

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE JUNDIAÍ DEPUTADO ARY FOSSEN**

ADRIANO RODRIGUES LINS JUNIOR  
GUSTAVO TAVARES RIBEIRO  
MATHEUS ARI FERREIRA

**BRAÇO ROBÓTICO SCARA**  
Relatório de braço robótico desenvolvido

JUNDIAÍ  
2024

ADRIANO RODRIGUES LINS JUNIOR  
GUSTAVO TAVARES RIBEIRO  
MATHEUS ARI FERREIRA

**BRAÇO ROBÓTICO SCARA**  
Relatório de braço robótico desenvolvido

Trabalho desenvolvido como  
forma de avaliação para a matéria  
de Robótica Industrial

Profº Herbert Rodrigues

JUNDIAÍ  
2024

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	04
<b>2 DESCRIÇÃO DO BRAÇO ROBÓTICO.....</b>	05
<b>3 CONSTRUÇÃO DO BRAÇO ROBÓTICO.....</b>	07
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS.....	07
3.2 PROCEDIMENTOS.....	08
3.2.1 MONTAGEM DA ESTRUTURA.....	08
3.2.2 MONTAGEM DO CIRCUITO ELETRÔNICO.....	21
3.2.3 ELABORAÇÃO DO CÓDIGO-FONTE.....	23
<b>4 FUNCIONAMENTO DO BRAÇO ROBÓTICO.....</b>	25
4.1 PROPOSTAS DE TESTES.....	25
4.2 RESULTADOS.....	25
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	34
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	35

## **1 INTRODUÇÃO**

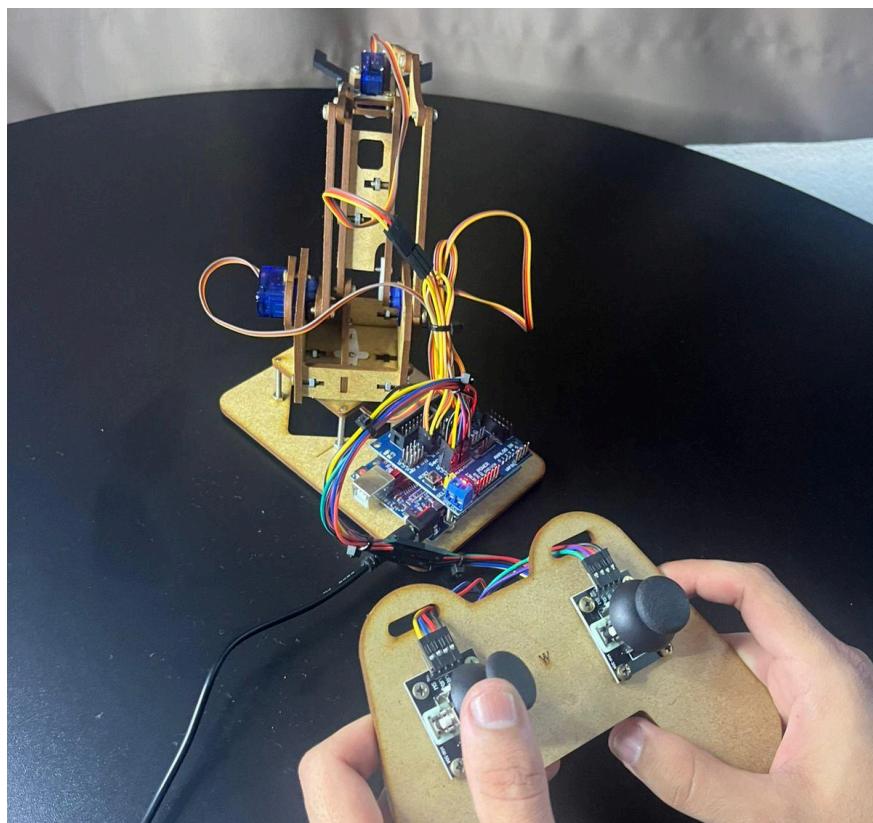
O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um projeto de braço robótico SCARA, visando criar uma solução funcional e de fácil reprodução para demonstrar os conceitos estudados na disciplina de Robótica Industrial. Utilizando componentes acessíveis como MDF e Arduino Uno, o braço foi projetado para replicar movimentos humanos por meio de servomotores e ser controlado por joysticks, permitindo manipulação precisa de objetos. O projeto abrange desde a concepção e montagem da estrutura até a implementação do sistema de controle eletrônico e o desenvolvimento do código de operação, com foco na simplicidade e eficiência dos movimentos.

## 2 DESCRIÇÃO DO BRAÇO ROBÓTICO

Este projeto de braço robótico foi concebido como uma solução simples e funcional, com uma construção fácil de ser reproduzida. Para isso, o grupo optou por elaborar um chassi em MDF e utilizar componentes eletrônicos acessíveis e de fácil manuseio, como a placa de prototipagem Arduino Uno SMD R3.

Um braço robótico deve ser projetado para replicar movimentos humanos e permitir a manipulação de objetos. Com isso, o projeto foi desenvolvido para ser articulado por meio de vários eixos controlados por servomotores, além de uma garra que pode abrir e fechar para pegar ou soltar itens. A movimentação do braço é realizada por dois joysticks (esquerdo e direito), que enviam sinais para os servomotores, ajustando suas posições de acordo com os movimentos do usuário que controla os joysticks.

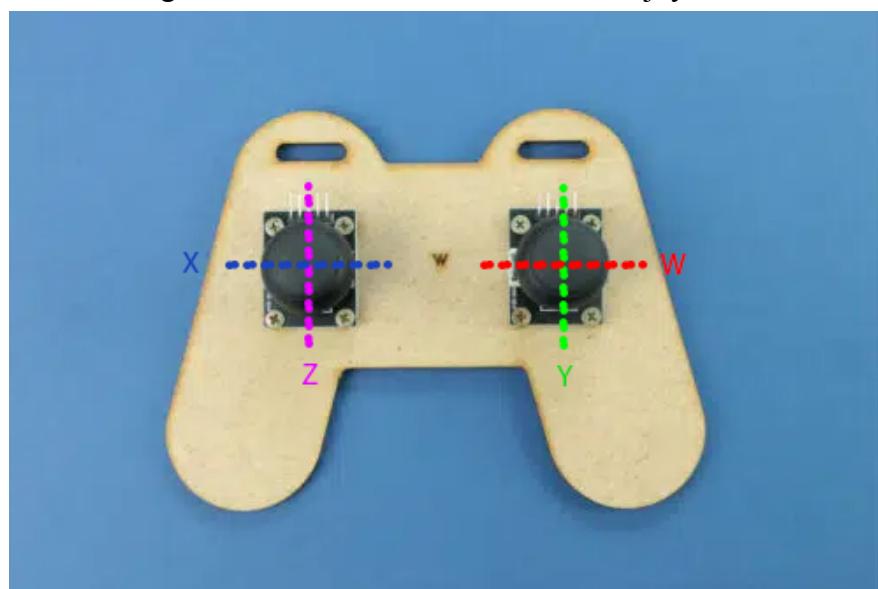
Figura 1 - Braço robótico desenvolvido.



Fonte: dos autores.

Cada movimento do braço robótico é lido por meio de um sistema de controle eletrônico baseado em uma placa Arduino Uno. Utilizando sensores e servomotores, o braço é capaz de realizar quatro movimentos principais: lateral (X), frente/trás (Y), vertical (Z) e controle da abertura/fechamento da garra (W). O joystick direito é responsável pelos movimentos dos eixos Y e W, enquanto o joystick esquerdo é responsável pelos movimentos dos eixos X e Z.

Figura 2 - Controles do robô através do joystick.



Fonte: dos autores.

As leituras dos joysticks variam de  $0^\circ$  a  $180^\circ$ , e os micro servomotores utilizados, responsáveis pela movimentação dos eixos, também operam dentro desse intervalo. Portanto, é possível afirmar que, quando o usuário pressionar o joystick na posição inicial ( $0^\circ$ ), o eixo estará em  $0^\circ$ . Ao mover o joystick para a outra extremidade, o eixo será ajustado para  $180^\circ$ . Dessa forma, os eixos X, Y, Z e W possuem uma angulação máxima de  $180^\circ$ , permitindo o controle preciso de cada movimento dentro desse intervalo.

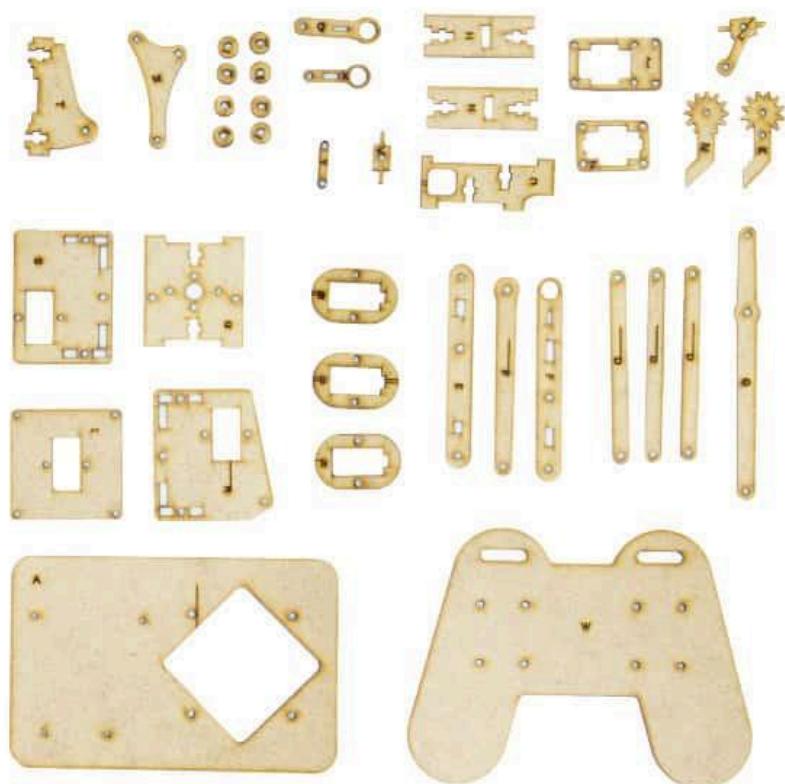
O código-fonte do braço robótico, que implementa as funcionalidades descritas, foi desenvolvido na linguagem Wire, utilizando a IDE Arduino. Nele, realiza-se a leitura contínua dos valores dos joysticks, ajustando a posição dos servomotores conforme os movimentos executados. Dessa forma, o braço é capaz de realizar os movimentos correspondentes aos comandos do usuário de forma intuitiva e sem interrupções, garantindo uma operação suave e eficiente.

### 3 CONSTRUÇÃO DO BRAÇO ROBÓTICO

#### 3.1 Materiais utilizados

O braço robótico foi construído utilizando peças de MDF (Medium Density Fiberboard), um material amplamente empregado na construção civil devido à sua versatilidade, durabilidade e custo acessível. O MDF permite ser cortado, lixado, perfurado e pintado com facilidade, proporcionando uma variedade de acabamentos. Além disso, sua alta resistência mecânica favoreceu a criação de peças robustas e duráveis. A Figura 3 apresenta as peças desenvolvidas em MDF, identificadas em ordem alfabética.

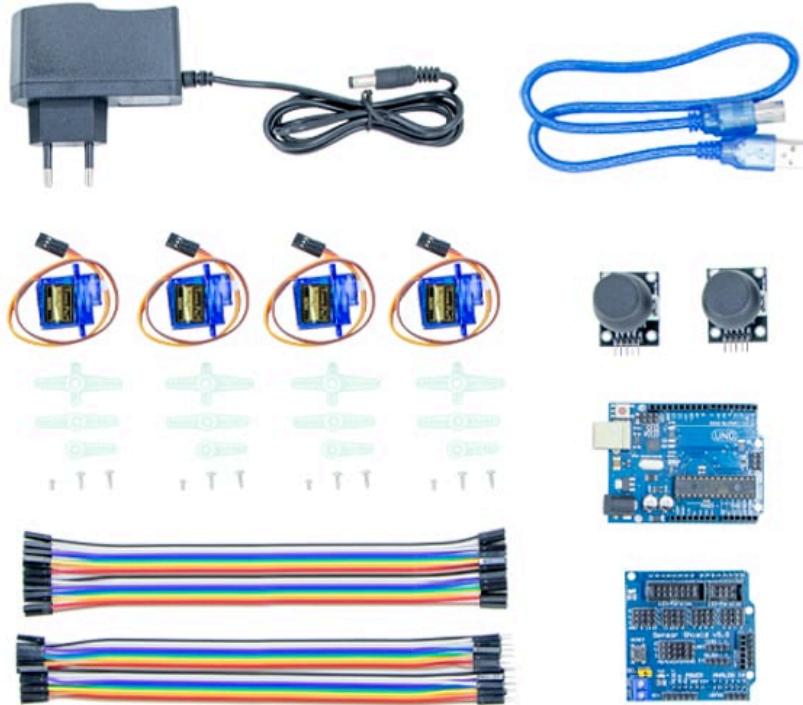
Figura 3 - Peças em MDF que compõem o braço robótico.



Fonte: dos autores.

