

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA POLITÉCNICA
ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

NATHAN JESKE ESPINDOLA

BRAÇO ROBÓTICO
Aplicações Gerais e a Interação Homem-Máquina

Porto Alegre

2023/1

NATHAN JESKE ESPINDOLA

BRAÇO ROBÓTICO: APLICAÇÕES GERAIS E A INTERÇÃO HOMEM-MÁQUINA

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado na Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro de Computação.

Orientador: Júlio Cesar Marques de Lima

Porto Alegre

2023/1

NATHAN JESKE ESPINDOLA

BRAÇO ROBÓTICO: APLICAÇÕES GERAIS E A INTERÇÃO HOMEM-MÁQUINA

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado na Escola politécnica da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro de Computação.

Aprovada em _____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Me. Marlon Leandro Moraes

ORIENTADOR:

Prof. Me. Julio Cesar Marques de Lima

Dedico este trabalho à Deus e
minha Família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me guiar, proteger e sustentar até aqui.

Ao meu orientador deste trabalho em questão, por ter me inspirado, ensinado e auxiliado na execução prática e teórica deste projeto ao longo do último semestre, obrigado!

Sou grato pela minha esposa, família e amigos que me apoiaram antes mesmo de começar o curso de engenharia e me suportarem nesta jornada que exigiu muitas vezes deixar de estar com eles para poder executar as atividades da universidade, vocês me inspiram.

Também aos professores e mestres que tive a honra de conviver e adquirir conhecimento, à presente banca, aos funcionários desta instituição, aos colegas que tive a felicidade de caminhar e estudar junto, meu singelo agradecimento.

“Não aponte falhas, aponte
soluções.”

Henry Ford

RESUMO

O braço robótico – Um mecanismo articulado composto por segmentos interconectados, que são controlados por motores, sensores e atuadores. Ele é capaz de realizar movimentos em diferentes direções e manipular objetos, semelhante ao movimento de um braço humano, portanto, é possível designar o braço robótico para diferentes tipos de casos de uso e áreas de atuação, tais como: exploração espacial, área industrial, área da saúde, uso doméstico, construção civil e diversas atividades que talvez um ser humano possa correr risco de vida, saúde e até mesmo necessite de apoio extra para aumentar a produtividade.

Neste trabalho de conclusão de curso, será abordado o projeto e implementação de um braço robótico de 5 graus de liberdade com uma garra em sua extremidade. Serão explorados conceitos de controle dos movimentos programados em um microcontrolador, a interação do braço robótico em um ambiente seguro, o funcionamento dos motores, a estrutura utilizada no projeto e como o braço robótico pode realizar interações homem-máquina através de recursos como a inteligência artificial, com a finalidade de estar cada vez mais inserido no dia a dia pessoal e profissional dos seres humanos.

Palavras-chave: Braço Robótico. Mecanismo Articulado. Áreas de Atuação. Microcontrolador. Controle de Movimentos Programados. Inteligência Artificial.

ABSTRACT

The robotic arm - An articulated mechanism composed of interconnected segments, controlled by motors, sensors, and actuators. It can perform movements in different directions and manipulate objects, much like a human arm. Therefore, the robotic arm can be designated for various use cases and areas of application, such as space exploration, industrial sector, healthcare, domestic use, construction, and activities where human safety and productivity enhancement are required.

This thesis focuses on the design and implementation of a 5-degree-of-freedom robotic arm with a gripper at its end. The project explores concepts of motion control programmed on a microcontroller, the interaction of the robotic arm in a safe environment, the functioning of the motors, the structure used in the project, and how the robotic arm can interact with humans through resources like artificial intelligence. The aim is to integrate the robotic arm more effectively into the personal and professional daily lives of individuals.

Keywords: Robotic Arm, Articulated Mechanism, Areas of Application, Microcontroller, Programmed Motion Control, Artificial Intelligence.

LISTA DE SIGLAS

ABS - *Acrylonitrile Butadiene Styrene*

API - *Application Programming Interface*

C++ - Linguagem de Programação

ESP32 – Microcontrolador *Espressif Systems*

GND - *Ground* (referência de aterramento)

IA - Inteligência Artificial

IDE - *Integrated Development Environment*

I/O - *Input/Output*

ISS – *International Space Station*

LCD - *Liquid Crystal Display*

PUCRS - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

PWM – *Pulse Width Modulation*

RTOS - *Real-Time Operating System*

STL - *Standard Tessellation Language*

TTGO - Marca do microcontrolador

USB-C - Universal Serial Bus Type-C

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	– IDEOLOGIA	10
1.2	– CASOS DE USO	11
2	CAPÍTULO SEGUNDO	12
2.1	– ESTRUTURA	12
2.2	– HARDWARE	14
2.3	– FIRMWARE E SISTEMA DE TEMPO REAL	15
2.4	– SERVO MOTORES	18
3	CAPÍTULO TERCEIRO	20
3.1	– A INTERAÇÃO HOMEM-MÁQUINA	20
3.2	– APLICAÇÕES DE IA PARA BRAÇOS ROBÓTICOS	21
3.3	– OPENCV E RECONHECIMENTO DE IMAGEM	22
	CONCLUSÃO	26
	REFERÊNCIAS	28

1 INTRODUÇÃO

1.1 – IDEOLOGIA

A idealização do projeto em questão possui por finalidade o estudo da viabilidade teórica do auxílio da robótica a profissionais da área da saúde em tarefas como vacinas, retirada de sangue ou até mesmo no alcance de instrumentos (bisturi, tesoura, seringa etc.), visando a maior produtividade e inclusão dos profissionais, uma vez que a automatização ou independência de tarefas feitas pelo braço robótico permite que o profissional atue em atividades de maior risco ou complexidade, enquanto no quesito de inclusão, o robô pode servir de auxílio aos médicos e enfermeiros que não possuem um membro do corpo (mão, braço etc.) para operar os instrumentos da medicina, permitindo que eles possam atuar na área através de seu conhecimento e experiência. Por este motivo, o robô em questão necessita de recursos que o tornem apto para interagir com os seres vivos assim como os próprios humanos interagem entre si.

