestrutura de rede. Além disso, o processo de emparelhamento é rápido e intuitivo, o que favorece sua aplicação em ambientes hospitalares, onde praticidade e confiabilidade são essenciais.

Entre as principais vantagens do Bluetooth, destacam-se a facilidade de implementação, a compatibilidade com diversos dispositivos e o baixo consumo de energia, características que contribuem para a automação de sistemas médicos como a máquina de cardioplegia. Essa abordagem possibilita maior mobilidade aos operadores, elimina a dependência de cabos e oferece uma interface de comunicação estável em curtas distâncias, suficiente para a integração entre módulos do equipamento.

As opções levantadas, com suas respectivas vantagens e limitações, serão apresentadas à empresa Cardio Medical Industrial (CMI), que definirá qual solução será incorporada ao sistema. A depender da resposta da empresa, outras tecnologias de comunicação poderão ser investigadas futuramente, com o objetivo de garantir a melhor adequação técnica e operacional ao ambiente hospitalar.

Referências

CARDIO MEDICAL INDUSTRIAL. Manual de Operação do Módulo de Cardioplegia CMCAP. Rev. 06, 2024.

NEWTON C. BRAGA. Comunicando-se via MQTT com o ESP32 – MIC404. Disponível em: <https://www.newtoncbraga.com.br/microcontroladores/143-tecnologia/17117-comunicando-se-via-mqtt-com-o-esp32-mic404.html>. Acesso em: 17 mai. 2025.

TEST MOSQUITTO. Eclipse Mosquitto Test Server. Disponível em: <https://test.mosquitto.org/>. Acesso em: 17 mai. 2025.

RODRIGUES, B. Protocolo MQTT: um pilar da comunicação em IoT. LinkedIn, 2023. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/protocolo-mqtt-um-pilar-da-comunica%C3%A7%C3%A3o-em-iot-jxmzf>. Acesso em: 27 maio 2025.

Agradecimentos

Agradeço à Metrocert pela parceria e apoio técnico imprescindíveis ao longo de todo o desenvolvimento deste trabalho, fornecendo orientações e recursos para a validação dos procedimentos de calibração e certificação. Meu agradecimento também à Cardio Medical Industrial (CMI) pela disponibilização de informações detalhadas sobre o Módulo de Cardioplegia CMCAP, bem como pela abertura de diálogo que possibilitou a elaboração deste projeto de modernização e a futura integração física do sistema.