Para o funcionamento do robô, foi utilizada uma placa de prototipagem Arduino Uno SMD R3 como dispositivo central, responsável por receber informações e comandos, além de controlar os demais componentes eletrônicos. O Arduino foi escolhido por ser uma das plataformas eletrônicas mais populares e de fácil uso, facilitando a integração de hardware e software de forma simplificada. No projeto, foi conectado ao Arduino um Sensor Shield V5.0, que simplificou a ligação de diversos componentes. Foram utilizados quatro micro servomotores de 180°, acompanhados por quatro hélices cruz, quatro hélices duplas e quatro hélices simples, responsáveis pela movimentação do braço robótico, além de dois joysticks para o controle manual. Para completar o circuito, foram utilizados jumpers e uma fonte de 9V para a alimentação do sistema.

Figura 4 - Componentes elétricos e eletrônicos utilizados no braço robótico.



Fonte: dos autores.

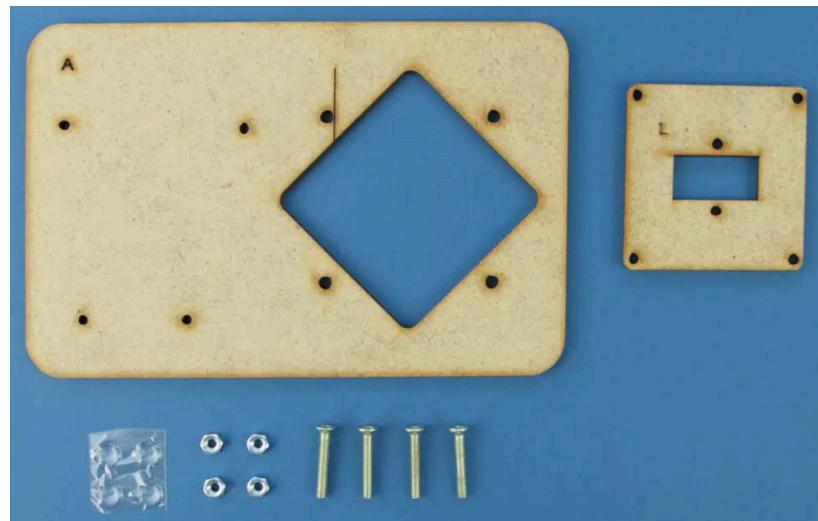
### 3.2 Procedimentos

A montagem do braço robótico foi realizada em três etapas principais, cada uma desempenhando um papel fundamental para o funcionamento do projeto. A primeira etapa consistiu na montagem da estrutura do robô, envolvendo a fixação de todos os componentes mecânicos, como articulações, base e garras. Na etapa seguinte, foi elaborado e instalado o circuito eletrônico, interligando todos os componentes necessários para o funcionamento do sistema. Por fim, na terceira etapa, desenvolveu-se o código-fonte responsável pelo controle do braço robótico, permitindo o acionamento e a coordenação dos movimentos.

#### 3.2.1 Montagem da estrutura

A construção da base do braço robótico constituiu a primeira etapa da montagem da estrutura do projeto. Para essa fase, foram utilizadas as peças de MDF identificadas pelas letras A e L, juntamente com quatro parafusos grandes, quatro porcas e quatro adesivos anti-impacto. Esses elementos foram essenciais para garantir a estabilidade e fixação da estrutura inicial do robô.

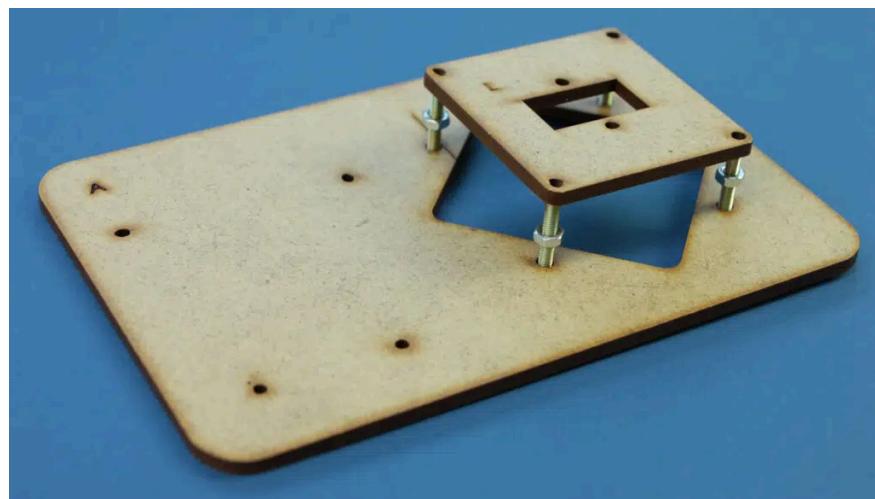
Figura 5 - Materiais utilizados para a montagem da base do braço robótico.



Fonte: dos autores.

Os quatro parafusos foram inseridos pela parte traseira da base maior (A). Em seguida, foram fixadas quatro porcas sobre esses parafusos, e, posteriormente, foi posicionada a base menor (L), completando a montagem da estrutura inicial. A base do braço robótico possui comprimento de 14,5cm e largura de 9,5cm.

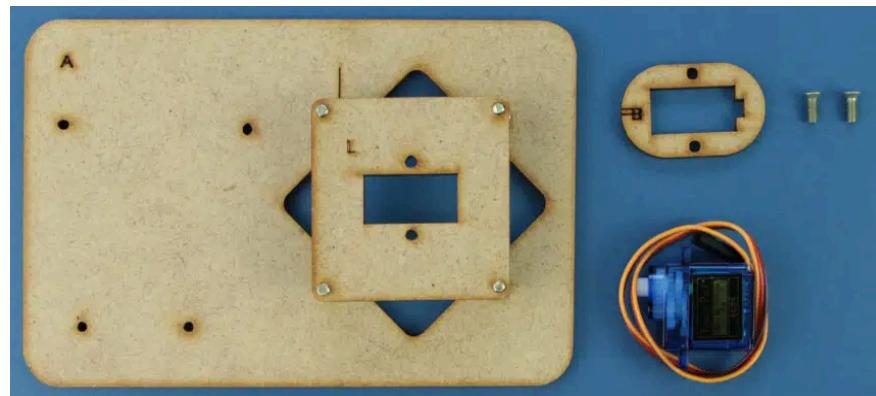
Figura 6 - Base do braço robótico montada.



Fonte: dos autores.

Na etapa seguinte, foi fixado o servomotor responsável pelo controle do eixo X do braço robótico. Para essa montagem, utilizou-se o conjunto previamente preparado, além da peça de MDF identificada como B, dois parafusos e um micro servomotor.

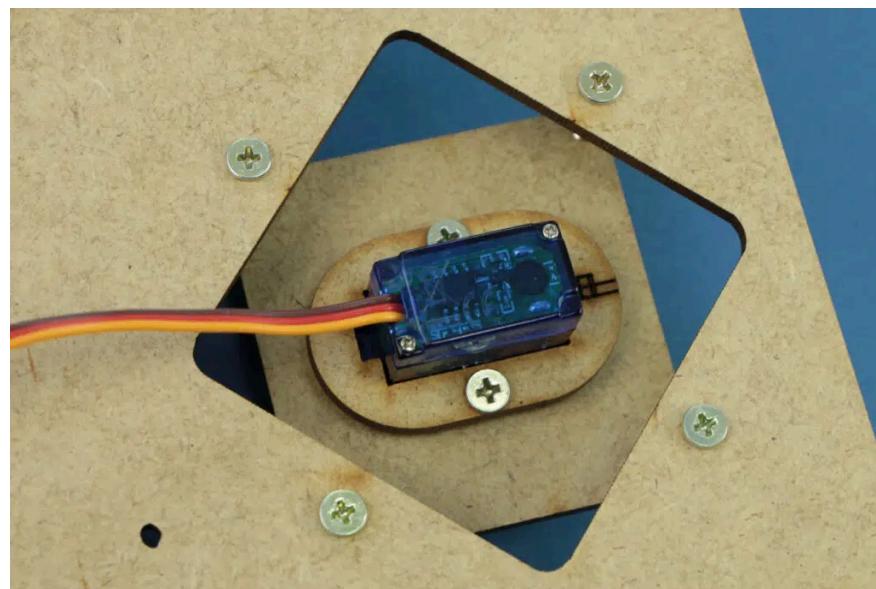
Figura 7 - Materiais utilizados para realizar a fixação do micro servomotor responsável pelo controle do eixo X.



Fonte: dos autores.

Primeiramente, o micro servomotor foi encaixado na peça B. Em seguida, essa peça, já equipada com o micro servomotor, foi fixada à base utilizando os dois parafusos. O resultado dessa etapa pode ser observado na Figura 8.

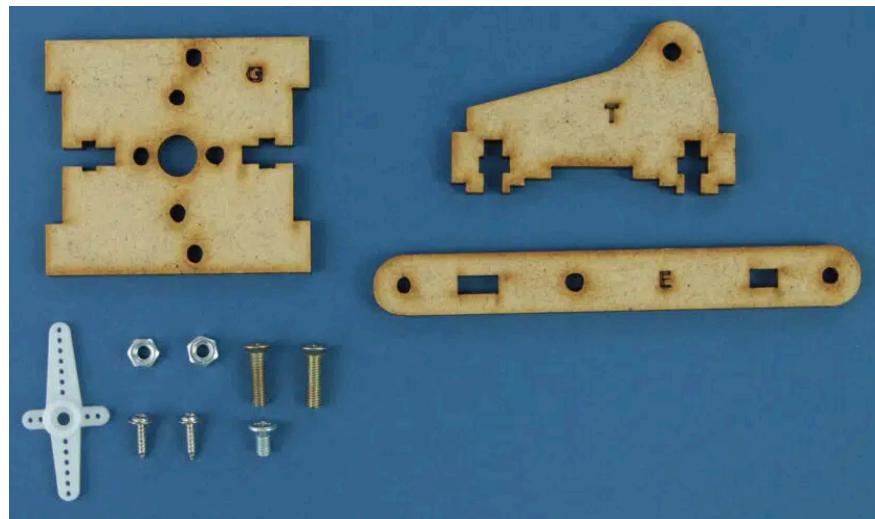
Figura 8 - Micro servomotor fixado na peça B e na base.



Fonte: dos autores.

A próxima etapa envolveu a montagem da "cintura" do braço robótico, uma peça intermediária responsável por conectar a base ao topo do projeto. Para essa montagem, foram utilizadas as peças E, G e T, além de uma hélice cruz, duas porcas e cinco parafusos de tamanhos variados.

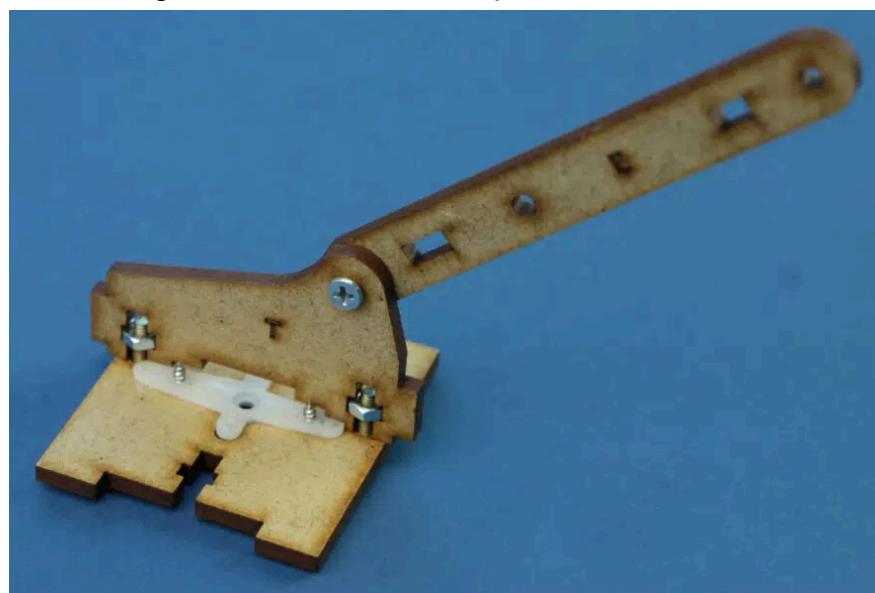
Figura 9 - Materiais utilizados para a montagem da “cintura” do braço robótico.



Fonte: dos autores.

A hélice em formato de cruz foi fixada na peça G com dois parafusos grandes. Em seguida, outros dois parafusos foram inseridos na parte inferior da peça G e travados com duas porcas na parte superior, garantindo o encaixe seguro da peça T. Por fim, a peça E foi fixada à peça T com o parafuso restante. O resultado dessa etapa pode ser observado na Figura 10. A “cintura” do braço robótico possui 15cm de comprimento e 4,9cm de largura.

