



CURSO TÉCNICO EM MECATRÔNICA

Josuel dos Santos Oliveira
Luiz Felipe Souza dos Santos
Matheus Almeida Lima da Silva
Pietro Antony de Menezes Alves

Braço Robótico com Seis Graus de Liberdade

SÃO CARLOS – SP
10 / 2025

**Josuel dos Santos Oliveira
Luiz Felipe Souza dos Santos
Matheus Almeida Lima da Silva
Pietro Antony de Menezes Alves**

**Desenvolvimento de um Braço Robótico com Seis Graus de
Liberdade Controlado por Arduino**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Etec Paulino Botelho, do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, como requisito parcial para a obtenção da habilitação profissional de Técnico de Nível Médio em Mecatrônica sob a orientação do(s) Professor(es) Valder Cesar Gonvoni, Claudio Torres Goncalves e Luiz Schiavone Neto de PTCC e DTCC.

**SÃO CARLOS – SP
11/2025**

NOME(S) COMPLETO(S) INTEGRANTE(S)

TÍTULO

Aprovada em : _____ / _____ / _____

Conceito: _____

Banca de Validação:

Professor Orientador
Cáudio Torres Gonçalves

Professor Orientador
Luis Schiavone Neto

Professor Banca 1
Evandra Maria Raimundo

Professor Banca 2
Anderson Beluco

SÃO CARLOS – SP
ANO 2025

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho aos nossos pais, responsáveis e familiares, que sempre nos acompanharam com apoio, dedicação e incentivo incondicional. Cada palavra de motivação, cada gesto de carinho e cada esforço realizado por vocês foi fundamental para nossa trajetória acadêmica e pessoal.

Agradecemos por acreditarem em nosso potencial, por compreenderem nossos desafios e por nos oferecerem a base necessária para que pudéssemos alcançar mais esta conquista. Este TCC é reflexo não apenas do nosso trabalho, mas também de tudo o que aprendemos e recebemos de vocês ao longo dessa caminhada.

Com gratidão e reconhecimento, dedicamos este trabalho a todos que fazem parte de nossa família e que contribuíram, direta ou indiretamente, para que chegássemos até aqui.

AGRADECIMENTOS

Nós, integrantes deste grupo, expressamos nossa sincera gratidão aos nossos pais e responsáveis, que estiveram ao nosso lado durante toda essa trajetória acadêmica. Agradecemos pelo apoio constante, pela compreensão nos momentos de dificuldade e por acreditarem em nosso potencial. Sua dedicação, incentivo e presença foram fundamentais para que pudéssemos chegar até aqui e concluir este trabalho.

Agradecemos também a todos que contribuíram, de alguma forma, para o desenvolvimento deste projeto e para nossa formação ao longo do curso. Aos nossos professores, pelo conhecimento transmitido, pela orientação e pela paciência durante todo o processo de criação e implementação do braço robótico de seis eixos. Cada ensinamento foi essencial para nossa evolução técnica e pessoal.

Estendemos nossos agradecimentos aos colegas e colaboradores da instituição, que compartilharam ideias, ofereceram apoio e participaram desta caminhada, tornando o aprendizado mais leve e significativo. O ambiente de cooperação e troca de experiências foi decisivo para a realização deste TCC.

Por fim, agradecemos à instituição de ensino por disponibilizar recursos, espaços e oportunidades que possibilitaram o desenvolvimento deste projeto e ampliaram nossa visão sobre o universo da robótica.

A todos que, de alguma maneira, fizeram parte deste percurso e contribuíram para nosso crescimento, deixamos registrado o nosso profundo reconhecimento e gratidão.

EPÍGRAFE

Nosso futuro é uma corrida entre o potencial de crescimento da tecnologia e nossa sabedoria ao usá-la.

