

22ª Semana Nacional de Ciência e Tecnologia do IFBA - 2025

Do Sertão ao Mar: Conexões entre Territórios, Saberes e Águas
21 a 25 de Outubro de 2025 - BA - Brasil

Desenvolvimento de um Protótipo de Mão Robótica Controlada por Bluetooth via Aplicativo Móvel

Autores

André da Silva Caldas Chagas ¹

Daniel dos Anjos Costa ²

Lara Reis Dórea ³

Área Temática: CIEX - Ciências Exatas e da Terra

Palavras-chave: Robótica, Arduino, Impressão 3D, Prótese, Bluetooth.

RESUMO - A robótica e a tecnologia de impressão 3D têm se destacado como ferramentas poderosas para a criação de soluções acessíveis e funcionais na área de próteses e dispositivos assistivos. O presente projeto resultou no desenvolvimento de uma mão robótica de baixo custo, fabricada com a tecnologia de impressão 3D e controlada remotamente. Utilizando o microcontrolador Arduino Uno R3, programado através da Arduino IDE, cinco servo motores SG90 atuam como músculos artificiais para a articulação dos dedos. A comunicação sem fio é estabelecida por um módulo Bluetooth HC-05, que recebe comandos de um aplicativo móvel customizado. O sistema mecânico emprega fios de nylon e elásticos para simular o funcionamento de tendões, garantindo os movimentos de flexão e extensão dos dedos de forma precisa e funcional.

INTRODUÇÃO

A robótica, em conjunto com a cultura maker e a impressão 3D, tem democratizado o acesso a tecnologias antes restritas a grandes centros de pesquisa. No campo da saúde e da tecnologia assistiva, essa combinação possibilita a criação de próteses e dispositivos robóticos de baixo custo, sem comprometer a funcionalidade. Projetos de código aberto e plataformas como o Arduino também impulsionam a inovação, permitindo que estudantes e pesquisadores desenvolvam soluções acessíveis para problemas reais.

Entre os avanços mais notáveis, destacam-se os robôs humanoides, projetados para

¹André da Silva Caldas Chagas; IFBA Santo Amaro, andrecaldas753@gmail.com.

²Me. Daniel dos Anjos Costa; IFBA Santo Amaro, daniel.anjos@ifba.edu.br.

³Lara Reis Dórea; IFBA Santo Amaro, larareisdorea@gmail.com.

simular de forma realista movimentos e expressões humanas. Esses sistemas têm aplicações que vão desde a reabilitação de pacientes até o apoio em tarefas de risco, além de contribuir para o estudo da interação entre seres humanos e máquinas.

Neste contexto, este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma mão robótica impressa em 3D, desde sua concepção até a programação do sistema de controle. O projeto busca demonstrar a viabilidade de construir um dispositivo funcional utilizando componentes de baixo custo e ferramentas acessíveis, controlado de forma intuitiva por um aplicativo móvel.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção descreve as tecnologias de hardware e software utilizadas no desenvolvimento da mão robótica, com ênfase nos componentes principais que permitem a articulação, o controle e a comunicação do sistema. A Tabela 1 apresenta um resumo das principais tecnologias usadas.

Tabela 1. Tecnologias utilizadas para a construção da mão

Tecnologia	Descrição
Servomotor SG90	O servomotor é motor de corrente contínua (CC) com a capacidade de controle do ângulo de rotação do seu eixo. O modelo SG90 é amplamente utilizado em projetos de robótica devido ao seu baixo custo e fácil integração com microcontroladores. Ele é capaz de realizar movimentos angulares de 0° a 180°, o que o torna ideal para aplicações que requerem controle preciso de posição. O controle da rotação é feito com sinais PWM (<i>Pulse Width Modulation</i>), onde a largura do pulso determina o ângulo de rotação (Datasheet TowerPro, 2024).
Arduíno Uno R3	O Arduino Uno R3 é uma placa de prototipagem baseada no microcontrolador ATmega328P. Possui 14 pinos digitais de entrada/saída, sendo 6 deles com capacidade PWM, e 6 entradas analógicas, o que o torna adequado para controle de servomotores. A plataforma é conhecida por sua simplicidade e ampla documentação, o que facilita o desenvolvimento de projetos de robótica educacional e de baixo custo. No sistema proposto, o Arduino Uno atua como unidade de controle central, recebendo comandos do aplicativo móvel e acionando os servos de acordo com a lógica implementada no código (Arduino, 2025).
Módulo Bluetooth HC-05	O HC-05 é um módulo transceptor Bluetooth que permite a comunicação serial sem fio entre um microcontrolador e outros dispositivos, como smartphones, tablets ou computadores. Operando como uma ponte transparente, ele facilita o