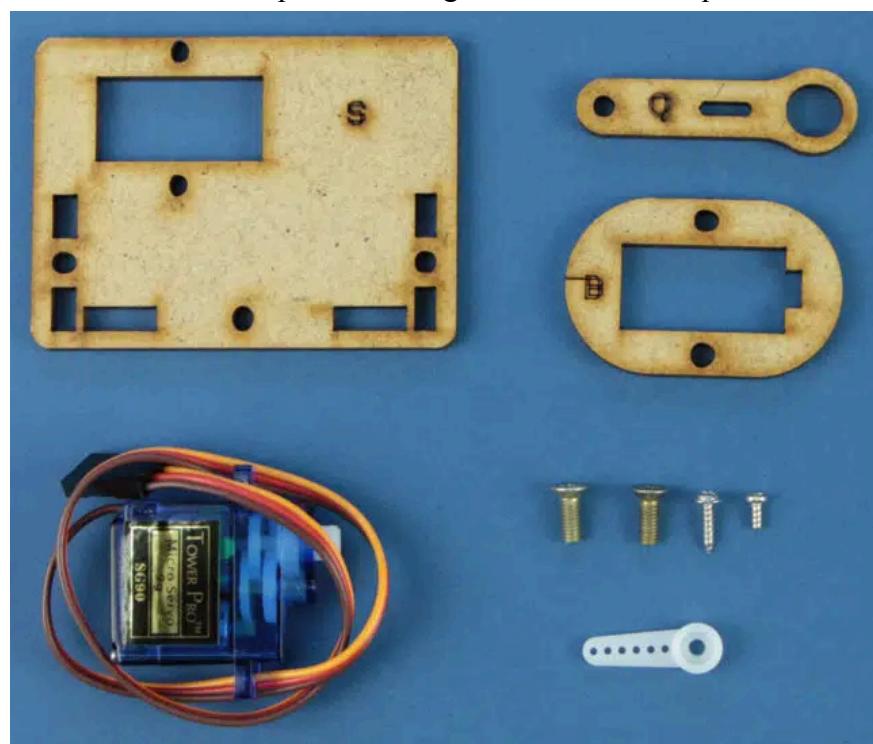
Figura 10 - “Cintura” do braço robótico montada.



Fonte: dos autores.

A etapa seguinte envolveu a montagem do "ombro" esquerdo do braço robótico. Para essa fase, foram utilizadas as peças B, Q e S, uma hélice simples, um micro servomotor para o controle do eixo Y e quatro parafusos de tamanhos variados.

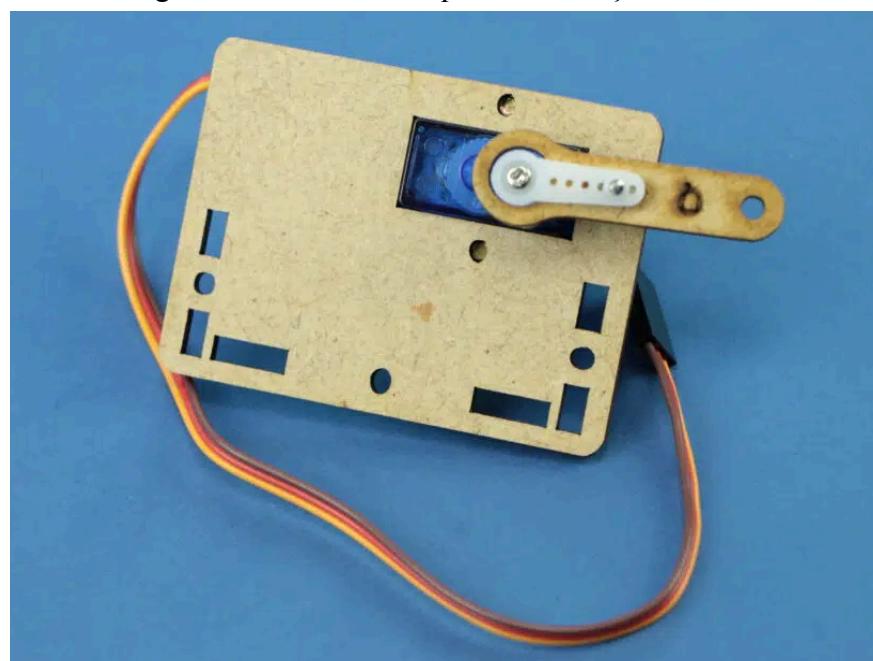
Figura 11 - Materiais utilizados para a montagem do “ombro” esquerdo do braço robótico.



Fonte: dos autores.

Primeiramente, o micro servomotor foi encaixado na peça B. Em seguida, a peça B foi fixada na peça S com dois parafusos. Por fim, a hélice simples foi presa na peça Q, que foi então encaixada no eixo do micro servomotor. O resultado dessa etapa pode ser observado abaixo.

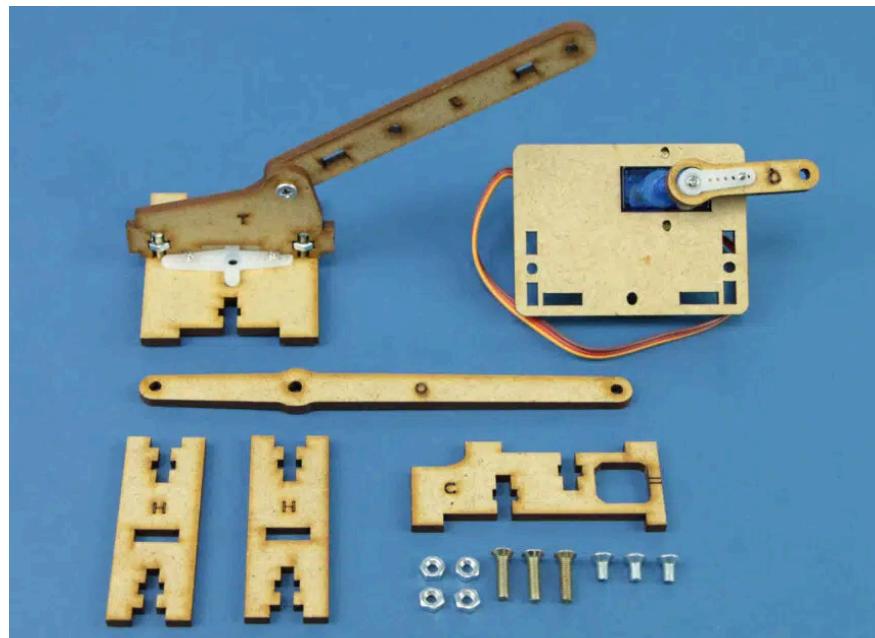
Figura 12 - “Ombro” esquerdo do braço robótico.



Fonte: dos autores.

Agora, foi necessário encaixar o "ombro" esquerdo na "cintura". Para isso, além das estruturas mencionadas, foram utilizadas as peças C, D, H e O, juntamente com quatro porcas e seis parafusos de tamanhos variados.

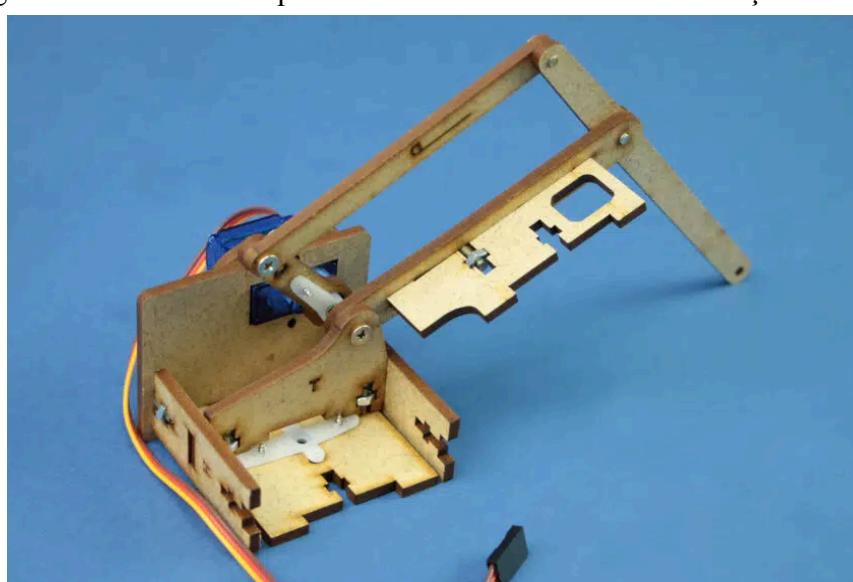
Figura 13 - Materiais utilizados para encaixar o “ombro” esquerdo na “cintura” do braço robótico.



Fonte: dos autores.

O primeiro passo foi encaixar as duas peças H na peça T da "cintura" e fixá-las com três parafusos grandes e três porcas. Em seguida, a peça O foi presa à peça E com um parafuso menor. Por fim, utilizando os dois parafusos restantes, a peça D foi fixada à peça O e à peça Q. O resultado dessa etapa pode ser observado abaixo.

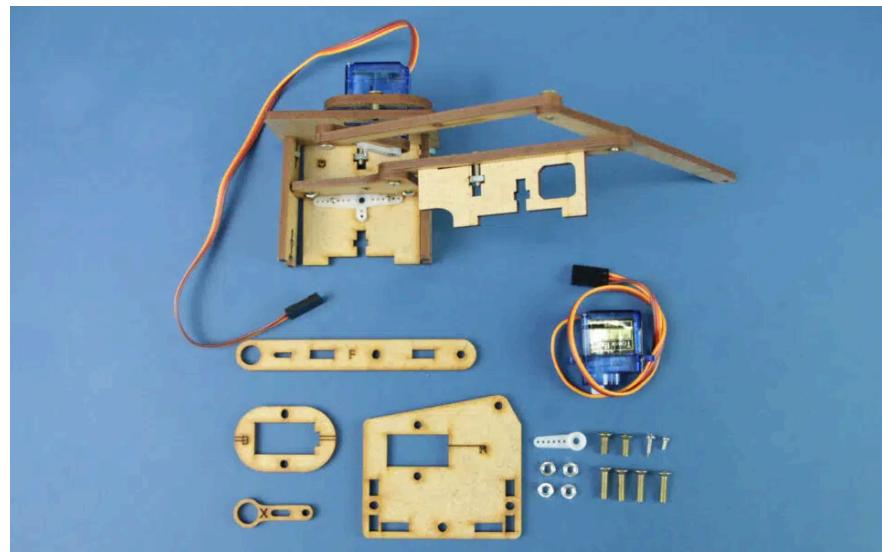
Figura 14 - “Ombro” esquerdo encaixado na “cintura” do braço robótico.



Fonte: dos autores.

A próxima etapa na montagem do braço robótico foi a construção do "ombro" direito, que foi dividida em duas partes para facilitar o entendimento. Na primeira parte, utilizou-se o conjunto montado na etapa anterior, juntamente com as peças B, F e R, um servomotor para o controle do eixo Z, uma hélice simples, quatro porcas e oito parafusos de tamanhos variados.

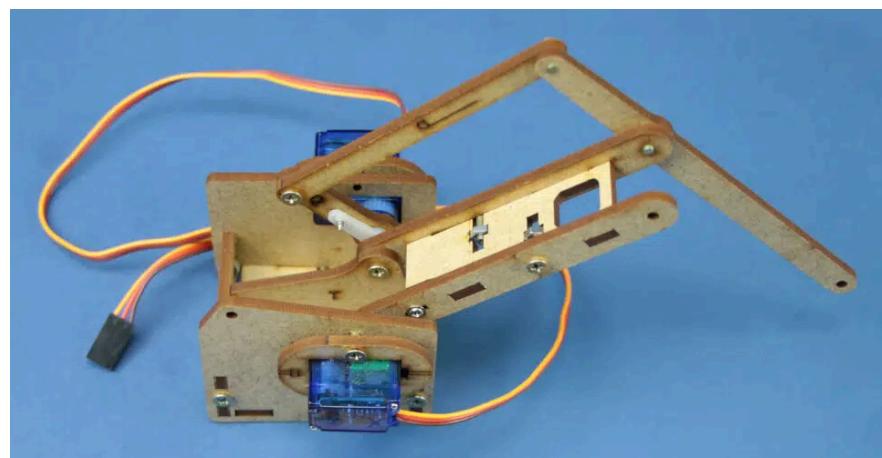
Figura 15 - Materiais utilizados na primeira parte da montagem do “ombro” direito do braço robótico.



Fonte: dos autores.

Nessa etapa, iniciou-se fixando a peça R ao conjunto montado na etapa anterior. Em seguida, o micro servomotor foi encaixado na peça B e a hélice simples foi fixada na peça F. Por fim, todas essas peças foram conectadas ao conjunto principal, completando a primeira parte da montagem do "ombro" direito.

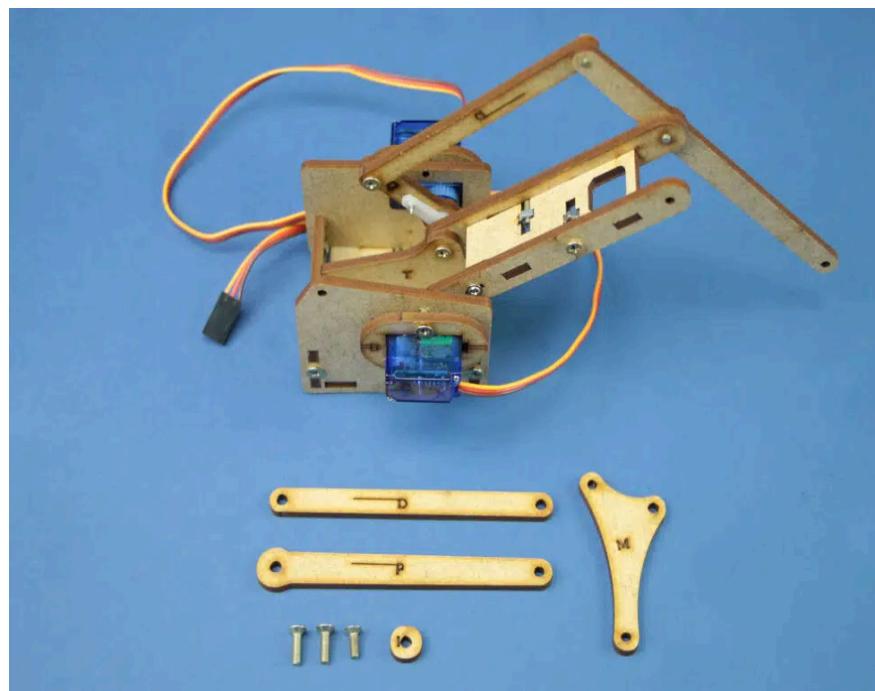
Figura 16 - Primeira parte da montagem do “ombro” direito do braço robótico.