— *Stephen Hawking, Breves Respostas para Grandes Questões*

RESUMO

Este Trabalho de Conclusão de Curso, desenvolvido no âmbito do curso técnico em Mecatrônica, apresenta o projeto e a construção de um braço robótico com seis graus de liberdade, capaz de reproduzir movimentos semelhantes aos de um membro humano. O estudo abordou a aplicação integrada de conhecimentos em eletrônica, mecânica e programação, utilizando o microcontrolador Arduino Uno como sistema central de controle dos servomotores responsáveis pelos movimentos articulares. O protótipo foi projetado para operar em dois modos: modo manual, permitindo controle direto pelo usuário, e modo automatizado, possibilitando a execução de sequências programadas de movimentos. O desenvolvimento envolveu o dimensionamento mecânico das partes do braço, a seleção de componentes eletrônicos e a implementação de algoritmos de controle que garantem precisão, repetibilidade e fluidez nos movimentos. Durante os testes, o sistema demonstrou desempenho satisfatório, evidenciando viabilidade para aplicações educacionais, laboratoriais e industriais. Além do aspecto técnico, o projeto contribuiu para o aprendizado prático dos alunos, favorecendo o domínio de conceitos fundamentais de automação e controle, promovendo a interdisciplinaridade da mecatrônica e incentivando a pesquisa e a inovação na área de robótica aplicada. Conclui-se que a construção e o controle do braço robótico alcançaram os objetivos propostos, demonstrando a integração eficiente de múltiplas áreas do conhecimento e a aplicabilidade do protótipo em diferentes contextos, fortalecendo a formação técnica dos alunos e preparando-os para futuros desafios profissionais no setor de automação e robótica.

Palavras-chave: Mecatrônica; Robótica; Automação; Arduino; Controle de movimento.

ABSTRACT

This final project, developed within the scope of the Mechatronics technical course, presents the design and construction of a robotic arm with six degrees of freedom, capable of reproducing movements similar to those of a human limb. The study addressed the integrated application of knowledge in electronics, mechanics, and programming, using the Arduino Uno microcontroller as the central control system for the servomotors responsible for the joint movements. The prototype was designed to operate in two modes: manual, allowing direct control by the user, and automated, enabling the execution of programmed sequences of movements. The development involved the mechanical dimensioning of the arm's parts, the selection of electronic components, and the implementation of control algorithms that ensure precision, repeatability, and fluidity in the movements. During testing, the system demonstrated satisfactory performance, showing its viability for educational, laboratory, and industrial applications. In addition to the technical aspect, the project contributed to the practical learning of the students, favoring the mastery of fundamental concepts of automation and control, promoting the interdisciplinarity of mechatronics, and encouraging research and innovation in the field of applied robotics. It is concluded that the construction and control of the robotic arm achieved the proposed objectives, demonstrating the efficient integration of multiple areas of knowledge and the applicability of the prototype in different contexts, strengthening the technical training of the students and preparing them for future professional challenges in the automation and robotics sector.

Keywords: Mechatronics; Robotics; Automation; Arduino; Motion control.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Modelo 3D original adquirido.....	15
FIGURA 2 – Erro nas engrenagens da garra.....	16
FIGURA 3 – Garra modificada com redimensionamento.....	16
FIGURA 4 – Impressora 3D usada.....	17
FIGURA 5 – Produtos da selagem química.....	18
FIGURA 6 – Visão de cima do Braço Robótico.....	19
FIGURA 7 – Esquema eletrônico do Arduino e servomotores.....	20
FIGURA 8 – Interface do programa em Java.....	20
FIGURA 9 – Braço Robótico.....	23
FIGURA 10 – Braço KUKA.....	24
FIGURA 11 – Arduino UNO.....	27
FIGURA 12 – Servo Motor Sg90.....	27
FIGURA 13 – Servo Motor MG996R.....	28
FIGURA 14 – Parte do programa em Java.....	29
FIGURA 15 – Ilustração de Eixos e Graus de Liberdade.....	31

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Tabela de componentes.....	25
TABELA 2 – Tabela de preços.....	32

LISTA DE ABREVIATURAS / SIGLAS

3D – *Three-Dimensional* – Tridimensional; relacionado a objetos ou impressão em três dimensões.