	envio e recebimento de dados, eliminando a necessidade de conexões físicas. No projeto da mão robótica, ele é fundamental para receber os caracteres de comando enviados pelo aplicativo móvel e repassá-los ao Arduino Uno, que por sua vez, interpreta esses comandos para acionar os servomotores.(HC-05 Datasheet, 2010).
Baterias 18650	Baterias são fontes de tensão e corrente contínua comumente utilizadas em sistemas robóticos para garantir a autonomia energética. As baterias 18650 são construídas com íon de lítio (Li-ion) e são recarregáveis. Essas baterias são conhecidas por sua alta densidade energética e operam com uma tensão de 4.2V quando totalmente carregadas. (18650 Battery Datasheet, 2025).
Impressão 3D (PLA)	A tecnologia de impressão 3D tem a capacidade de construir fisicamente objetos em formatos variados usando a técnica FDM (Modelagem de Deposição Fundida) que constrói formas com a deposição de materiais fundidos. Um dos materiais mais utilizados em impressão 3D é o filamento de PLA (Ácido Polilático), um polímero termoplástico biodegradável derivado de fontes renováveis. O PLA é popular em prototipagem rápida por sua facilidade de impressão, boa rigidez estrutural e baixo custo, sendo ideal para criar as peças complexas e articuladas que compõem a mão robótica. (Ficha Técnica PLA, 2017).

DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento da mão robótica exigiu a integração entre a estrutura mecânica, componentes eletrônicos e a programação do sistema de controle para permitir a movimentação articulada dos dedos. Nesta seção, são detalhadas as etapas de construção do protótipo, desde a montagem física até a configuração da comunicação sem fio e a programação do microcontrolador. A abordagem adotada busca criar um dispositivo funcional, capaz de replicar os movimentos de abrir e fechar de uma mão humana através de comandos enviados por um aplicativo *mobile*.

MONTAGEM FÍSICA DO SISTEMA

Na construção do projeto, foram utilizados os servomotores SG90 como atuadores principais, responsáveis por controlar o movimento dos dedos da mão robótica. Diferente de motores de corrente contínua, os servos permitem um controle preciso do ângulo de giro do seu eixo, o que é fundamental para o esquema de movimentação articulada dos dedos. Cada servomotor foi acoplado a um sistema de fios (que simulam tendões humanos) que, ao serem tracionados, provocam o fechamento ou abertura do dedo correspondente. A

estrutura da mão, impressa em 3D, foi projetada especificamente para abrigar esses motores e garantir que a mecânica do movimento fosse fluida e eficiente. A estrutura física do sistema é apresentada na Figura 01 juntamente com a interface do aplicativo *mobile*.