Fonte: dos autores.

Na segunda etapa da construção do "ombro" direito do braço robótico, utilizou-se o conjunto montado na primeira parte, juntamente com as peças D, I, M e P, além de parafusos e porcas de tamanhos variados.

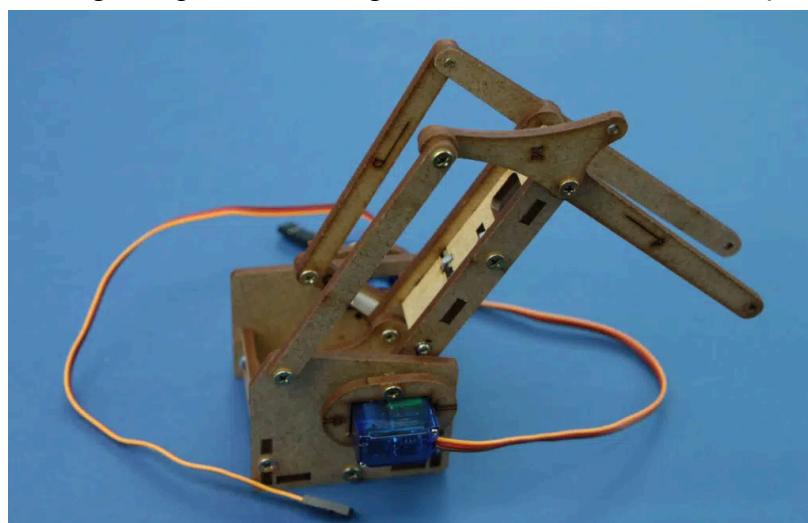
Figura 17 - Materiais utilizados na segunda parte da montagem do “ombro” direito do braço robótico.



Fonte: dos autores.

As peças P e M foram fixadas à peça F utilizando um parafuso grande. Em seguida, as peças I e D foram fixadas à peça M com outro parafuso. Por fim, a peça D foi fixada à peça R, completando a montagem do “ombro” direito. O “ombro” do robô, no total, possui 10,1cm de comprimento e 3,1cm de largura.

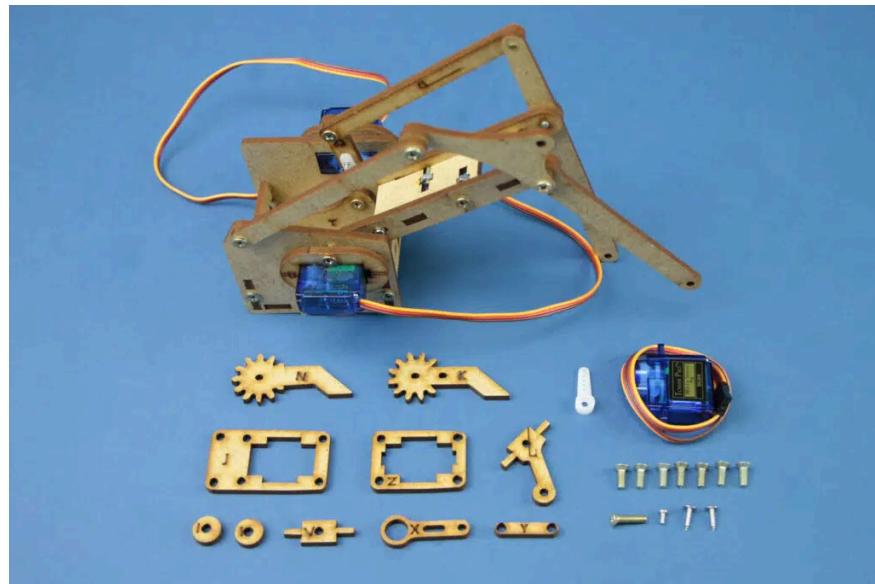
Figura 18 - Segunda parte da montagem do “ombro” direito do braço robótico.



Fonte: dos autores.

Na etapa seguinte, foi realizada a montagem das garras do braço robótico. Para isso, utilizaram-se as peças I, J, K, N, U, V, X, Y e Z, além de um micro servomotor para o movimento do eixo W, uma hélice simples e dez parafusos de tamanhos variados.

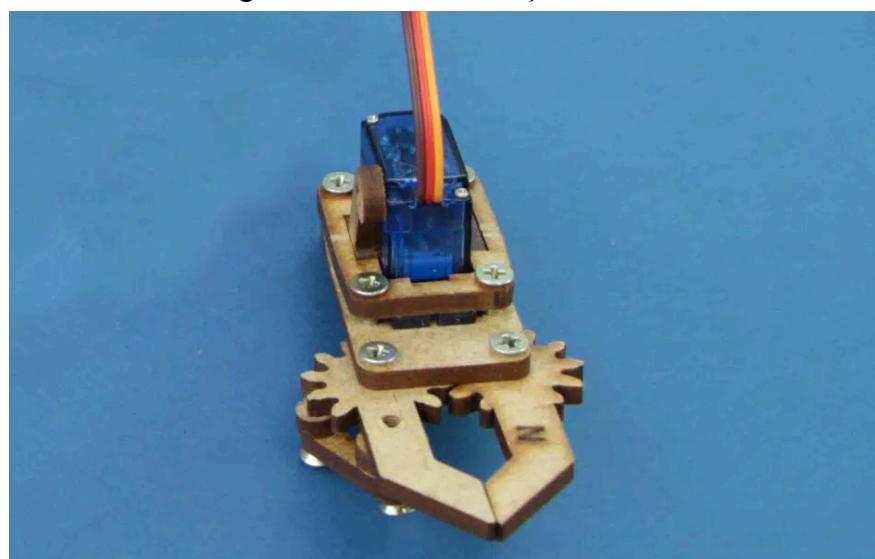
Figura 19 - Materiais utilizados na montagem das garras do braço robótico.



Fonte: dos autores.

Iniciou-se encaixando a peça U entre o micro servomotor e a peça Z. Em seguida, no lado oposto, posicionou-se a peça V entre o servomotor e a peça Z. Posteriormente, as peças Z e K foram fixadas à peça J com parafusos. Por fim, a hélice simples foi presa na peça X e, em seguida, acoplada ao eixo do motor. A garra do braço robótico, quando fechada, apresentou um comprimento de 5,5 cm e uma largura de 3,7 cm. Ao ser totalmente aberta, a garra possui uma abertura máxima de 180°, alcançando um comprimento de 2 cm e uma largura de 10 cm.

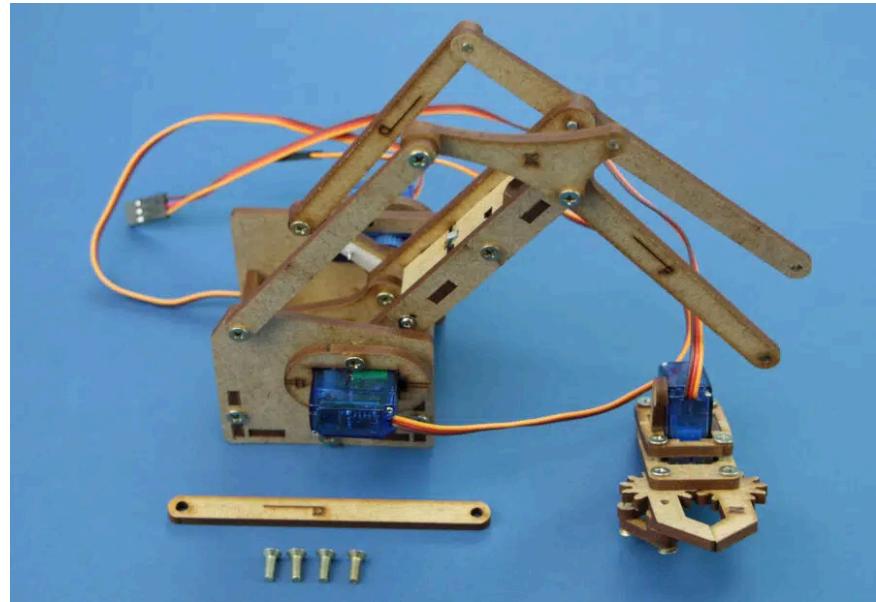
Figura 20 - Garra do braço robótico.



Fonte: dos autores.

Agora, a garra será conectada à estrutura montada até o momento. Para isso, utilizaremos os dois conjuntos já montados, a peça D e quatro parafusos.

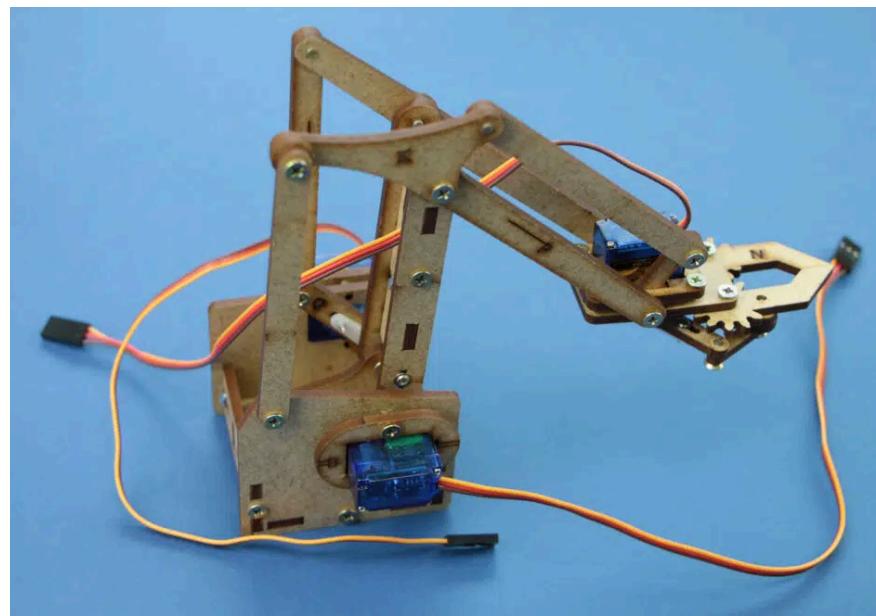
Figura 21 - Materiais utilizados na conexão da garra à estrutura montada até o momento.



Fonte: dos autores.

Nesta etapa, conectamos a peça D às peças M do conjunto maior e à peça U da garra.

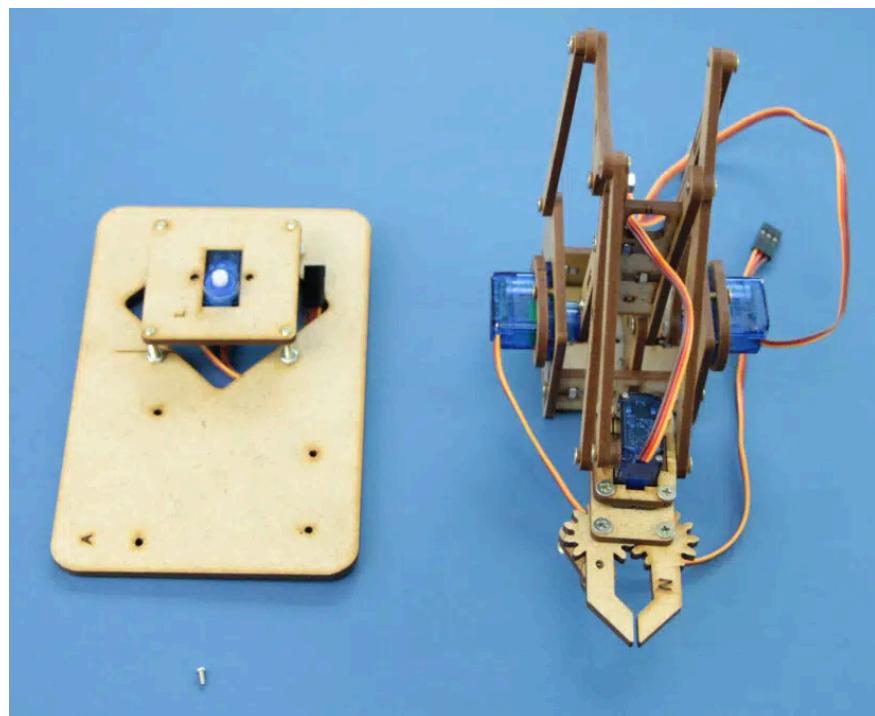
Figura 22 - Garra conectada ao corpo do braço robótico.



Fonte: dos autores.

Agora, chegou o momento de unir a base ao braço robótico. Para isso, foi utilizado um pequeno parafuso e os dois conjuntos montados até então.