ABS – *Acrilonitrila Butadieno Estireno* – Termoplástico utilizado em impressão 3D, conhecido pelo bom custo-benefício e resistência.

Arduino IDE – *Arduino Integrated Development Environment* – Plataforma de desenvolvimento utilizada para programar placas Arduino.

DIY – *Do It Your self* – “Faça você mesmo”; prática de criação e montagem manual de projetos.

DoF *Degrees of Freedom* – Graus de Liberdade; quantidade de movimentos independentes que um robô ou sistema mecânico pode realizar.

Fonte 5V DC – Direct Current – Corrente Direta

GUI – *Graphical User Interface* – Interface Gráfica do Usuário; permite controle ou visualização por meio de elementos gráficos.

PWM – *Pulse Width Modulation* – Modulação por Largura de Pulso; técnica usada para controlar servomotores variando o pulso elétrico.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVO	14
3. METODOLOGIA	15
4. DESENVOLVIMENTO	22
4.1 Projeto e Desenvolvimento de um Braço Robótico	22
4.2 Robótica Aplicada e Seus Princípios	23
4.3 Conceito de Automação e Aplicação na Robótica	24
4.4 Estrutura e Componentes do Sistema Robótico	25
4.4.1 Estrutura	26
4.5 Microcontrolador Arduino Uno	26
4.6 Software de Controle em Java	28
4.7 Vantagens do Sistema Desenvolvido	29
4.8 Desvantagens e Limitações do Projeto	30
4.9 Eixos e Graus de Liberdade na Robótica	30
4.10 Preços	31
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	33
CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
REFERÊNCIAS	37
GLOSSÁRIO – Elemento pós-textual	40
APÊNDICE – Elemento pós-textual	41

1. INTRODUÇÃO

O avanço acelerado da tecnologia e da automação tem transformado significativamente os processos industriais, exigindo profissionais capacitados para desenvolver, operar e manter sistemas inteligentes. Nesse cenário, a **robótica aplicada** desempenha papel essencial, pois possibilita a criação de dispositivos capazes de realizar tarefas com precisão e repetibilidade, reduzindo custos e riscos humanos em ambientes de trabalho. Dentro dessa área, os **braços robóticos** se destacam por sua versatilidade e por representarem, em escala reduzida, os princípios fundamentais da mecatrônica — integração entre **mecânica, eletrônica e programação**.

O presente Trabalho de Conclusão de Curso propõe o **projeto e a construção de um braço robótico com seis graus de liberdade**, capaz de reproduzir movimentos semelhantes aos de um membro humano. O problema central que motivou este estudo está relacionado à **necessidade de desenvolver um protótipo funcional, de baixo custo e alta precisão**, que possa ser utilizado tanto para fins **educacionais e laboratoriais** quanto como **modelo experimental** para pesquisas em automação e controle. A justificativa deste trabalho fundamenta-se na relevância de proporcionar uma experiência prática de integração entre teoria e aplicação, fortalecendo a formação técnica e o domínio das tecnologias emergentes na área da robótica.

O embasamento teórico do projeto apoia-se em conceitos de **cinemática robótica, controle de servomotores, microcontroladores Arduino e manufatura aditiva (impressão 3D)**, além de princípios de **automação e programação conjuntas**. A hipótese que norteia este estudo é de que a integração desses elementos, aliada ao uso de **materiais leves e resistentes**, resultará em um sistema robótico com **movimentos precisos, fluídos e confiáveis**, adequado para aplicações didáticas e experimentais.