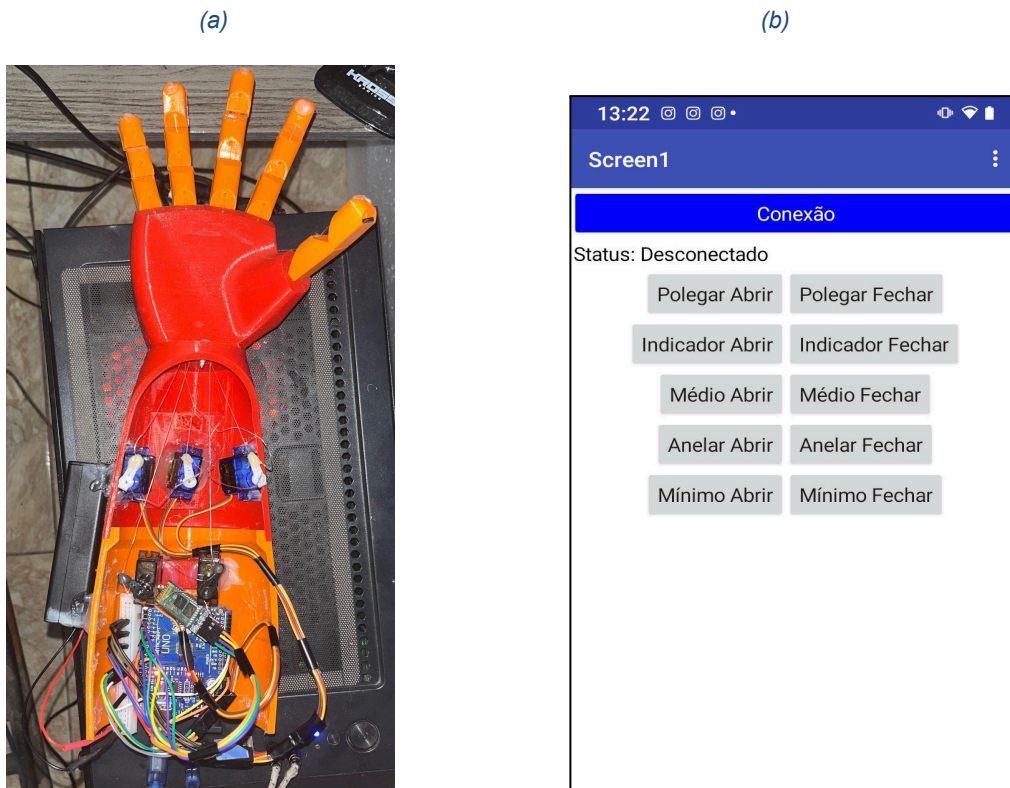


Figura 1. Estrutura Física do Sistema (a) e interface do aplicativo mobile (b).

A comunicação entre o usuário e a mão robótica é estabelecida pelo módulo *Bluetooth* HC-05. Este componente atua como uma ponte sem fio, recebendo os comandos enviados a partir de um aplicativo mobile e retransmitindo-os para o microcontrolador. Seus pinos de transmissão (TX) e recepção (RX) foram conectados ao Arduino, permitindo uma comunicação serial para o recebimento das instruções de controle, conforme apresentado na Figura 2.

Conforme o esquema do projeto, o circuito integra como unidade de controle principal o Arduino Uno. Ele contém o código embarcado de controle, responsável por processar os dados recebidos via Bluetooth e executar as ações de movimentação. O Arduino interpreta os comandos recebidos do aplicativo e envia os respectivos sinais de controle PWM (Pulse Width Modulation) ao atuador (servomotor) em questão. Esses sinais comandam o ajuste incremental do ângulo para o qual cada servo deve se mover, resultando na ação precisa e controlada de cada dedo.