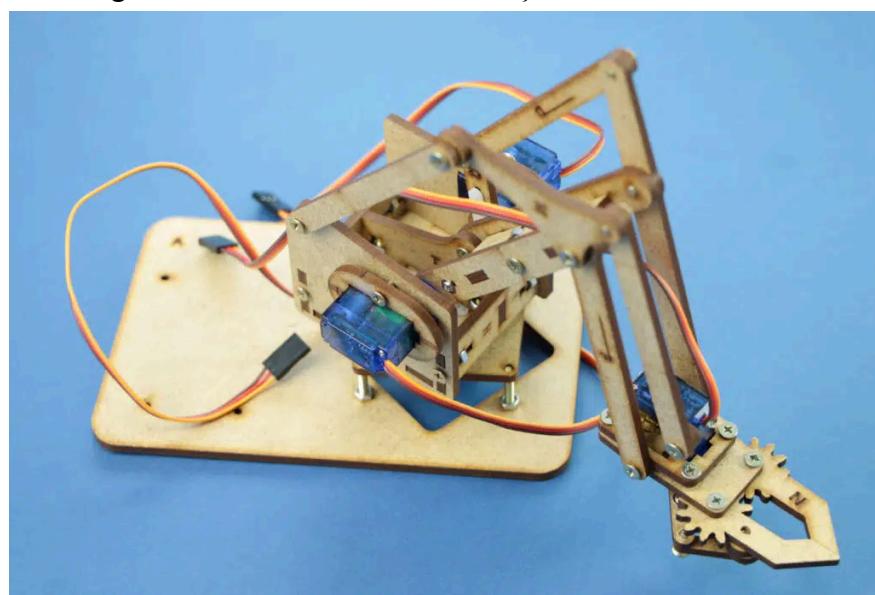
Figura 23 - Materiais utilizados na conexão do braço robótico à base.



Fonte: dos autores.

Essa etapa é simples, consistindo apenas na conexão entre as estruturas por meio do parafuso. O resultado pode ser visto na Figura 24.

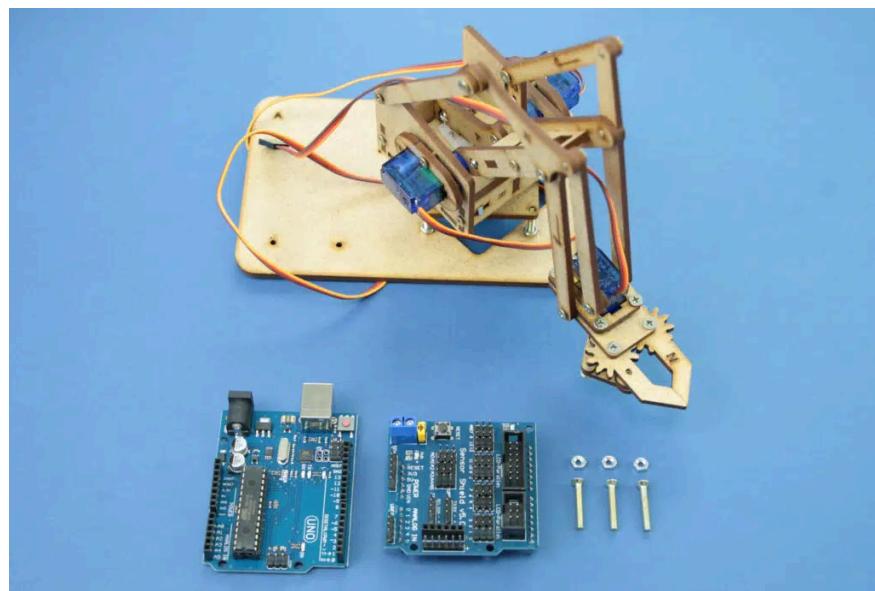
Figura 24 - Estrutura MDF do braço robótico finalizada.



Fonte: dos autores.

Uma das etapas finais da montagem do braço robótico consiste em fixar a placa Arduino Uno e o Sensor Shield na base do braço robótico. Para isso, utilizou-se a estrutura completa do braço, a placa Arduino Uno, o Sensor Shield e alguns parafusos.

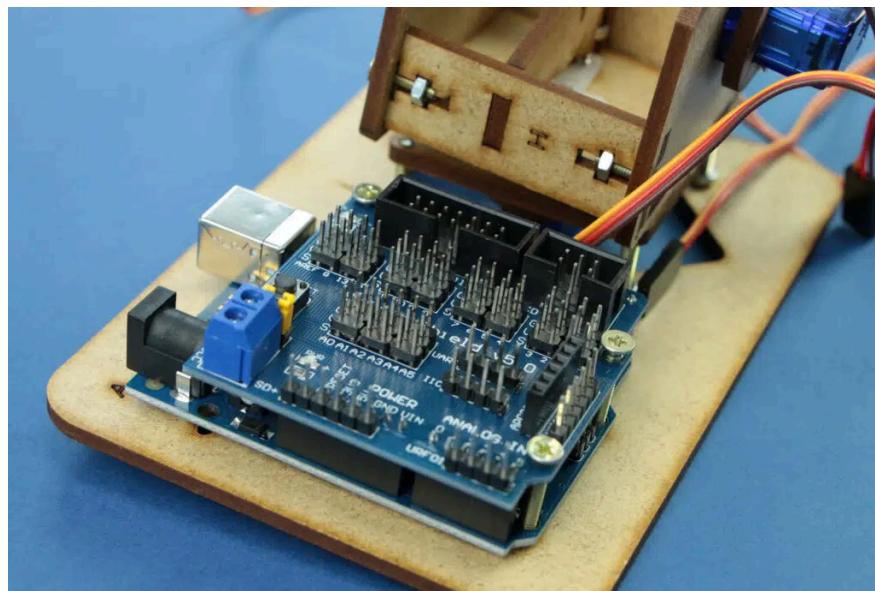
Figura 25 - Materiais utilizados na conexão do Arduino Uno e do Sensor Shield à base do braço robótico.



Fonte: dos autores.

A montagem em si foi simples. Bastou conectar os dispositivos na base do braço robótico e fixá-los com os parafusos e porcas.

Figura 26 - Arduino Uno e Sensor Shield conectados à base do braço robótico.



Fonte: dos autores.

O último passo para concluir a montagem do braço robótico é preparar o controle que será utilizado para sua movimentação. Para isso, utilizou-se a peça em MDF identificada como W, dois joysticks, além de oito porcas e oito parafusos pequenos.

Figura 27 - Materiais utilizados para a montagem do controle.



Fonte: dos autores.

Usando os parafusos e porcas, os joysticks foram fixados na peça W. O resultado pode ser visto na Figura 28.

Figura 28 - Controle do braço robótico.



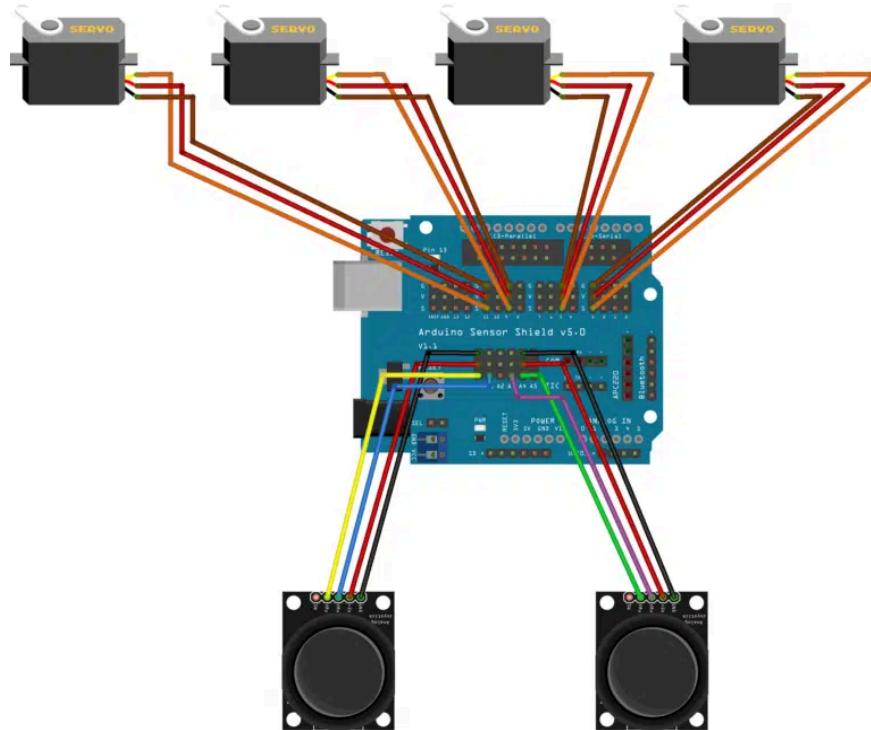
Fonte: dos autores.

Após a realização das etapas mencionadas até aqui, toda a estrutura do braço robótico foi montada.

### 3.2.2 Montagem do circuito eletrônico

A montagem do circuito eletrônico foi realizada com base no esquema mostrado na Figura 29.

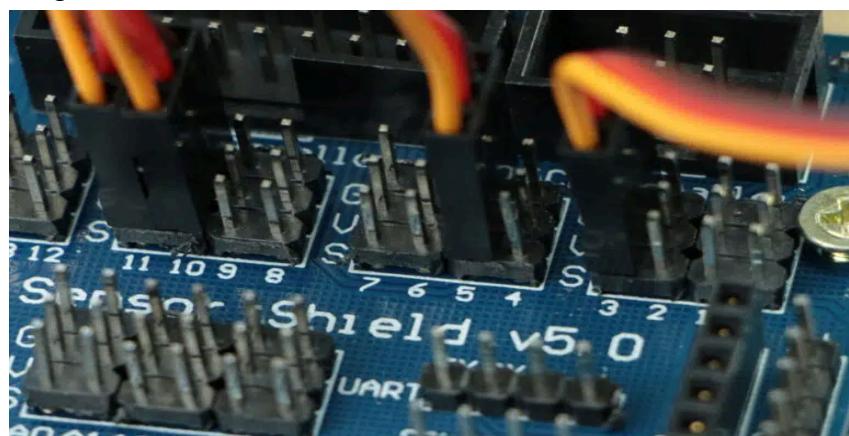
Figura 29 - Esquemática eletrônica do projeto.



Fonte: dos autores.

Iniciou-se a montagem conectando os quatro micro servos ao Sensor Shield. O jumper laranja de cada servo foi ligado à linha S do Sensor Shield, o jumper vermelho à linha V e o jumper marrom à linha G.

Figura 30 - Conexão dos micro servomotores ao Server Shield.



Fonte: dos autores.

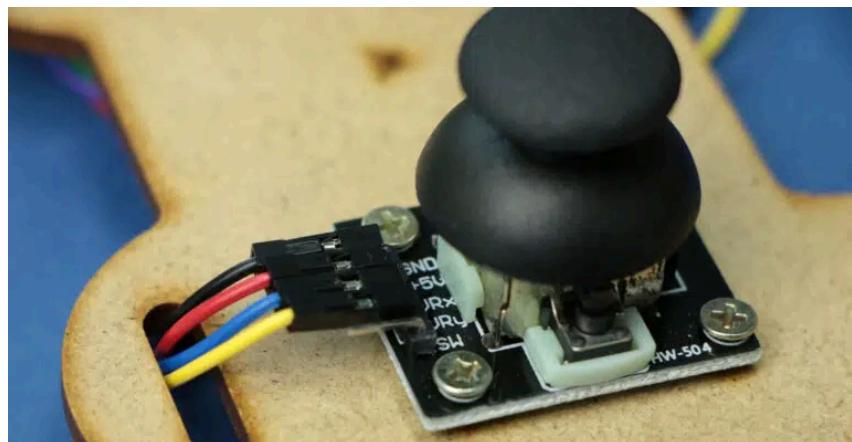
Após conectar os micro servomotores ao Sensor Shield, o próximo passo foi realizar a conexão dos dois joysticks. Para isso, utilizaram-se oito jumpers macho-fêmea e oito jumpers fêmea-fêmea, nas seguintes cores: dois pretos, dois vermelhos, um amarelo, um verde, um azul e um roxo.

A conexão dos jumpers macho-fêmea nos joysticks foi feita da seguinte forma:

- Joystick 1: jumper preto no pino GND, jumper vermelho no pino +5V, jumper azul no pino VRx e jumper amarelo no pino VRy.
- Joystick 2: jumper preto no pino GND, jumper vermelho no pino +5V, jumper roxo no pino VRx e jumper verde no pino VRy.

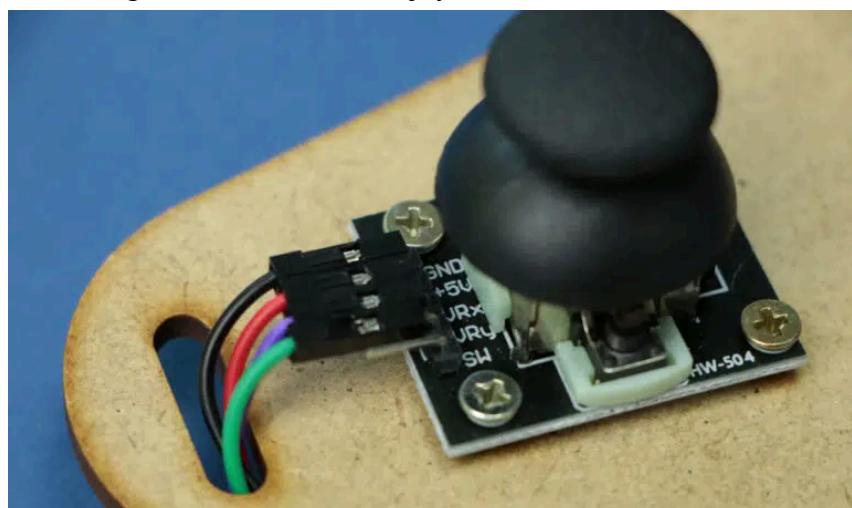
Após essas conexões, os joysticks foram conectados ao Sensor Shield utilizando uma extensão feita com os jumpers fêmea-fêmea, seguindo a esquemática apresentada anteriormente.

Figura 31 - Conexão do joystick 1 ao Server Shield.



Fonte: dos autores.