O desenvolvimento do protótipo envolveu a **impressão 3D das partes estruturais** utilizando **filamento ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno)** — um polímero termoplástico amplamente empregado na engenharia devido à sua **resistência mecânica, durabilidade e boa estabilidade térmica**. Para garantir a fixação e a

vedação dos componentes mecânicos, foi empregada uma **selagem química nos parafusos**, utilizando **solventes, nitrocelulose, resina e plastificantes**, o que aumentou a rigidez estrutural e reduziu a possibilidade de afrouxamento durante o funcionamento do braço robótico.

O sistema de controle foi implementado por meio de um **microcontrolador Arduino Uno**, responsável pela coordenação dos **servomotores** que realizam os movimentos articulares. O projeto permite dois modos de operação: **manual**, no qual o usuário controla os movimentos diretamente, e **automatizado**, que executa **sequências programadas** de tarefas. Essa configuração possibilita o estudo de algoritmos de controle e simulação de processos industriais automatizados.

Assim, este trabalho busca demonstrar a viabilidade técnica da construção de um braço robótico didático de seis eixos, destacando sua importância como ferramenta de aprendizado e pesquisa. Além de contribuir para o desenvolvimento de competências práticas em **mecatrônica e automação**, o projeto incentiva a inovação e o pensamento crítico, reforçando o papel da educação técnica na formação de profissionais preparados para os desafios da **Indústria 4.0**.

2. OBJETIVO

OBJETIVO GERAL

Desenvolver um braço robótico de seis eixos utilizando tecnologia acessível, integrando conhecimentos teóricos e práticas experimentais, de modo a promover o aprendizado dos princípios de automação e controle aplicados à Indústria 4.0 e contribuir para a formação técnica e científica na área da robótica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Compreender os fundamentos da robótica, automação e controle envolvidos no funcionamento de um braço robótico de múltiplos eixos.
- Projetar e construir a estrutura mecânica do braço robótico, garantindo estabilidade, precisão e mobilidade adequada aos seis graus de liberdade.
- Implementar o sistema eletrônico utilizando Arduino e demais componentes necessários ao acionamento e controle dos servomotores.
- Desenvolver a programação responsável pela movimentação coordenada dos eixos, integrando sensores e algoritmos adequados ao projeto.
- Realizar testes práticos para avaliar o desempenho, precisão e limitações do protótipo desenvolvido.
- Relacionar os resultados obtidos com a realidade da Indústria 4.0, destacando a importância do projeto como ferramenta educacional e formativa.
- Proporcionar aos alunos envolvidos uma experiência integrada entre teoria e prática, incentivando o desenvolvimento de competências técnicas essenciais no campo da robótica educacional e industrial.

3. METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho é de natureza **experimental e aplicada**, tendo como objetivo detalhar todas as etapas do processo de desenvolvimento do braço robótico, de modo que sua reprodução seja possível por outros pesquisadores ou estudantes. O projeto envolveu o **planejamento, modificação, fabricação, montagem e programação** de um braço robótico com **seis graus de liberdade**, controlado por um **microcontrolador Arduino Uno** e uma **interface de software em Java**.



[Modelo 3D original adquirido]

O modelo tridimensional utilizado como base foi obtido no site **Cults3D**, intitulado *“Braço Robótico Arduino DIY con Control de Smartphone”* (2023). Ressalta-se que esse modelo foi empregado **apenas como referência** para o desenvolvimento do projeto, servindo de apoio na compreensão da estrutura e do funcionamento de um braço robótico semelhante. Durante os testes iniciais, foi identificado um **erro estrutural na garra**, onde as engrenagens responsáveis pelo fechamento não se tocavam corretamente, ocasionando **desgaste precoce e soltura dos dentes**. Para

corrigir essa falha, foi realizado um **redimensionamento das engrenagens**, garantindo o acoplamento adequado, maior precisão e durabilidade do mecanismo.