Garantir a segurança dos que estão próximos ao *braço* é um item essencial, ainda mais quando mencionamos a introdução do projeto em uma área delicada como a da saúde e que envolve muito mais do que o risco à um produto ou bem material, mas sim, a um ser vivo seja ele um ser humano ou animal. Por isso, a validação de um profissional da saúde aqui neste cenário se faz necessário para garantir por exemplo qual a profundidade correta que a agulha deve ser inserida para injetar uma vacina ou realizar a retirada de sangue, qual a quantidade correta do medicamento, o local exato no corpo ou qual equipamento a ser utilizado são detalhes que devem ser verificados e mencionados em conjunto com o profissional da saúde na construção do equipamento, pois, um erro pode causar danos graves ao paciente. Existe uma série de variáveis quando se trata da interação homem-máquina, a sensibilidade que o equipamento deve ter em relação ao mundo que o rodeia deve ser de precisão máxima afim de evitar erros.

Tendo em vista a responsabilidade legal e ética, neste projeto não será realizado um protótipo de braço robótico para uso no ambiente da saúde, mas sim, um projeto genérico para a finalidade de estudo, mostrando apenas o funcionamento de um braço robótico angular e algumas maneiras de implementar uma interface

inicial para a interação homem-máquina e assim, futuramente, ser implementado em conjunto com a área médica para a aplicação prática na área da saúde que é a motivação deste trabalho, *abrir portas* para a robótica dentro da área da saúde através da inteligência artificial.

Importante destacar que o código de implementação do braço robótico em questão está disponível através do GitHub, link se encontra nas referências bibliográficas ao final deste documento. [17]

1.2 – CASOS DE USO

Conforme mencionado anteriormente, a robótica, ou mais especificamente um braço robótico, pode ser aplicado em diversos ambientes de atuação para a execução de um trabalho repetitivo, de risco, de peso ou até mesmo quando se necessita de um apoio adicional. Por isso, é possível que o braço robótico esteja em locais de atuação variada como os listados abaixo:

- *Uso Espacial*
 - Um exemplo prático é o *Canadarm2*, um braço robótico desenvolvido pela *CSA (Canadian Space Agency)*[11] e utilizado no espaço para manipulação remota da *ISS (Internacional Space Station)*. O braço possui 17,2 metros de comprimento e é composto por 3 segmentos articulados que auxiliam na execução de diversas tarefas como as caminhadas espaciais, acoplamento e desacoplamento de espaçonaves, movimentação de cargas e manutenção de equipamentos externos.
- *Ambiente Industrial*
 - A atividade fabril pode gerar um nível de desgaste bastante expressivo nos colaboradores do chão de fábrica, inclusive muitas atividades podem acabar sendo inviáveis de serem executadas diretamente por um ser humano. Por isso o braço robótico faz total sentido com este ambiente, principalmente pela redução do desgaste humano e pela eficiência, uma vez que o robô não se

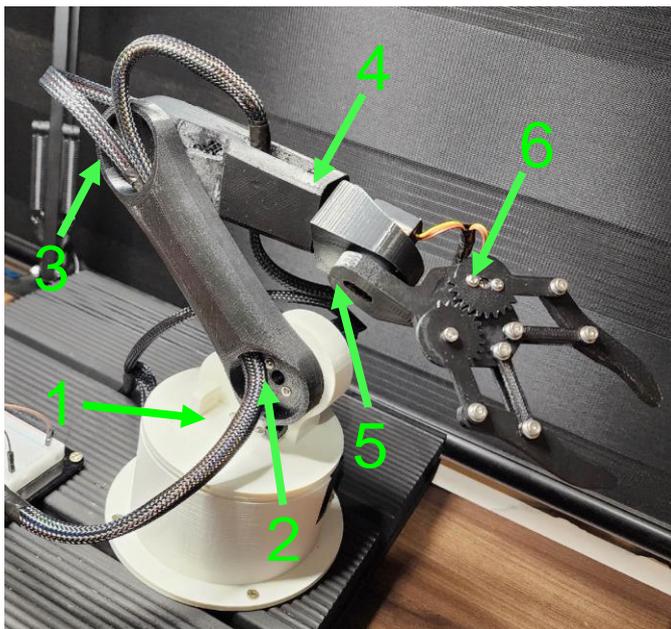
fadiga como o ser humano e pode trabalhar por uma quantidade maior de tempo contínuo.

- *Área da Saúde*
 - Aplicação em cirurgias, cabines de atendimento remoto e apoio aos profissionais como já foi mencionado no capítulo 1.1.
- *Agroindústria*
 - Para auxiliar com situações que envolvem grande esforço humano ou até mesmo dificuldade de manipulação de objetos com características de maior peso.
- *Ambiente Colaborativo*
 - Também é possível inserir o braço em ambientes de trabalho que necessitam de colaboração e produtividade, ou até mesmo de interação com seres humanos em ambiente doméstico.

2 CAPÍTULO SEGUNDO

2.1 – ESTRUTURA

O protótipo deste estudo é constituído por 5 graus de liberdade tendo a garra como um adicional em uma das extremidades, conforme imagem e legenda abaixo:



Legenda da Figura 1:

1. Rotação da base
2. Elevação braço
3. Elevação antebraço
4. Rotação da garra
5. Elevação da garra
6. Garra

Figura 1 - Protótipo construído pelo autor deste documento

A estrutura foi gerada através de impressão 3D com filamento de plástico ABS no laboratório do prédio 30 Bloco A da Escola Politécnica da PUCRS. O arquivo *STL (Standard Tessellation Language)* da estrutura do braço foi adquirido de forma gratuita através do site *things.com[2]* onde é possível encontrar diferentes modelos e morfologias estruturais de braços robóticos, facilitando os testes em protótipos.

Além da estrutura impressa em 3D, foi utilizado malha náutica para a organização e proteção dos fios dos servo-motores. Para a base foi optado por ripas de madeira, assim o braço pôde ser parafusado em sua base, ganhando um contrapeso para que ele pudesse realizar os movimentos com maior liberdade sem o risco de cair.

A forma como são configuradas as juntas de cada eixo do robô define um tipo de estrutura morfológica, que neste projeto se trata de um braço robótico angular com 5 graus de liberdade. Também foram utilizados parafusos para a fixação dos servomotores e a montagem da garra. A imagem abaixo apresenta alguns exemplos de morfologia.