Figura 32 - Conexão do joystick 2 ao Server Shield.



Fonte: dos autores.

### 3.2.3 Elaboração do código-fonte

O desenvolvimento do código para o funcionamento do braço robótico foi realizado em linguagem Wiring, escrita diretamente na IDE Arduino, o que facilitou a produção do código. Para melhorar o controle dos servomotores, foi utilizada a biblioteca VarSpeedServo, que permite ajustar a velocidade dos servos, proporcionando movimentos mais suaves e precisos em comparação com a biblioteca padrão Servo.h.

O código foi iniciado com a criação de objetos para cada um dos quatro servomotores do braço robótico.

Figura 33 - Objetos sendo criados para cada um dos quatro servomotores do braço robótico.

```
VarSpeedServo servo_x; // Cria objeto para controlar o servo que controla o eixo x (direita e esquerda)
VarSpeedServo servo_y; // Cria objeto para controlar o servo que controla o eixo y (para frente e para trás)
VarSpeedServo servo_z; // Cria objeto para controlar o servo que controla o eixo z (sobe e desce)
VarSpeedServo servo_w; // Cria objeto para controlar o servo que controla o eixo w (abre e fecha)
```

Fonte: dos autores.

As portas analógicas A0, A1, A3 e A4 foram utilizadas para ler os sinais dos joysticks, que controlam, respectivamente, os eixos X, Y, Z e W do braço robótico.

Figura 34 - Definindo os eixos controlados pelo joystick.

```
int js_x = A0; // Define que o joystick que controla o eixo x está conectado na porta A0 do Arduino
int js_y = A1; // Define que o joystick que controla o eixo y está conectado na porta A1 do Arduino
int js_z = A3; // Define que o joystick que controla o eixo z está conectado na porta A3 do Arduino
int js_w = A4; // Define que o joystick que controla o eixo w está conectado na porta A4 do Arduino
```

Fonte: dos autores.

Os servomotores foram inicializados com o comando `attach()`, que define a porta de controle e os limites de movimento, variando de 0° a 180°.

Figura 35 - Inicializando os micro servomotores.

```
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    servo_x.attach(s_x, 1, 180); // Inicializa o servo do eixo x
    servo_y.attach(s_y, 1, 180); // Inicializa o servo do eixo y
    servo_z.attach(s_z, 1, 180); // Inicializa o servo do eixo z
    servo_w.attach(s_w, 1, 180); // Inicializa o servo do eixo w
}
```

Fonte: dos autores.

No laço principal, o código executa continuamente a leitura dos valores dos joysticks, ajustando a posição dos servomotores de acordo com o movimento detectado. Para cada eixo, são realizadas duas verificações de limite: se o valor lido estiver abaixo de 50 (mínimo) ou acima de 970 (máximo). Essas condições indicam quando o joystick foi movido totalmente para uma das direções.

Figura 36 - Calibrando o joystick para que o braço robótico corresponda aos movimentos do controlador.

```

if (analogRead(js_x) > 970){      // Verifica se o joystick do eixo x aponta para a direita
    val_x++;
    if (val_x > 180){val_x = 180;}
    servo_x.write(val_x, 120, true); // Move o servo do eixo x para a direita
}

if (analogRead(js_x) < 50){      // Verifica se o joystick do eixo x aponta para a esquerda
    val_x--;
    if (val_x < 0){val_x = 0;}
    servo_x.write(val_x, 120, true); // Move o servo do eixo x para a esquerda
}

if (analogRead(js_y) < 50){      // Verifica se o joystick do eixo y aponta para cima
    val_y++;
    if (val_y > 180){val_y = 180;}
    servo_y.write(val_y, 120, true); // Move o servo do eixo y para frente
}

if (analogRead(js_y) > 970){      // Verifica se o joystick do eixo y aponta para baixo
    val_y--;
    if (val_y < 0){val_y = 0;}
    servo_y.write(val_y, 120, true); // Move o servo do eixo y para trás
}

if (analogRead(js_z) < 50){      // Verifica se o joystick do eixo z aponta para baixo
    val_z++;
    if (val_z > 180){val_z = 180;}
    servo_z.write(val_z, 120, true); // Move o servo do eixo z para cima
}

if (analogRead(js_z) > 970){      // Verifica se o joystick do eixo z aponta para cima
    val_z--;
    if (val_z < 0){val_z = 0;}
    servo_z.write(val_z, 120, true); // Move o servo do eixo z para baixo
}

if (analogRead(js_w) < 50){      // Verifica se o joystick do eixo w aponta para a direita
    val_w++;
    if (val_w > 180){val_w = 180;}
    servo_w.write(val_w, 120, true); // Abre o servo do eixo w
}

if (analogRead(js_w) > 970){      // Verifica se o joystick do eixo w aponta para a esquerda
    val_w--;
    if (val_w < 0){val_w = 0;}
    servo_w.write(val_w, 120, true); // Fecha o servo do eixo w
}

```

Fonte: dos autores.

O funcionamento do controle foi implementado no código utilizando um sistema de controle proporcional simples, em que a posição do joystick determina o valor enviado ao micro servomotor. Cada eixo foi configurado para controlar um movimento específico do braço robótico:

- Eixo X (Esquerda e Direita): Controla o movimento lateral do braço.
- Eixo Y (Frente e Trás): Controla o movimento de extensão e retração do braço.
- Eixo Z (Cima e Baixo): Ajusta a altura do braço, controlando o movimento vertical.
- Eixo W (Abertura e Fechamento da Garra): Controla a garra, permitindo agarrar e soltar objetos.

Com base nessas definições, foi possível desenvolver o código para o controle do braço robótico.

Figura 37 - Código-fonte completo.

```

#include <VarSpeedServo.h> // https://github.com/netlabtoolkit/VarSpeedServo

VarSpeedServo servo_x; // Cria objeto para controlar o servo que controla o eixo x (direita e esquerda)
VarSpeedServo servo_y; // Cria objeto para controlar o servo que controla o eixo y (para frente e para trás)
VarSpeedServo servo_z; // Cria objeto para controlar o servo que controla o eixo z (sobe e desce)
VarSpeedServo servo_w; // Cria objeto para controlar o servo que controla o eixo w (abre e fecha)

int js_x = A0; // Define que o joystick que controla o eixo x está conectado na porta A0 do Arduino
int js_y = A1; // Define que o joystick que controla o eixo y está conectado na porta A1 do Arduino
int js_z = A3; // Define que o joystick que controla o eixo z está conectado na porta A3 do Arduino
int js_w = A4; // Define que o joystick que controla o eixo w está conectado na porta A4 do Arduino

int s_x = 3; // Define que o servo do eixo x está conectado na porta 3 do Arduino
int s_y = 5; // Define que o servo do eixo y está conectado na porta 5 do Arduino
int s_z = 10; // Define que o servo do eixo z está conectado na porta 10 do Arduino
int s_w = 11; // Define que o servo do eixo w está conectado na porta 11 do Arduino

int val_x = 90; //Armazena o valor lido pelo eixo x do joystick
int val_y = 90; //Armazena o valor lido pelo eixo y do joystick
int val_z = 90; //Armazena o valor lido pelo eixo z do joystick
int val_w = 90; //Armazena o valor lido pelo eixo w do joystick

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    servo_x.attach(s_x, 1, 180); // Inicializa o servo do eixo x
    servo_y.attach(s_y, 1, 180); // Inicializa o servo do eixo y
    servo_z.attach(s_z, 1, 180); // Inicializa o servo do eixo z
    servo_w.attach(s_w, 1, 180); // Inicializa o servo do eixo w
}

void loop() {

    if (analogRead(js_x) > 970){      // Verifica se o joystick do eixo x aponta para a direita
        val_x++;
        if (val_x > 180){val_x = 180;}
        servo_x.write(val_x, 120, true); // Move o servo do eixo x para a direita
    }

    if (analogRead(js_x) < 50){      // Verifica se o joystick do eixo x aponta para a esquerda
        val_x--;
        if (val_x < 0){val_x = 0;}
        servo_x.write(val_x, 120, true); // Move o servo do eixo x para a esquerda
    }

    if (analogRead(js_y) < 50){      // Verifica se o joystick do eixo y aponta para cima
        val_y++;
        if (val_y > 180){val_y = 180;}
        servo_y.write(val_y, 120, true); // Move o servo do eixo y para frente
    }

    if (analogRead(js_y) > 970){      // Verifica se o joystick do eixo y aponta para baixo
        val_y--;
        if (val_y < 0){val_y = 0;}
        servo_y.write(val_y, 120, true); // Move o servo do eixo y para trás
    }

    if (analogRead(js_z) < 50){      // Verifica se o joystick do eixo z aponta para baixo
        val_z++;
        if (val_z > 180){val_z = 180;}
        servo_z.write(val_z, 120, true); // Move o servo do eixo z para cima
    }

    if (analogRead(js_z) > 970){      // Verifica se o joystick do eixo z aponta para cima
        val_z--;
        if (val_z < 0){val_z = 0;}
        servo_z.write(val_z, 120, true); // Move o servo do eixo z para baixo
    }

    if (analogRead(js_w) < 50){      // Verifica se o joystick do eixo w aponta para a direita
        val_w++;
        if (val_w > 180){val_w = 180;}
        servo_w.write(val_w, 120, true); // Abre o servo do eixo w
    }

    if (analogRead(js_w) > 970){      // Verifica se o joystick do eixo w aponta para a esquerda
        val_w--;
        if (val_w < 0){val_w = 0;}
        servo_w.write(val_w, 120, true); // Fecha o servo do eixo w
    }

    delay(30);
}

```

Fonte: dos autores.

## 4 FUNCIONAMENTO DO BRAÇO ROBÓTICO

### 4.1 Propostas de testes

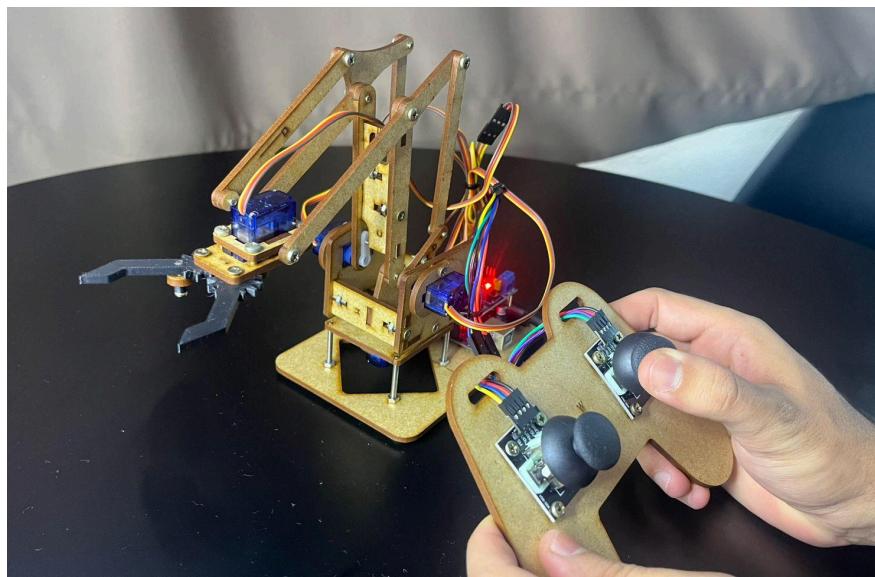
Para validar o funcionamento do braço robótico desenvolvido, foi realizada uma série de testes com o dispositivo, abrangendo diferentes aspectos de sua operação:

- Teste A: Verificação da integração entre os joysticks e o braço robótico.
- Teste B: Teste da articulação do eixo X.
- Teste C: Teste da articulação do eixo Y.
- Teste D: Teste da articulação do eixo Z.
- Teste E: Teste da articulação do eixo W (abertura e fechamento da garra).
- Teste F: Avaliação da mobilidade do braço robótico ao movimentar um objeto do ponto A ao ponto B.

### 4.2 Resultados

O Teste A foi realizado de forma simples. Com o braço robótico montado, bastou conectá-lo a uma fonte de energia e observar, de maneira simplista, se os movimentos do braço correspondiam aos comandos do joystick. O teste demonstrou que o sistema respondia adequadamente, conforme mostrado na figura abaixo, onde a garra se abre ao mover o joystick direito para a esquerda.

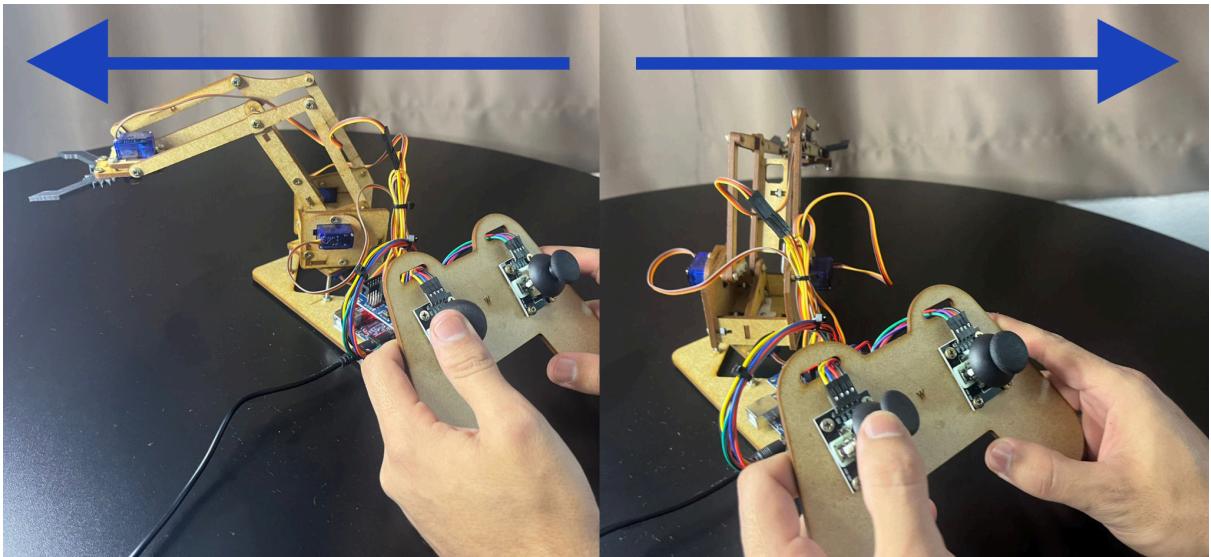
Figura 38 - Realização do Teste A.