[Erro nas engrenagens da garra]



[Garra modificada com redimensionamento]

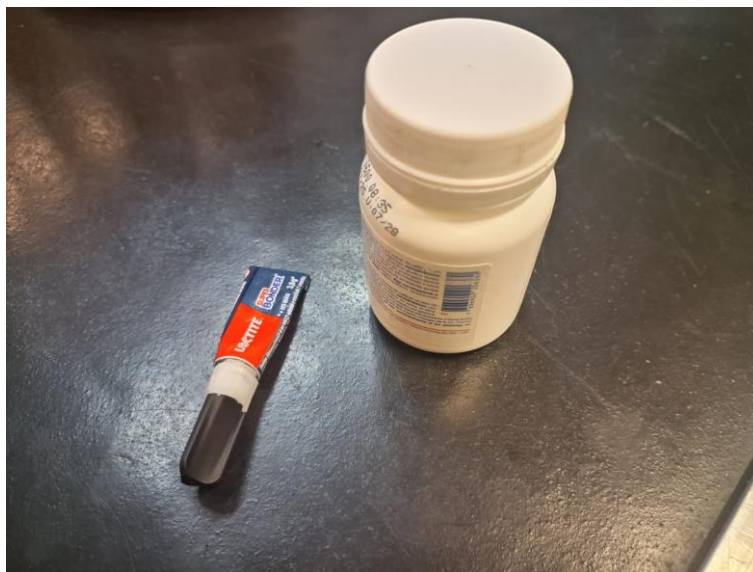
As peças foram **fabricadas em impressora 3D convencional**, utilizando **filamento ABS**, escolhido por sua **resistência mecânica e estabilidade térmica**. Após a impressão, foi realizado o **acabamento manual** para eliminação de rebarbas e ajuste

de encaixes. A montagem final utilizou **parafusos metálicos** e **buchas plásticas**, formando a estrutura definitiva do braço robótico.

Com o objetivo de reforçar as uniões e evitar o afrouxamento das roscas, foi aplicada uma **selagem química** composta por **supercola (cianoacrilato)** com **bicarbonato de sódio**, que reage instantaneamente formando um composto rígido e altamente resistente.



[Impressora 3D usada]



[Produtos da selagem química]

Para garantir estabilidade durante as medições, o braço robótico foi fixado em um **suporte de madeira**, permitindo melhor visualização, evitando vibrações indesejadas e assegurando condições adequadas para análise dos desempenhos mecânico e estrutural. Também foi realizada uma análise comparativa entre o modelo original e o modificado. Após as alterações na garra, observou-se melhor acoplamento entre as engrenagens, redução do desgaste e aumento da estabilidade durante o funcionamento.

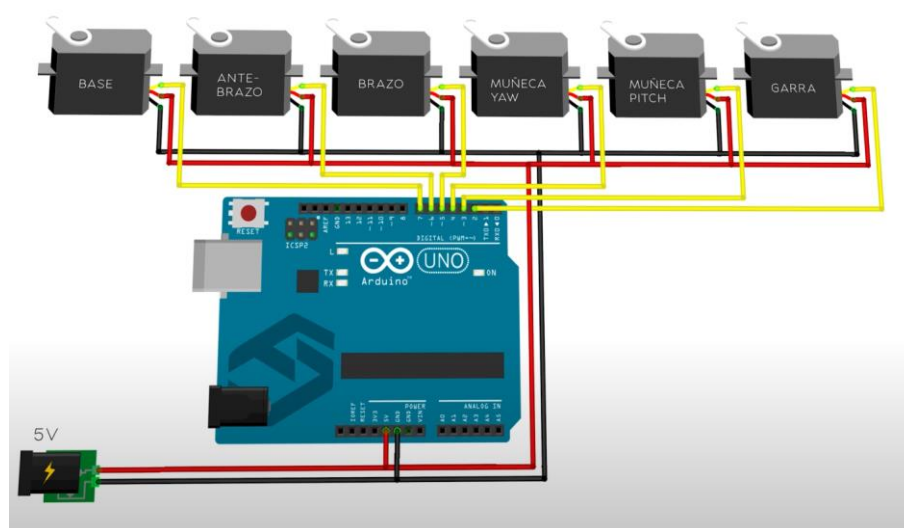


[Visão de cima do Braço Robótico]

O sistema eletrônico foi estruturado em torno do **Arduino Uno**, responsável pelo controle dos **seis servomotores modelo MG996R**, que realizam os movimentos articulares. O circuito foi alimentado por uma **fonte de 5V DC**, garantindo potência suficiente para o funcionamento simultâneo dos eixos.