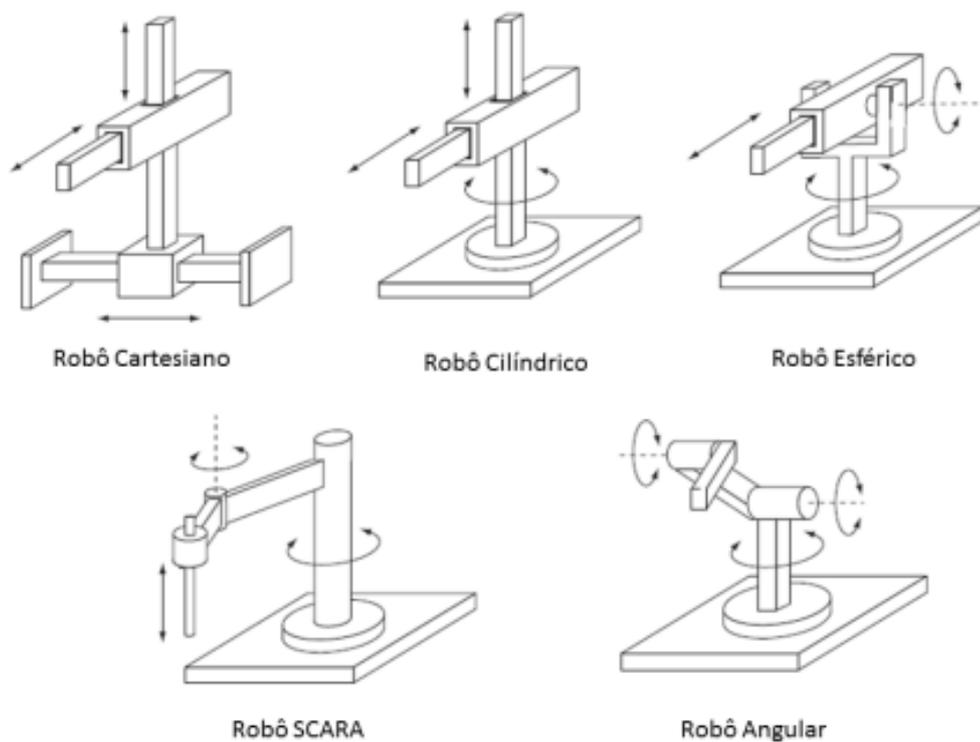


Figura 2 - Morfologia dos Braços Robóticos (BARRIENTOS, Antônio; Fundamentos de Robótica, 2007)

2.2 – HARDWARE

Para o controle do robô foi utilizado o microcontrolador ESP32 TTGO LilyGO[10] com microprocessador Dual-Core 240MHz 32-bit LX6, display IPS ST7789V 1.14 Inch, Wi-Fi integrado, 16 pinos externos de I/O, 5 pinos GND, 2 pinos 3.3V, 1 pino 5V e 6 pinos internos para ligação do display integrado. Também possui 3 botões sendo 1 para reset e outros dois para I/O (controle) totalmente configuráveis.[9]



Figura 3 - Conexão USB-C ESP32 TTGO



Figura 4 - ESP32 TTGO LCD 1.14"

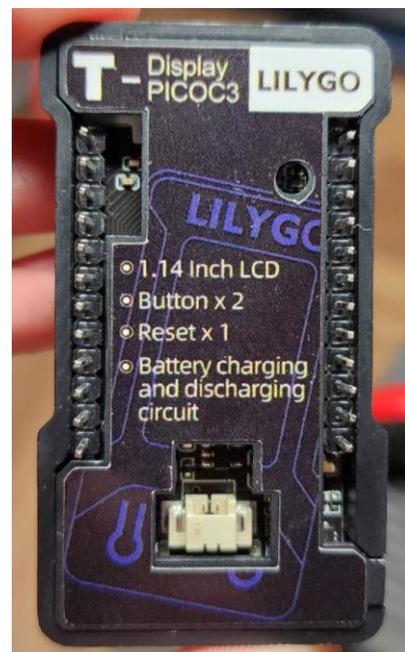


Figura 5 - Pinos ESP32 TTGO

A imagem abaixo se trata do esquemático de conexões do ESP32 aos servomotores e ao computador para comunicação e recebimento dos dados binários gerados através do reconhecimento gestual:

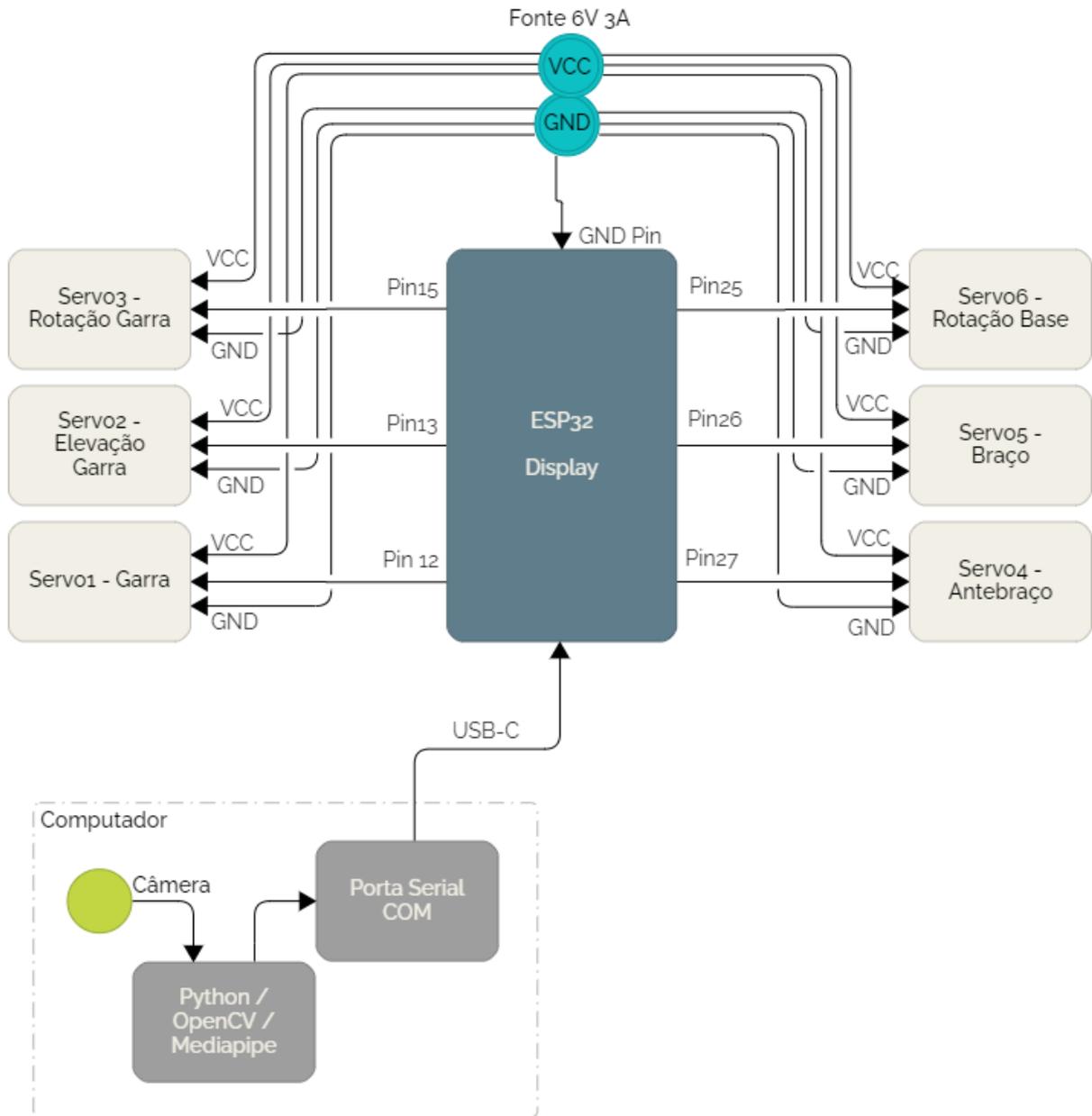


Figura 6 - Esquemático de conexões do ESP32 aos Servomotores e Computador

2.3 – FIRMWARE E SISTEMA DE TEMPO REAL

O desenvolvimento do firmware em linguagem de programação do Arduino (baseada em C++) foi realizado através da *IDE VisualCode* da *Microsoft* com a extensão *PlatformIO* que permite o gerenciamento das bibliotecas do Arduino e gravação do código no Microcontrolador.

Uma das bibliotecas utilizadas foi o *FreeRTOS (Real Time Operating System)* que é um sistema de tempo real de código aberto dedicado para sistemas

embarcados, permitindo a utilização de recursos como gerenciamento de tarefas, memória, semáforos, filas e temporizadores. A biblioteca do *FreeRTOS* está embutida na biblioteca do *ESP32Servo.h* que possui também as funções para controle dos servo-motores sendo necessário apenas configurar os parâmetros de cada servo, como por exemplo, ciclo de trabalho (*Duty Cycle*), frequência de operação e outros detalhes que são mencionados no capítulo 2.4.

O trecho de código abaixo ilustra basicamente como são configurados os servomotores no ESP32:

```
int minUs = 500;
int maxUs = 2400;
int servo1Pin = 12;

servo1.setPeriodHertz(250);

servo1.attach(servo1Pin, minUs, maxUs);
```

De forma resumida, o sistema de tempo real no braço robótico possui um papel importante na execução dos comandos e tarefas afim de permitir que todos os motores, display, sensores, atuadores e quaisquer outros componentes de I/O possam ser executados em tempo real, repassando a percepção de que cada parte do braço está se movimentando simultaneamente, caso contrário, se faz necessário executar um motor de cada vez, o que pode gerar atraso na execução de tarefas. Neste caso, o braço-robótico foi implementado com dois modos, sendo o modo Automático e o modo Manual. No modo automático os movimentos já estão pré-programados para que o braço execute como se fosse uma linha de produção, levando um objeto da posição A para a posição B de forma contínua, mantendo movimento até que o botão “0” do ESP32 seja acionado, migrando para o modo Manual que funciona pelo reconhecimento de gestos. *O capítulo 3 contém mais detalhes sobre o modo Manual.*

Com o *FreeRTOS* implementado, o controle de movimentos e ações do braço robótico é otimizado e o seu funcionamento é ilustrado através do fluxograma a seguir:

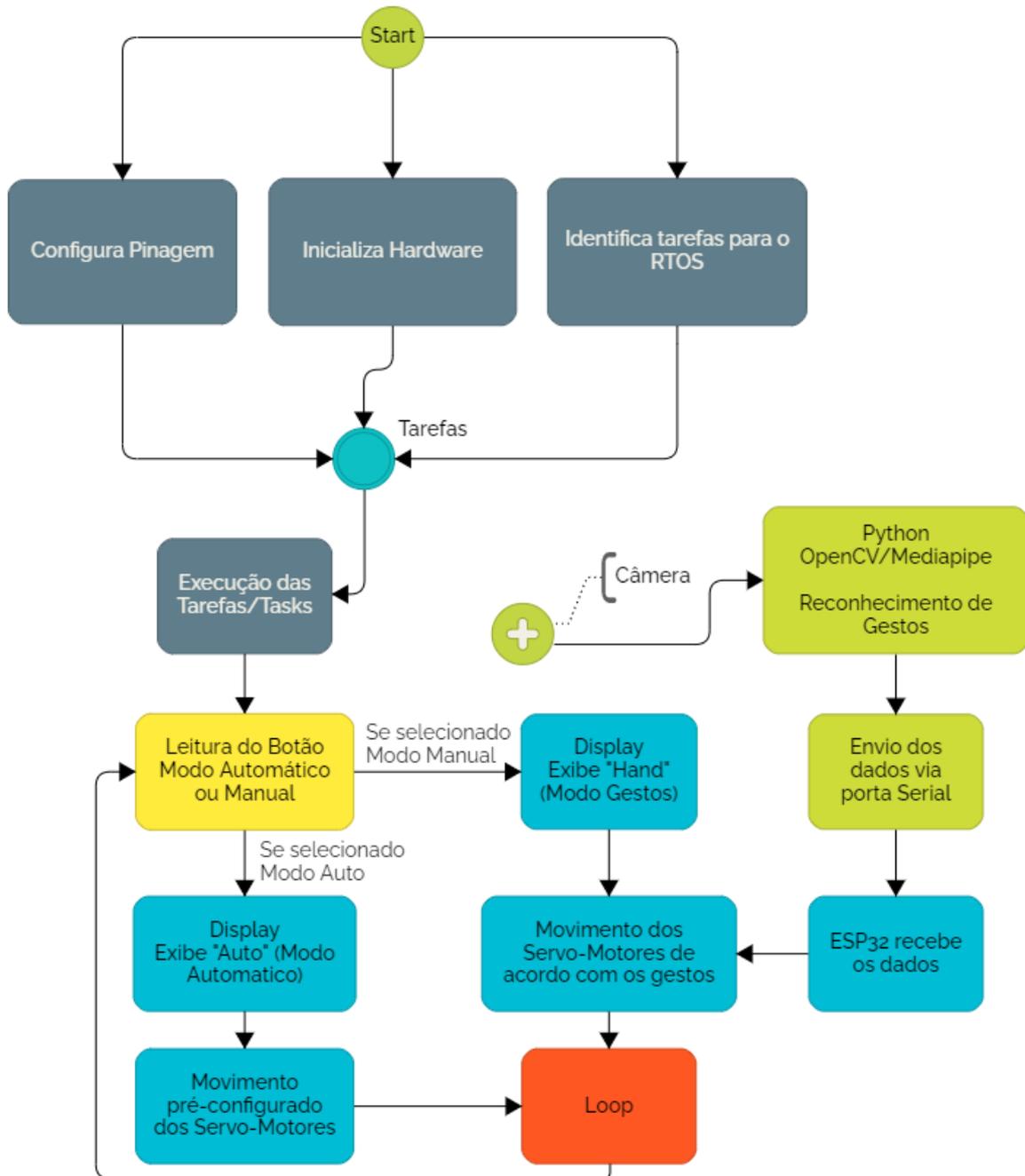


Figura 7 - Fluxograma de Funcionamento do Código

O trecho de código abaixo representa como exemplo a definição de uma tarefa numerada como a oitava tarefa (vTask8), responsável pelo controle do acionamento do botão, que neste caso, está definido para registro binário, ou seja, inicia-se com o número 0 significando a execução de movimentos (automáticos) pre-programados do braço, se pressionado o botão o registrador vai para 1 e executa o modo de reconhecimento gestual onde o robô executa movimentos sob controle apenas do usuário/operador. O FreeRTOS gerencia as tarefas de modo que elas

possam ser executadas de forma simultanea/concorrente, então ao mesmo tempo que o microcontrolador executa os movimentos automáticos do robô, ele aguarda o pressionamento do botão para troca do modo de operação. Importante ressaltar que cada servo-motor está registrado como uma tarefa, assim é realizado um comando por motor para que funcionem de forma simultanea.

```
void vTask8(void *arg) // Button
{
    (void) arg;

    while(1)
    {
        if(digitalRead(ButtonPin) == LOW)
        {
            ButtonState = !ButtonState;
            while (digitalRead(ButtonPin) == LOW);
            delay(100);
        }

        Serial.println(ButtonState);

        vTaskDelay(pdMS_TO_TICKS(100));
    }
}
```

2.4 – SERVO MOTORES

No tópico 2.1, é mencionado que o protótipo deste projeto possui 5 graus de liberdade, portanto, neste caso, ele possui 1 servomotor para o controle de cada eixo e mais um para a abertura e fechamento da garra.

Foi optado por trabalhar com servo-motores de controle digitais ao invés do analógico para aumentar a precisão e capacidade de carga. Eles foram configurados com período de 20ms, largura de pulso de 500ms a 2400ms, frequência de operação de 250Hz e tensão de 6V para realizar no máximo movimentos de 0° a 180°. [11][12]

Para a manipulação dos servomotores foi utilizado a modulação por largura de pulso (PWM), que é uma técnica utilizada para controlar a velocidade e a posição de servo-motores e envolve o envio de pulsos elétricos com duração variável e

configurável para o controle do servo motor, onde a largura do pulso determina a posição desejada do motor. Ao controlar a proporção entre a largura do pulso de alta e baixa, é possível ajustar a velocidade e a posição do servo motor de forma precisa. O funcionamento do PWM para servo motores baseia-se no uso de um sinal de referência, geralmente gerado por um microcontrolador (neste caso o ESP32 TTGO), que é comparado com um sinal de realimentação do motor para ajustar a largura dos pulsos enviados.

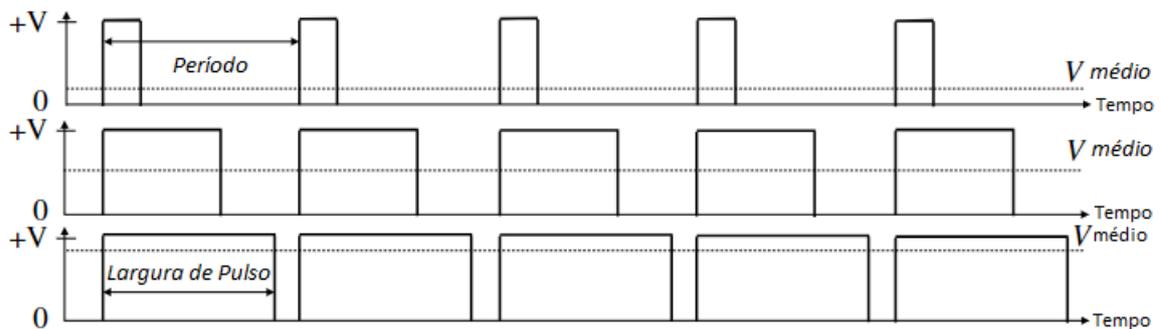


Figura 8 - Exemplo de modulação PWM alterando a tensão média de saída. Imagem extraída do livro *Electronics in Advanced Research Industries: Industry 4.0 to Industry 5.0 Advances* [16].



Figura 9 – Servomotor Digital 12g



Figura 10 - Servomotor Digital 35Kg



Figura 11 - Osciloscópio Recebendo o Sinal PWM do Servomotor 4 com posição em 90°

3 CAPÍTULO TERCEIRO

3.1 – A INTERAÇÃO HOMEM-MÁQUINA

Naturalmente, o corpo humano possui diversos sentidos que são responsáveis pela captação de informações do meio em que ele se encontra, permitindo então que ele interaja e se relacione de forma eficaz. Imagine uma fábrica, por exemplo, onde é comum encontrar braços robóticos ou máquinas automatizadas que estão isoladas impedindo o acesso do perímetro de operação ao ser humano por questões de segurança, e isso acontece justamente pelo motivo deste robô estar executando tarefas pré-programadas sem a presença de sensores ou uma inteligência capaz de reconhecer que existe algum perigo iminente a alguém ou eventualmente até para ele mesmo.