Fonte: dos autores.

O Teste B, destinado a verificar o funcionamento do movimento lateral (eixo X), foi bem-sucedido. Durante o teste, o joystick esquerdo foi utilizado para mover o braço robótico da esquerda para a direita, permitindo avaliar a precisão e a resposta do movimento lateral do sistema.

Figura 39 - Realização do Teste B.



Fonte: dos autores.

Para verificar se os 180° prometidos estão sendo atingidos nos testes, primeiro deve-se utilizar o monitor serial do Arduino para obter as leituras dos joysticks.

Figura 40 - Monitor serial do Arduino ao realizar o movimento em X.

The figure displays two side-by-side screenshots of the Arduino IDE. Both windows show the 'Serial Monitor' tab open, with the message 'Message (Enter to send message to 'Arduino Uno' on 'COM5')'. The left window shows a series of joystick readings starting at X=0 and increasing in increments of 1 up to X=1023. The right window shows a similar series of readings, likely from a different joystick or a different configuration, also starting at X=0 and increasing to X=1023.

Fonte: dos autores.

A partir desses valores, foi possível realizar uma análise logarítmica, comparando os dados capturados com o intervalo de  $0^\circ$  a  $180^\circ$ , assegurando que o movimento completo dos servomotores está sendo executado corretamente.

$$\theta_{min} = \frac{L}{1023} \times 180$$

$$\theta_{min} = \frac{0}{1023} \times 180$$

$$\theta_{min} \approx 0^\circ$$

$$\theta_{max} = \frac{L}{1023} \times 180$$

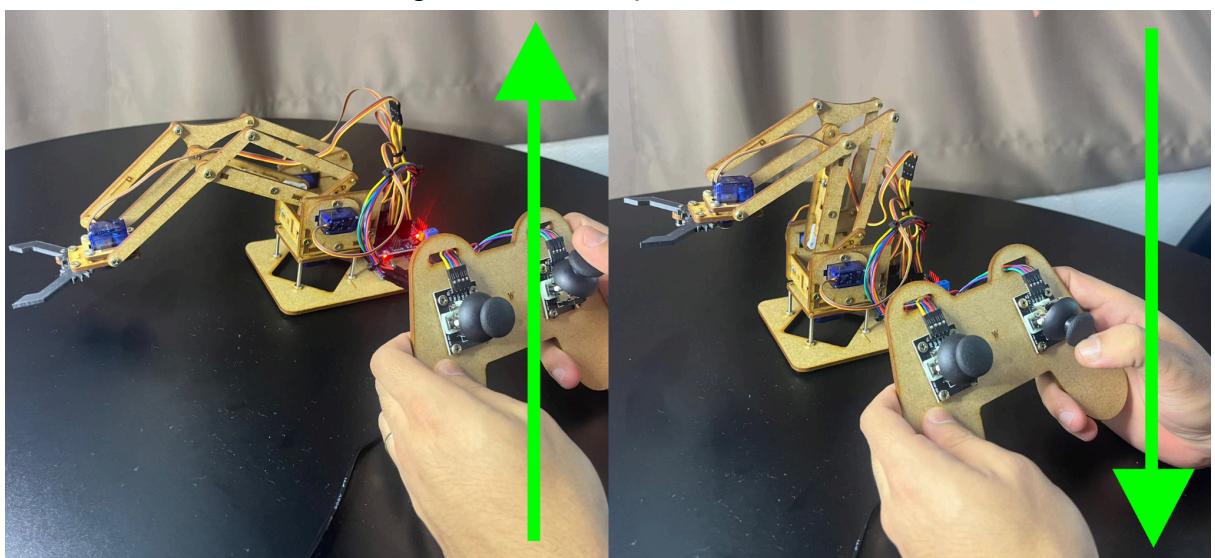
$$\theta_{max} = \frac{1023}{1023} \times 180$$

$$\theta_{max} \approx 180^\circ$$

Dessa forma, o Teste B foi concluído com sucesso, comprovando que o braço robótico realiza o movimento do eixo X de 0° a 180° de forma correta e dentro dos parâmetros estabelecidos.

O Teste C, destinado a verificar o funcionamento do movimento frente/trás (eixo Y), também foi bem-sucedido. Durante o teste, o joystick direito foi utilizado para mover o braço robótico para frente e para trás, permitindo avaliar a precisão e a resposta do movimento do sistema.

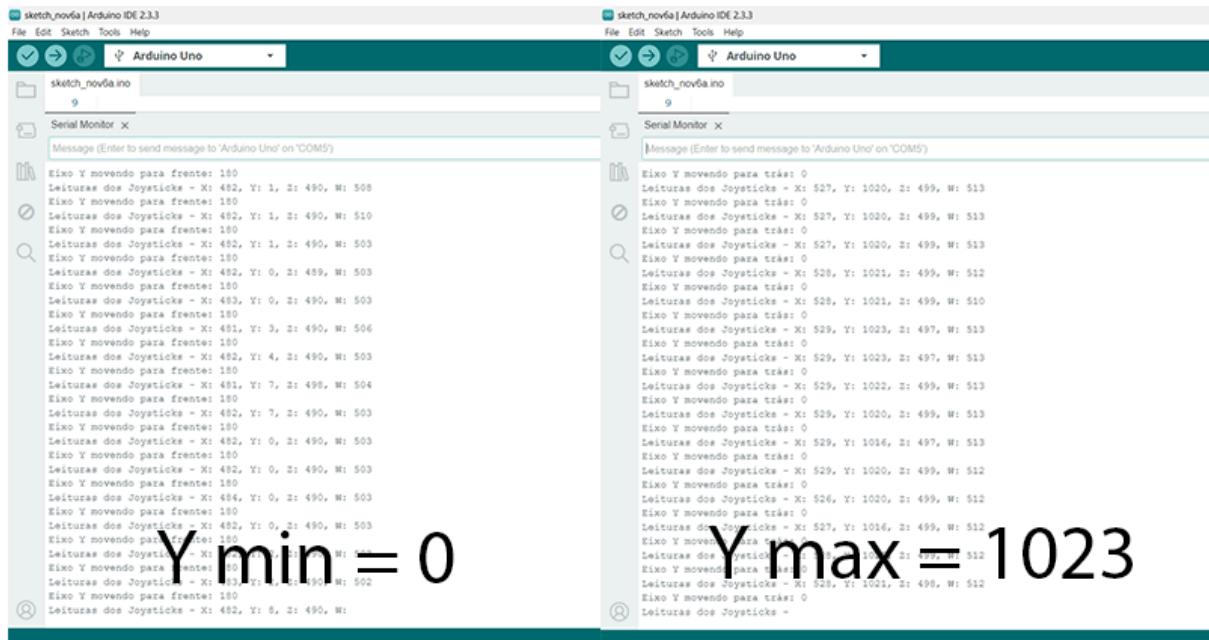
Figura 41 - Realização do Teste C.



Fonte: dos autores.

Para verificar se os 180° prometidos estão sendo atingidos nos testes, primeiro deve-se utilizar o monitor serial do Arduino para obter as leituras dos joysticks.

Figura 42 - Monitor serial do Arduino ao realizar o movimento em Y.



Fonte: dos autores.

A partir desses valores, foi possível realizar uma análise logarítmica, comparando os dados capturados com o intervalo de  $0^\circ$  a  $180^\circ$ , assegurando que o movimento completo dos servomotores está sendo executado corretamente.

$$\theta_{min} = \frac{L}{1023} \times 180$$

$$\theta_{min} = \frac{0}{1023} \times 180$$

$$\theta_{min} \approx 0^\circ$$

$$\theta_{max} = \frac{L}{1023} \times 180$$

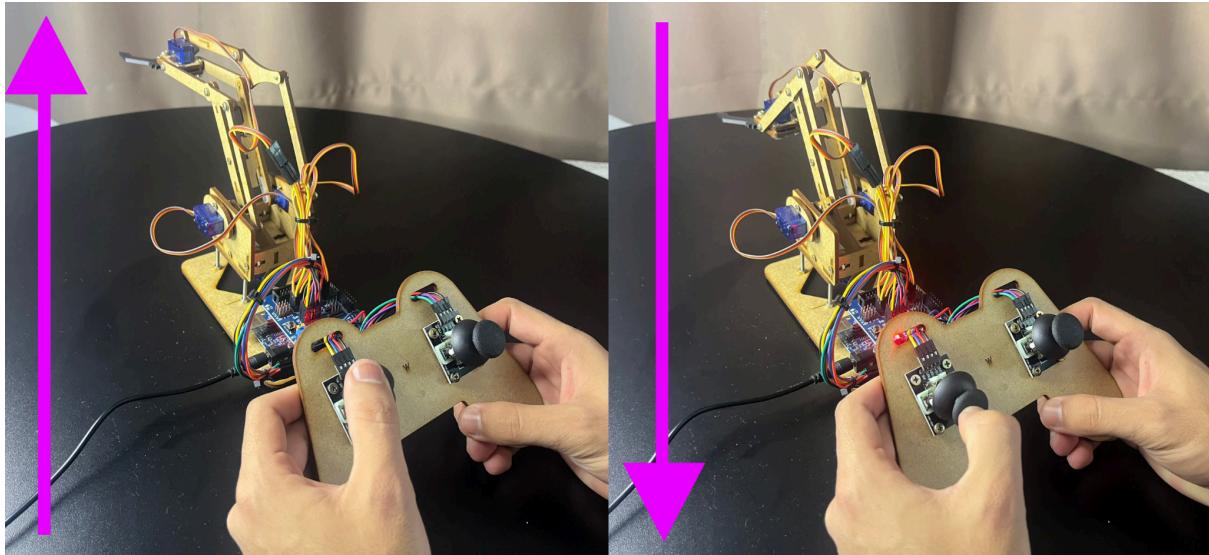
$$\theta_{max} = \frac{1023}{1023} \times 180$$

$$\theta_{max} \approx 180^\circ$$

Dessa forma, o Teste C foi concluído com sucesso, comprovando que o braço robótico realiza o movimento do eixo Y de  $0^\circ$  a  $180^\circ$  de forma correta e dentro dos parâmetros estabelecidos.

O Teste D, destinado a verificar o funcionamento do movimento vertical (eixo Z), foi mais um bem-sucedido. Durante o teste, o joystick esquerdo foi utilizado para mover o braço robótico para cima e para baixo, permitindo avaliar a precisão e a resposta do movimento do sistema.

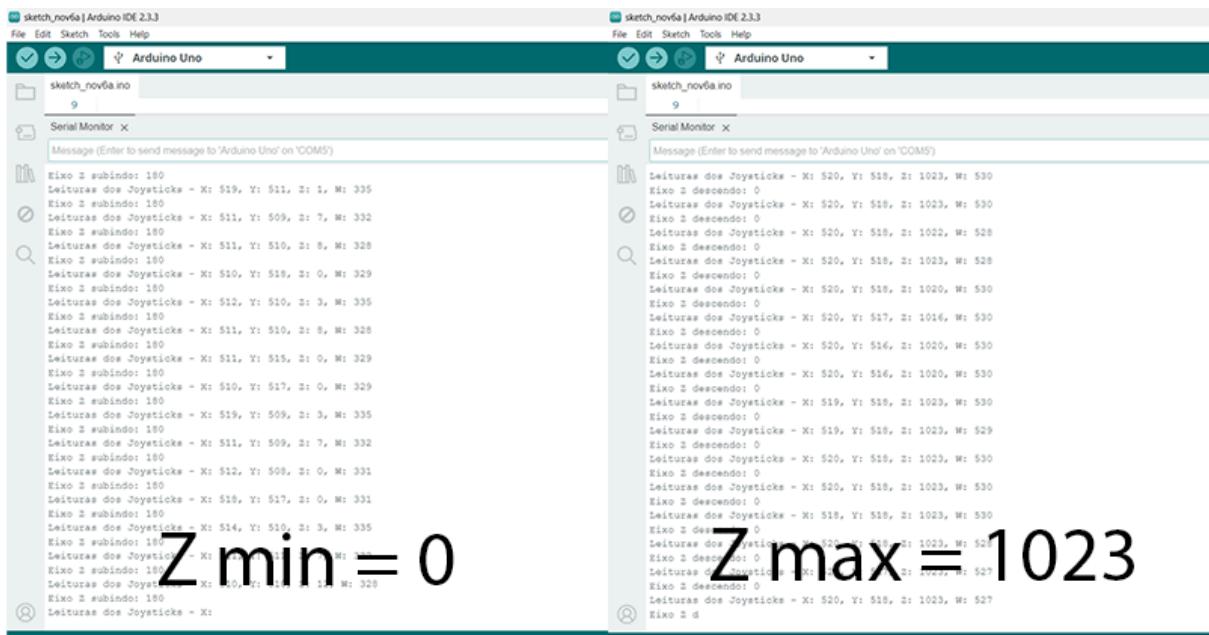
Figura 43 - Realização do Teste D.