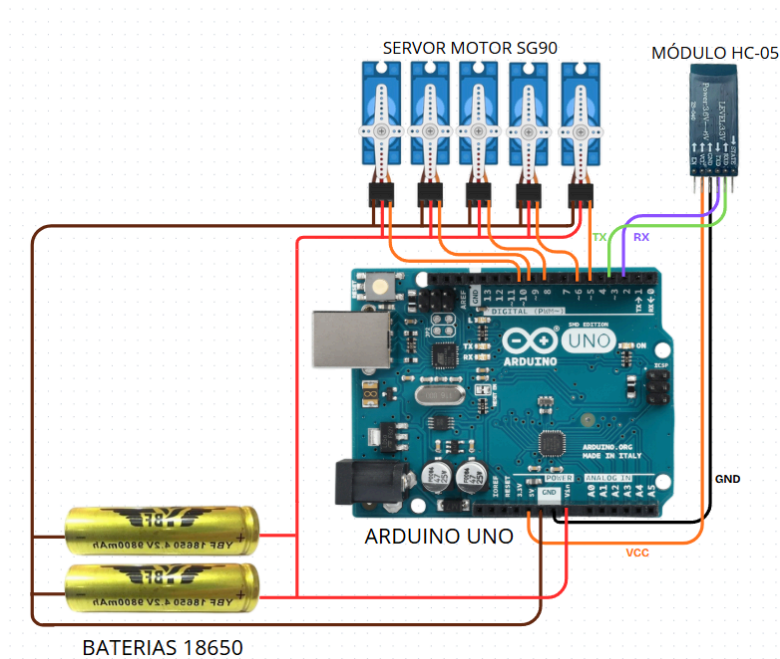


Figura 2. Esquema do Circuito Eletrônico do Sistema.

MONTAGEM LÓGICA DO SISTEMA

Nesta seção apresentaremos os componentes lógicos do sistema que governa o comportamento da mão robótica, dividindo a lógica entre a configuração inicial dos componentes e o fluxo de controle principal que interpreta os comandos do usuário. Este código é a base para a funcionalidade do projeto, permitindo que a mão responda em tempo real aos comandos enviados pelo aplicativo via *Bluetooth*.

A Figura 3 apresenta as seções iniciais do código, focando na inclusão de bibliotecas, definição de variáveis e na configuração inicial. Primeiramente, são incluídas as bibliotecas essenciais: `#include <SoftwareSerial.h>`, para gerenciar a comunicação com o módulo *Bluetooth* em pinos digitais específicos do Arduino, e `#include <Servo.h>`, que simplifica o controle dos servomotores.

Em seguida, são definidos os pinos do módulo *Bluetooth* HC-05: `pinBtRx` como o pino digital 2 (onde o Arduino recebe dados via *Bluetooth*) e `pinBtTx` como o pino digital 3 (onde o Arduino envia dados via *Bluetooth*). A linha 8 instância a comunicação *SoftwareSerial* com o objeto `bluetooth`, utilizando os pinos definidos. Logo após, são criados cinco objetos do tipo `Servo` (`myservoPolegar`, `myservoIndicador`, `myservoMedio`, `myservoAnelar` e `myservoMindinho`), um para cada dedo, facilitando o controle individual de cada atuador.

A função `void setup()` é executada uma única vez ao ligar o Arduino. Nela, a comunicação serial padrão (`Serial.begin(9600)`) é iniciada para depuração, e a comunicação com o módulo *Bluetooth* (`bluetooth.begin(9600)`) é estabelecida na mesma taxa.

```

1  #include <SoftwareSerial.h>
2  #include <Servo.h>
3
4  // Define os pinos do Arduino para a comunicacao com o modulo HC-05
5  #define PIN_BT_RX 2 // RX do Arduino (vai para o TX do HC-05)
6  #define PIN_BT_TX 3 // TX do Arduino (vai para o RX do HC-05)
7
8  SoftwareSerial bluetooth(PIN_BT_RX, PIN_BT_TX);
9
10 // Objetos Servo
11 Servo myservoPolegar; // Pino 9
12 Servo myservoIndicador; // Pino 10
13 Servo myservoMedio; // Pino 5
14 Servo myservoAnelar; // Pino 8
15 Servo myservoMindinho; // Pino 6 (INVERTIDO)
16
17 // Variaveis para armazenar a posicao atual (angulo) de cada servo
18 int anguloPolegar = 0;
19 int anguloIndicador = 0;
20 int anguloMedio = 0;
21 int anguloAnelar = 0;
22 int anguloMindinho = 180; //INVERTIDO
23
24 const int passo = 10; // Move 10 graus por comando
25
26 void setup() {
27     Serial.begin(9600);
28     bluetooth.begin(9600);
29
30     // Anexa os 5 servos aos pinos digitais do Arduino
31     myservoPolegar.attach(9);
32     myservoIndicador.attach(10);
33     myservoMedio.attach(5);
34     myservoAnelar.attach(8);
35     myservoMindinho.attach(6);

```

Figura 3. Primeira Parte do Pseudocódigo de controle da mão.