Desta forma, introduzir a inteligência artificial em um braço robótico, eleva a quantidade de casos de uso, pois uma vez que ele dispõe de sentidos e entendimento para agir de forma segura com os seres vivos, podemos alocá-lo em atividades que envolvem o ser humano, assim como a idealização deste projeto em desenvolver o braço robótico para uso em procedimentos médicos. O braço robótico necessita da capacidade sensorial e cognitiva para executar tarefas com segurança em um ser humano e em conjunto com ele, e para isso basta imaginar a realização de um procedimento de injeção de vacina, será que ele entende qual o local exato que deve ser aplicado? Qual a profundidade que a agulha deve perfurar? Qual a quantidade da dose e tantas outras variáveis que apenas um profissional da saúde poderia listar com propriedade para que se mantenha a segurança do paciente e a eficácia do procedimento. Outro cenário possível para a atuação do braço robótico em conjunto com o ser humano seria, um indivíduo com deficiência nas mãos ou braços e precisa do apoio do braço robótico para uma tarefa manual: existe a possibilidade de configurar o robô com reconhecimento de voz ou manter uma atividade pré-definida para que aquele indivíduo possa realizar as operações práticas através do seu conhecimento, estudo e experiência na área, ou seja, permite que mais um grupo de pessoas possa ser incluído no ambiente de trabalho.

3.2 – APLICAÇÕES DE IA PARA BRAÇOS ROBÓTICOS

No início do capítulo 3 é mencionado que a Inteligência Artificial e os Robôs possuem oportunidades de andarem juntos, e com base no estudo “*Artificial Intelligence: A Modern Approach*”, é possível pontuar algumas maneiras pelas quais a IA pode ser aplicada na robótica:

1. *Movimento, Aprendizado e Adaptação*: Algoritmos de aprendizado de máquina podem ser aplicados para melhorar os movimentos, evitando obstáculos e realizando movimentos mais suaves. Isso inclui aprender com interações do passado ajustando parâmetros de controle com base no *feedback* sensorial para adaptar-se a novas situações.
2. *Visão Computacional*: A IA pode ser usada para processar e interpretar dados visuais capturados por câmeras ou sensores embutidos no braço robótico. Isso permite que o braço robótico reconheça objetos, localize

alvos e realize tarefas que exigem percepção visual, como pegar e manipular objetos com precisão.

3. *Interação Homem-Máquina*: Otimização da interação entre humanos e braços robóticos, permitindo interfaces intuitivas e naturais. Isso inclui reconhecimento de voz, comandos por gestos, interfaces táteis e outros que podem ser introduzidos pelo aprendizado de máquina.
4. *Otimização de Desempenho*: Os algoritmos podem ser utilizados para otimização do desempenho do braço robótico em relação à eficiência energética, tempo de execução da tarefa, precisão, segurança e confiabilidade analisando dados em tempo real, ajustando parâmetros de controle e realizando ajustes automáticos para elevação do desempenho geral do sistema.

3.3 – OPENCV E RECONHECIMENTO DE IMAGEM

O *OpenCV* (*Open Source Computer Vision*) é uma biblioteca popular de visão computacional que pode ser utilizada na robótica, bem como o projeto em questão de um braço robótico buscando a melhor interação homem-máquina. A integração do *OpenCV* com braços robóticos permite a utilização de recursos avançados de processamento de imagens para análise e interpretação de dados visuais, possibilitando que o braço robótico realize tarefas mais complexas e interaja de forma mais eficiente com o ambiente.

Interessante notar que esta biblioteca é totalmente compatível com o *ESP32*, microcontrolador utilizado neste presente trabalho, facilitando a integração com projetos de pequeno e grande porte, para testes e projetos finais de caráter profissional.

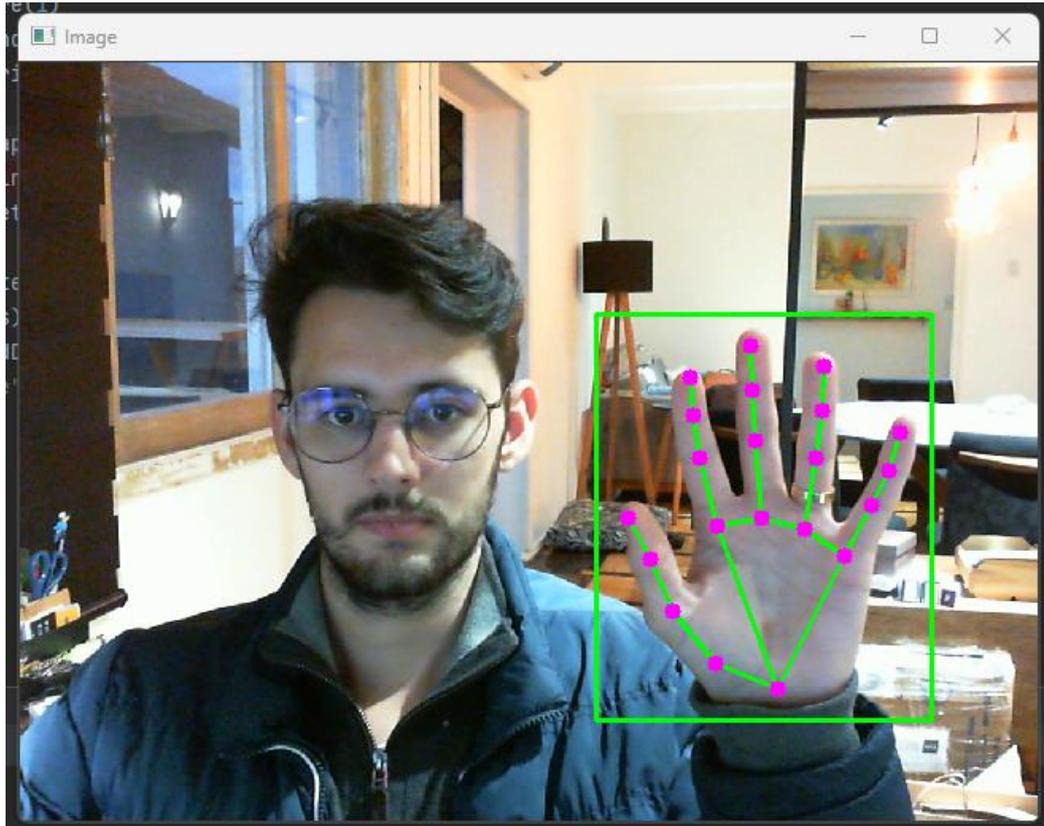


Figura 12 - Reconhecimento gestual através do OpenCV. Na foto, o autor deste trabalho.