Fonte: dos autores.

Para verificar se os 180° prometidos estão sendo atingidos nos testes, primeiro deve-se utilizar o monitor serial do Arduino para obter as leituras dos joysticks.

Figura 44 - Monitor serial do Arduino ao realizar o movimento em Z.



Fonte: dos autores.

A partir desses valores, foi possível realizar uma análise logarítmica, comparando os dados capturados com o intervalo de 0° a 180°, assegurando que o movimento completo dos servomotores está sendo executado corretamente.

$$\theta_{min} = \frac{L}{1023} \times 180$$

$$\theta_{min} = \frac{0}{1023} \times 180$$

$$\theta_{min} \approx 0^\circ$$

$$\theta_{max} = \frac{L}{1023} \times 180$$

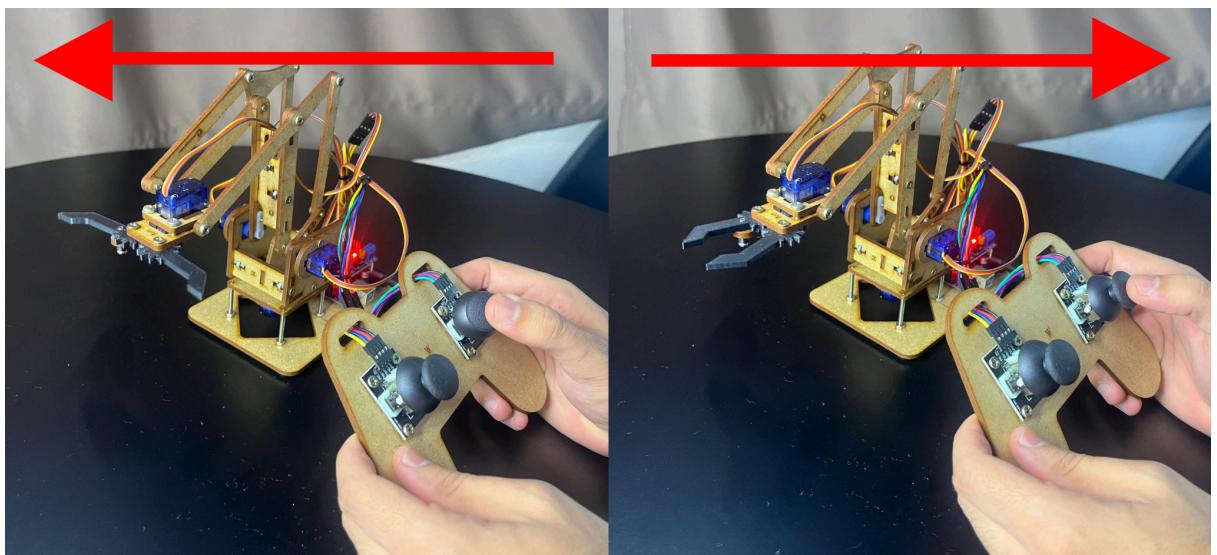
$$\theta_{max} = \frac{1023}{1023} \times 180$$

$$\theta_{max} \approx 180^\circ$$

Dessa forma, o Teste D foi concluído com sucesso, comprovando que o braço robótico realiza o movimento do eixo Z de 0° a 180° de forma correta e dentro dos parâmetros estabelecidos.

O Teste E, destinado a verificar o funcionamento do controle da abertura/fechamento da garra (eixo W), também foi bem-sucedido. Durante o teste, o joystick esquerdo foi utilizado para mover a garra do braço robótico, permitindo avaliar a precisão e a resposta do movimento do sistema.

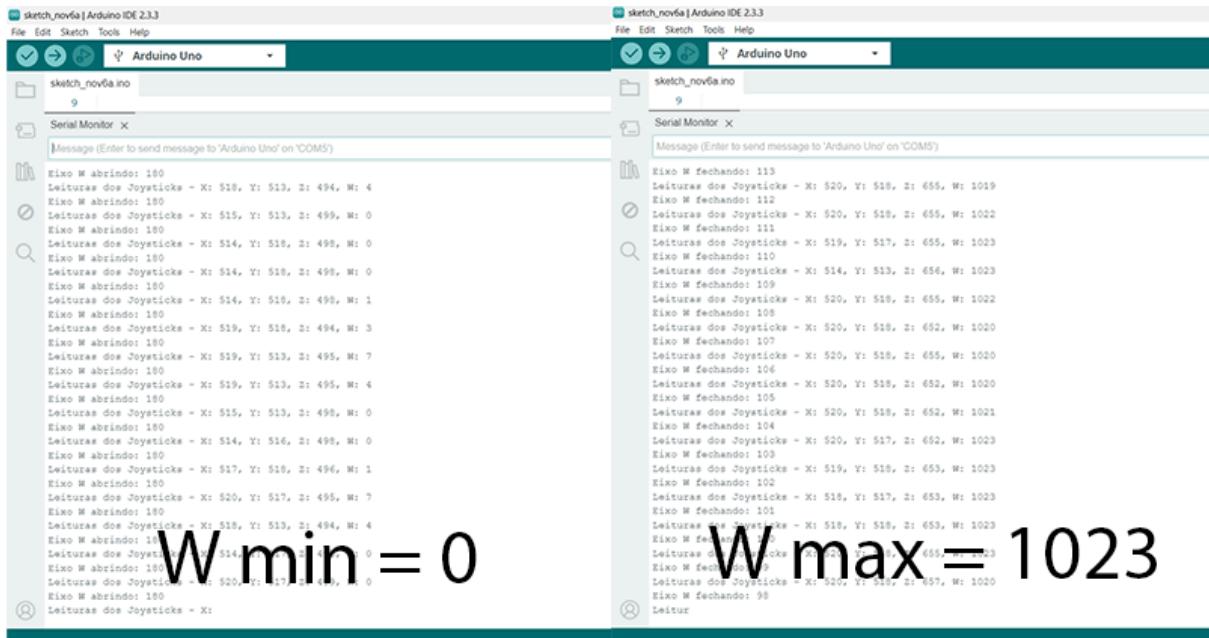
Figura 45 - Realização do Teste E.



Fonte: dos autores.

Para verificar se os 180° prometidos estão sendo atingidos nos testes, primeiro deve-se utilizar o monitor serial do Arduino para obter as leituras dos joysticks.

Figura 46 - Monitor serial do Arduino ao realizar o movimento em W.



Fonte: dos autores.

A partir desses valores, foi possível realizar uma análise logarítmica, comparando os dados capturados com o intervalo de  $0^\circ$  a  $180^\circ$ , assegurando que o movimento completo dos servomotores está sendo executado corretamente.

$$\theta_{min} = \frac{L}{1023} \times 180$$

$$\theta_{min} = \frac{0}{1023} \times 180$$

$$\theta_{min} \approx 0^\circ$$

$$\theta_{max} = \frac{L}{1023} \times 180$$

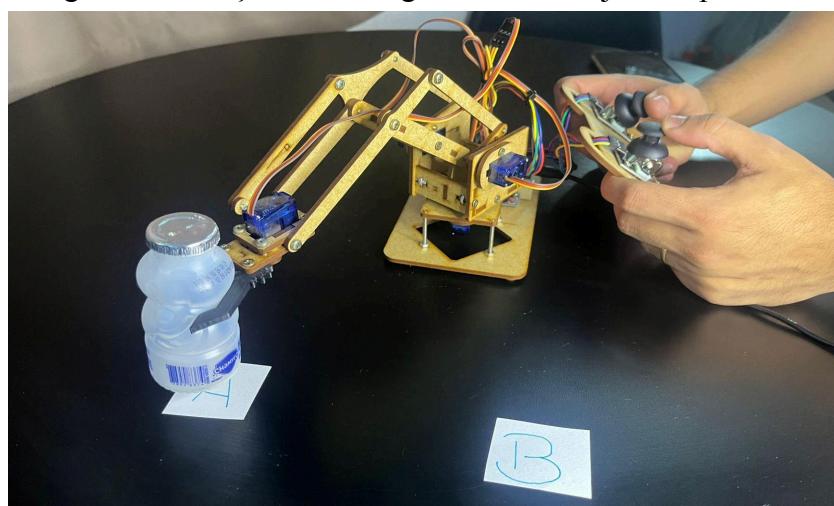
$$\theta_{max} = \frac{1023}{1023} \times 180$$

$$\theta_{max} \approx 180^\circ$$

Dessa forma, o Teste E foi concluído com sucesso, comprovando que o braço robótico realiza o movimento do eixo W de  $0^\circ$  a  $180^\circ$  de forma correta e dentro dos parâmetros estabelecidos.

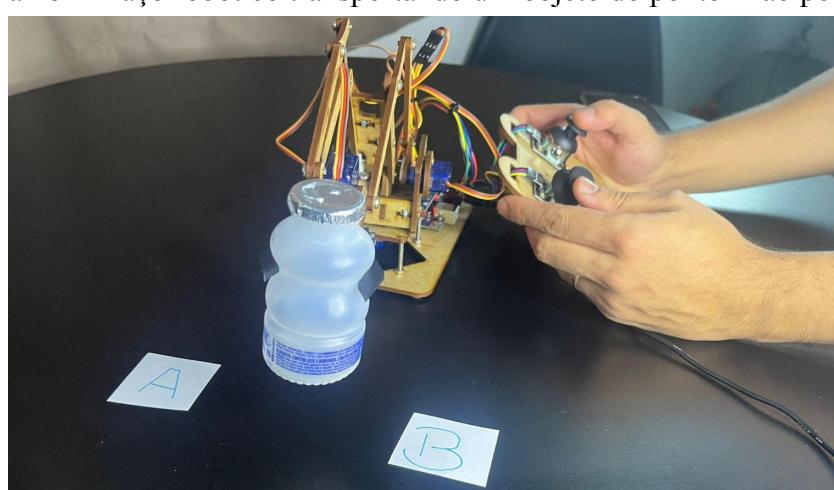
Por fim, foi realizado o Teste F, que avaliou a capacidade de mobilidade do braço robótico ao transportar um objeto de um ponto A para um ponto B. O teste foi bem-sucedido, conforme pode ser observado na sequência de figuras a seguir, demonstrando o funcionamento preciso e eficiente do dispositivo.

Figura 47 - Braço robótico agarrando um objeto no ponto A.



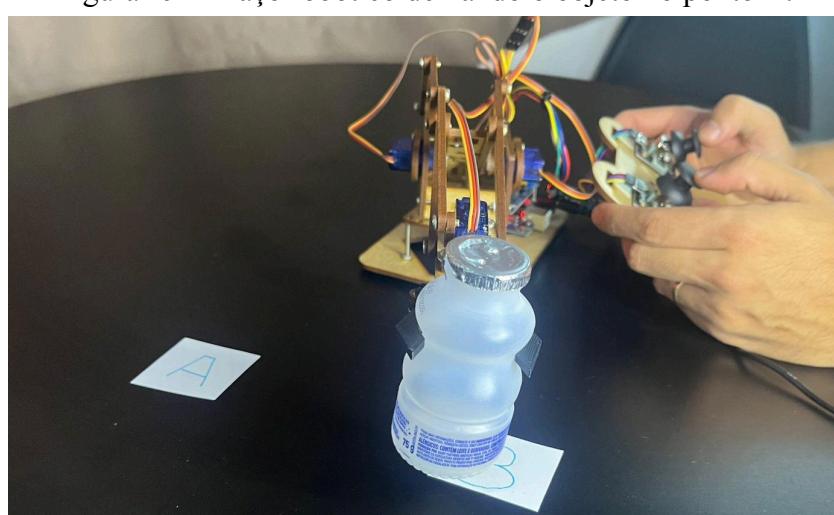
Fonte: dos autores.

Figura 48 - Braço robótico transportando um objeto do ponto A ao ponto B.



Fonte: dos autores.

Figura 49 - Braço robótico deixando o objeto no ponto B.



Fonte: dos autores.

Assim, o braço robótico atendeu às expectativas e foi aprovado em todos os testes realizados, demonstrando um desempenho satisfatório em todas as funcionalidades previstas.

## **5 CONCLUSÃO**

O projeto do braço robótico demonstrou ser uma solução eficaz e de baixo custo para a replicação de movimentos humanos, atingindo com sucesso os objetivos propostos. A estrutura em MDF aliada ao uso do Arduino proporcionou uma montagem robusta e fácil de manusear. Os testes realizados comprovaram a precisão e a eficiência dos movimentos do braço, validando o funcionamento adequado dos controles e da programação implementada. O dispositivo apresentou bom desempenho em todas as funcionalidades previstas, destacando-se como uma ferramenta educativa e prática para aplicações em automação e robótica.

## **6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**PAH AUTOMAÇÃO. Robô Scara: saiba o que é e conheça 13 vantagens.** Disponível em: <<https://pahautomacao.com.br/robo-scara-saiba-o-que-e-e-conheca-13-vantagens/>>. Acesso em: 10 nov. 2024.

**RIASCOS, Luis A. M. Fundamentos de Robótica: manipuladores e robôs móveis.** São Paulo: Universidade Federal do ABC, 2010. Disponível em: <<https://graduacao.ufabc.edu.br/eiar/conteudo/ensino/disciplinas/Robotica/FundamentosRobotica.html>>. Acesso em: 10 nov. 2024.