Em seguida, as linhas 31 a 35 utilizam o comando *attach()* para associar cada objeto servo à sua respectiva porta física no Arduino, conectando *myservoPolegar* ao pino 9, *myservoIndicador* ao pino 10, *myservoMedio* ao pino 5, *myservoAnelar* ao pino 8 e *myservoMindinho* ao pino 6, conforme o esquema elétrico.

A Figura 4 descreve a lógica principal do programa, que é executada repetidamente dentro da função void *loop()*. Esta é a função principal do programa Arduino e é o coração do sistema de controle remoto da mão robótica, responsável por ouvir, interpretar e reagir aos comandos recebidos via *Bluetooth*.

A lógica principal começa com a declaração de uma variável *char recebido*; que será utilizada para armazenar o caractere enviado pelo aplicativo. Em seguida, o código verifica se há dados disponíveis para leitura na comunicação *Bluetooth*, utilizando a condição *if (bluetooth.available())*. Isso garante que o programa só tente ler algo se houver realmente um dado recebido pelo módulo HC-05.

Em seguida, uma estrutura condicional é utilizada para interpretar o comando recebido. Cada caractere corresponde a um movimento incremental para um dedo específico. Por exemplo, se o caractere recebido for 'A', o ângulo do servo do dedo mindinho é decrementado em 10 graus, abrindo-o um pouco. Se for 'B', o ângulo é incrementado em 10 graus, fechando-o. O mesmo padrão se repete para os outros dedos, cada um associado a um par de caracteres. Este método permite um controle em tempo

real e preciso do posicionamento de cada dedo, pois enquanto o usuário mantém um botão pressionado no aplicativo, uma sequência de caracteres é enviada, resultando em um movimento contínuo e suave.

```
44 void loop() {
45     // Verifica se há dados disponíveis no buffer do Bluetooth
46     if (bluetooth.available() > 0) {
47         char recebido = bluetooth.read();
48
49         //Mindinho (Pino 6) - INVERTIDO (Comando 'A'/'B')
50         if (recebido == 'A') { // Ajusta anguloMindinho para ABRIR (diminui o angulo ate 0)
51         } else if (recebido == 'B') { // Ajusta anguloMindinho para FECHAR (aumenta o angulo ate 180)
52         }
53
54         //Anelar (Pino 8) - (Comando 'C'/'D')
55         else if (recebido == 'C') { // Ajusta anguloAnelar para ABRIR (aumenta o angulo ate 180)
56         } else if (recebido == 'D') { // Ajusta anguloAnelar para FECHAR (diminui o angulo ate 0)
57         }
58
59         //Médio (Pino 5) - PADRÃO (Comando 'E'/'F')
60         else if (recebido == 'E') { // Ajusta anguloMedio para ABRIR (aumenta o angulo ate 180)
61         } else if (recebido == 'F') { // Ajusta anguloMedio para FECHAR (diminui o angulo ate 0)
62         }
63         //Indicador (Pino 10) - PADRÃO (Comando 'G'/'H')
64         else if (recebido == 'G') { // Ajusta anguloIndicador para ABRIR (aumenta o angulo ate 180)
65         } else if (recebido == 'H') { // Ajusta anguloIndicador para FECHAR (diminui o angulo ate 0)
66         }
67
68         //Polegar (Pino 9) - PADRÃO (Comando 'I'/'J')
69         else if (recebido == 'I') { // Ajusta anguloPolegar para ABRIR (aumenta o angulo ate 180)
70         } else if (recebido == 'J') { // Ajusta anguloPolegar para FECHAR (diminui o angulo ate 0)
71         }
72     }
73 }
```

Figura 4. Segunda Parte do Pseudocódigo de controle da mão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A implementação da mão robótica seguiu uma lógica embarcada baseada na comunicação serial via *Bluetooth*, permitindo o controle remoto e incremental dos movimentos de cada dedo com alta precisão. Durante os testes, verificou-se que a tradução dos comandos de incremento e decremento, enviados continuamente pelo aplicativo, em sinais PWM para os servos proporcionou uma resposta fluida e em tempo real, confirmando a superioridade desta abordagem de controle em relação a movimentos pré-definidos.