Nas próximas duas imagens é possível notar os dados em binário (ressaltados na imagem pelo quadrado vermelho) enviados através da porta de comunicação serial onde cada bit representa um dedo. É possível notar que ao levantar o dedo indicador e polegar, o dado serial enviado é igual $[1, 1, 0, 0, 0]$ e quando mantido apenas o dedo médio abaixado o dado enviado é $[1, 1, 0, 1, 1]$. Estes dados, são então convertidos em movimento, onde cada servomotor está configurado para ser controlado por um dedo, sendo possível movimentar cada servo motor em dois ângulos diferentes, sendo um ângulo para o bit '0' (dedo abaixado) e outro ângulo para o bit '1' (dedo levantado).

Importante destacar que o OpenCV e Mediapipe reconhecem não apenas o dedo como um todo, mas cada articulação/junta dos dedos (assim como é possível notar as bolas de cor rosa dentro do quadrado verde nas imagens 12, 13 e 14), significando que a configuração não está apenas limitada para o levantar ou abaixar de dedos, mas sim de várias possibilidades de gestos que certamente podem apresentar certa complexidade no momento de gesticular, mobilidade e treino podem ser bastante úteis para o uso deste recurso.

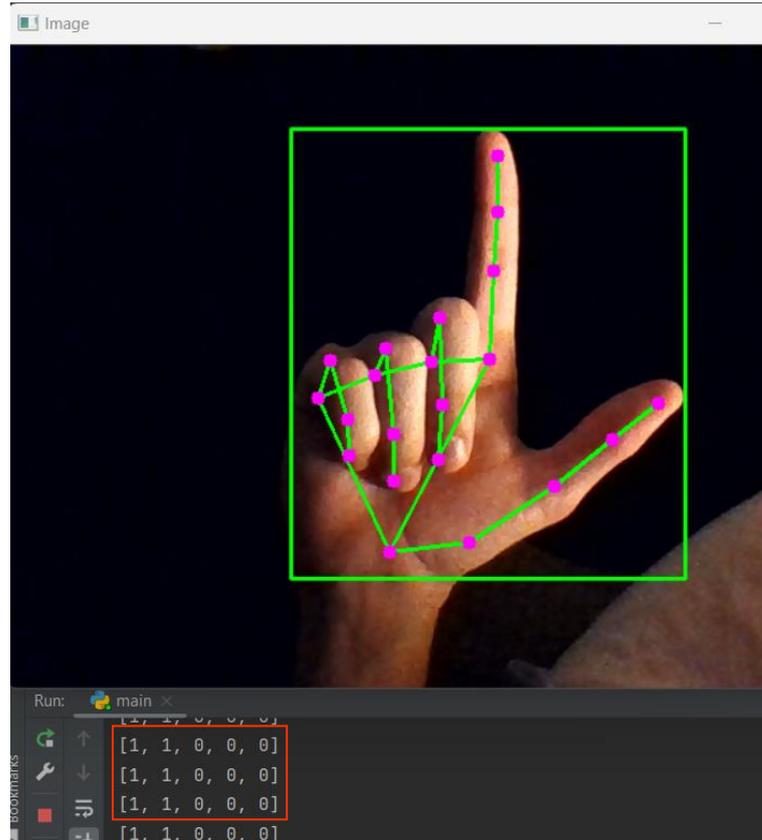


Figura 13 - Reconhecimento Gestual e os dados enviados através da porta Serial

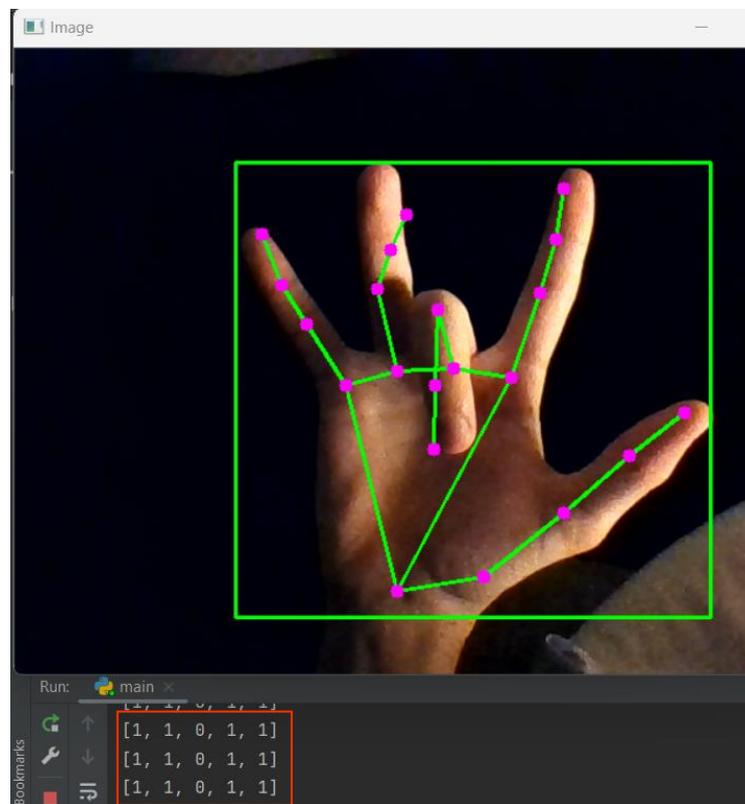


Figura 14 - Reconhecimento Gestual e os dados enviados através da porta Serial

Algumas das formas de aplicação do *OpenCV* em conjunto com braços robóticos são:

1. Detecção e Rastreamento de Objetos
2. Reconhecimento de padrões
3. Calibração de câmera
4. Detecção de gestos e interação homem – máquina

Neste projeto, foi implementado um sistema capaz de reconhecer a mão humana e converter os gestos dos dedos (levantados ou abaixados) em ações, tudo isso através de inteligência artificial básica desenvolvida em linguagem de programação *Python* utilizando o *OpenCV* e outras bibliotecas complementares como o *Mediapipe* para o reconhecimento da mão-humana e gestos. Este sistema é capaz de identificar a mão humana e alguns gestos como por exemplo quais dedos estão levantados ou abaixados, ou seja, informação binária, sendo '0' para o dedo abaixado e '1' para o dedo levantado e enviar estas informações ao ESP32 através da porta de comunicação serial (COM), que irá converter os dados binários em movimentos do robô, permitindo então que o braço-robótico seja controlado por gestos. Mais especificamente, ele foi programado para que cada servomotor seja controlado por um dedo, por exemplo, se o dedo indicador estiver levantado, então o servomotor da base deve permanecer no ângulo de 90°, caso ele estiver abaixado, deve então ir para o ângulo de 135°.