A resposta dos servos motores SG90, controlados pelo Arduino Uno, contribuiu para movimentos articulados e finamente ajustáveis. Os resultados mostraram que a capacidade de controlar cada servo em pequenos passos de 10 graus foi crucial para alcançar posições intermediárias e simular um agarre mais natural, compensando variações na montagem e na tração dos "tendões" de nylon.

Além disso, a integração das baterias 18650 garantiu um fornecimento estável de energia, permitindo que a mão operasse com desempenho consistente durante as demonstrações, sem comprometer a autonomia. O chassi impresso em PLA, conforme a Figura 02, demonstrou ser resistente e adequado para abrigar os componentes internos, protegendo o sistema eletrônico e os servos, além de oferecer uma plataforma robusta para as articulações dos dedos. A organização interna dos fios e a fixação da tampa superior contribuirão para a robustez e a estética final do protótipo.

CONCLUSÕES

O desenvolvimento e a implementação do protótipo da mão robótica demonstram o potencial da robótica como uma ferramenta para a interação humano-máquina, além de servir como um valioso projeto educacional em sistemas embarcados. A capacidade de controlar individualmente e de forma incremental os movimentos dos dedos via Bluetooth validou o conceito de um dispositivo de interface mais preciso, interativo e funcional.

A escolha do Arduino Uno como plataforma de controle revelou-se estratégica. Sua vasta documentação, a facilidade de uso da biblioteca Servo.h e o robusto suporte da comunidade facilitaram sobremaneira o desenvolvimento e a otimização do código. A implementação de um sistema de controle baseado em lógica incremental mostrou-se altamente eficaz, capacitando a mão robótica a executar movimentos complexos e precisos que não seriam possíveis com comandos básicos de abrir/fechar. Os testes experimentais conduzidos validaram a estratégia adotada, confirmando a eficiência da abordagem desenvolvida para o desempenho do protótipo.

Como aprimoramento futuro, pretende-se explorar a implementação de um sistema de captura de movimento em tempo real, onde uma câmera capturaria os movimentos da mão humana do usuário e os replicaria de forma autônoma na mão robótica. Além disso, propõe-se a otimização da resposta tátil no aplicativo, a calibração automática dos limites dos servos e a exploração de um design ainda mais ergonômico. Adicionalmente, a otimização da estética e a miniaturização do sistema eletrônico podem tornar o protótipo mais ergonômico e aplicável em diversos contextos. Dessa forma, este projeto não só reforça a relevância do ensino de robótica e eletrônica, mas também promove ativamente o aprendizado prático em áreas cruciais como programação, fabricação digital e sistemas embarcados, preparando os estudantes para os desafios tecnológicos do futuro.

REFERÊNCIAS

Arduino (2025). “Uno R3”. Disponível em: [UNO R3 | Arduino Documentation](#). Acesso em: 24 set. 2025.

grossrc. (2018). *Robotic Prosthetic Hand*. Thingiverse. Disponível em: [Robotic Prosthetic Hand by grossrc - Thingiverse](#). Acesso em: 24 set 2025.

Módulo Bluetooth HC-05. (s.d.). *Datasheet e Guia de Conexão*. Disponível em: [HC-05 Datasheet.pdf](#). Acesso em: 24 set. 2025.

Ryonicle. (2016). *Assembly of 3D Printed Prosthetic Hand | From Thingiverse*. YouTube. Disponível em: [\(20103\) Assembly of 3D Printed Prosthetic Hand | From Thingiverse - YouTube](#). Acesso em: 24 set. 2025.

Servo Motor SG90. (s.d.). *Especificações Técnicas (Datasheet)*. Disponível em: [87897 Datasheet EN](#). Acesso em: 24 set. 2025.