Logo abaixo se encontra o código de reconhecimento gestual desenvolvido em Python. É possível observar que a implementação do reconhecimento gestual não possui grande complexidade, uma vez que se entende o funcionamento da biblioteca e como interagir com o microcontrolador (que neste caso foi através da porta de comunicação serial), ou seja, o uso da inteligência artificial abre uma gama de recursos que através da imaginação humana torna possível construir e aplicar mais e mais recursos para a robótica.

```
import cvzone
import cv2

cap = cv2.VideoCapture(1)
detector = cvzone.HandDetector(maxHands=1, detectionCon=0.7)
mySerial = cvzone.SerialObject("COM7", 115200, 1)
```

```
while True:
    success, img = cap.read()
    img = detector.findHands(img)
    lmList, bbox = detector.findPosition(img)

    if lmList:
        fingers = detector.fingersUp()
        print(fingers)
        mySerial.sendData(fingers)

cv2.imshow("Image", img)
cv2.waitKey(1)
```

Sendo assim, é importante a possibilidade de que o braço robótico tenha alta percepção do ambiente que o rodeia, ter a sensibilidade e o entendimento de como interagir com cada objeto, ser vivo, situação ou caso de uso é de extrema relevância para obter êxito na segurança e na execução das tarefas às quais ele é designado.

CONCLUSÃO

Realizando uma pequena alusão, este projeto do braço robótico é apenas a “ponta de um iceberg”, significando que é apenas o início de um estudo mais aprofundado sobre as interações homem-máquina e como é possível integrá-los na sociedade. Ao longo da elaboração foi possível entender que ele não se limita a pequenos movimentos pré-programados, mas que pode sim ganhar independência para atuação e cooperação com seres vivos, desde que mantidos padrões de segurança, ética e eficiência. O braço robótico é um projeto de livre criação no sentido de que o criador do mesmo não está limitado quanto às funcionalidades, mas está totalmente apto para adicionar quaisquer tipos de sensores, atuadores, inteligência artificial, aprendizado de máquina etc. e neste sentido, é interessante pensar que quanto mais sensores o robô tiver, melhor... já que assim como os humanos, quanto mais sentidos, maior a capacidade de lidar com o mundo à sua volta, um exemplo é o tato, que permite ao ser humano que identifique se precisa pegar um objeto com mais delicadeza ou não, sentido que pode ser importante para um braço robótico industrial na hora de lidar com um produto sensível como um ovo de galinha por exemplo.

O protótipo implementado demonstra o princípio de funcionamento de um braço robótico angular genérico, que com pequenas alterações pode ser destinado para um caso de uso específico. Por exemplo, se adicionar rodas ao braço robótico, ele pode ser aplicado para exploração espacial, ou então podemos apenas ajustar sua programação para uso industrial para auxiliar na manipulação de peças.

Ao longo do desenvolvimento do projeto foi possível perceber que o maior desafio no tema Braço Robótico e a Interação Homem-Máquina está justamente em garantir que ele esteja apto para interagir de forma segura, uma vez que é necessário pensar em todas as possíveis variáveis de risco aos que estão a sua volta. Os protocolos de segurança, rotinas, funcionalidades e tarefas que o robô irá executar devem ser verificados por profissionais experientes das devidas áreas de atuação para maior garantia da segurança, assim como mencionamos anteriormente sobre os diversos detalhes que o braço robótico deve respeitar na área da saúde afim de evitar erros diretos à saúde de um paciente.

Por fim, a interação Homem-Máquina é um tema que segue as tendências de tecnologia no campo da inteligência artificial e tende a se tornar cada vez mais relevante, uma vez que a sociedade evolui e entende que existem diversas tarefas que podem ser executadas por máquinas enquanto os seres humanos priorizam as suas atividades essenciais que inclusive possam envolver um nível de tomada de decisão que a máquina não atende no momento, permitindo que o nível de produtividade e saúde do ser humano aumente cada vez mais.

REFERÊNCIAS

- [1] Agência Espacial Canadense. (2021). Canadarm2 - **About the ISS Robotic Arm**. Disponível em <https://www.asc-csa.gc.ca/eng/iss/canadarm2/about.asp>
- [2] Website do arquivo STL para impressão 3D da estrutura: <https://thangs.com/designer/HowToMechatronics/3d-model/Robotic%20Arm%203D%20Model-38899>
- [3] BABALLE, Muhammad Ahmed & BELLO, Mukhtar Ibrahim, Article “**Different Types of Servo Motors and Their Applications**”, 22 de Maio, ICEANS 2022: https://www.researchgate.net/publication/360781666_Different_Types_of_Servo_Motors_and_Their_Applications
- [4] FreeRTOS website: <https://www.freertos.org/>
- [5] OpenCV website: <https://opencv.org/>
- [6] BARRIENTOS, Antônio, et al. **Fundamentos de Robótica**. 2.ed Madrid: McGraw-Hill, 2007
- [7] RUSSEL, Stuart & NORVIG, Peter, **Artificial Intelligence: A Modern Approach. Third Edition**
- [8] BRADSKI, G., & KAEHLER, A. (2008). **Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library**. O'Reilly Media.
- [9] **ESP32 LilyGo TTGO GitHub Repository**: <https://github.com/Xinyuan-LilyGO/TTGO-T-Display?spm=a2g0o.detail.1000023.9.13cd21693ymi6i>
- [10] **ESP32 Specs**: <https://www.lilygo.cc/products/lilygo%C2%AE-ttgo-t-display-1-14-inch-lcd-esp32-control-board>
- [11] **DS3235 Servomotor Datasheet**: https://github.com/microrobotics/DS3235-270/blob/master/DS3235-270_datasheet.pdf
- [12] **DS-006M Servomotor Datasheet**: <https://www.dspowerservo.com/ds-s006m-metal-gear-9g-servo-micro-servo-product/>
- [13] NEVES, Felipe & MORAIS, José & Souza, Fábio. **Coleção ESP32 do Embarcados. Explore o FreeRTOS com ESP32**
- [14] GAY, Warren. (2020). **FreeRTOS for ESP32-Arduino – Pratical Multitasking Fundamentals**.
- [15] **Editor de Fluxograma**: <https://www.heflo.com/pt-br/>
- [16] MASSARO, Alessandro. **Electronics in Advanced Research Industries: Industry 4.0 to Industry 5.0 Advances**. 2022. Web.

[17] ESPINDOLA, Nathan. **Robot Arm Project GitHub Repository:**
<https://github.com/NathanEspindola/RoboticArm.git>