A programação foi dividida em **duas partes principais**:

- O **código desenvolvido na plataforma Arduino IDE**, responsável pelo controle dos servos, leitura de comandos e comunicação serial;
- O **software em Java**, que oferece ao usuário uma **interface gráfica** para controle manual e execução de **sequências automáticas de movimentos**.



[Esquema eletrônico do Arduino e servomotores]



[Interface do programa em Java]

Durante os testes práticos, foram aplicados **métodos de observação direta e registro fotográfico**, analisando parâmetros como **alcance, precisão e fluidez dos movimentos**. Também foi realizada uma **análise comparativa de desempenho** entre o modelo original e o modificado. Após as alterações na garra, observou-se **melhor acoplamento entre as engrenagens, redução do desgaste e aumento da estabilidade** durante o funcionamento.

Por se tratar de uma **pesquisa experimental**, não houve **seleção de amostra populacional**, pois o foco do estudo foi o **protótipo desenvolvido**.

Os dados coletados foram avaliados de forma **qualitativa e quantitativa**, incluindo **medições de ângulos de movimento, tempo de resposta e observações visuais** durante os testes.

Todos os procedimentos foram realizados seguindo **normas básicas de segurança e boas práticas laboratoriais**. As etapas foram **documentadas por meio de registros fotográficos e anotações técnicas**, assegurando a **rastreabilidade** e a **reprodutibilidade** do experimento.

Essa metodologia garantiu o **detalhamento completo** das etapas do projeto — desde a aquisição do modelo até a integração final do sistema — permitindo que o trabalho possa ser **reproduzido, validado e aprimorado** em novos estudos e aplicações no campo da **robótica educacional e automação**.

4. DESENVOLVIMENTO

O tema deste Trabalho de Conclusão de Curso é o desenvolvimento de um braço robótico com seis graus de liberdade, utilizando o microcontrolador Arduino Uno, servomotores MG996R e Sg90, além de uma interface de controle em Java. O projeto tem como propósito principal demonstrar, de forma prática, a aplicação dos conceitos de mecatrônica, eletrônica e programação na criação de um sistema automatizado funcional.

O braço robótico foi projetado para reproduzir movimentos semelhantes aos de um membro humano, executando ações de rotação, elevação, extensão e apreensão por meio de uma garra mecânica. O controle dos movimentos é realizado por comandos enviados via software, permitindo operação manual e automática, conforme os parâmetros definidos na programação.

A escolha do tema justifica-se pela relevância crescente da robótica no cenário tecnológico atual, especialmente nas áreas industrial, médica e educacional. A implementação de projetos dessa natureza em ambientes acadêmicos promove o aprendizado prático dos conceitos de automação e controle, aproximando os alunos das situações reais encontradas na Indústria 4.0.

Dessa forma, este trabalho busca integrar tecnologia acessível, conhecimento teórico e prática experimental, contribuindo para o avanço da formação técnica e científica no campo da robótica e da automação.

4.1 PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM BRAÇO ROBÓTICO

O tema deste Trabalho de Conclusão de Curso é o desenvolvimento de um braço robótico com seis graus de liberdade, utilizando o microcontrolador Arduino Uno, servomotores MG996R e Sg90, uma interface de controle em Java. O projeto tem como objetivo demonstrar, de forma prática, a aplicação dos conceitos de mecatrônica, eletrônica e programação na criação de um sistema automatizado funcional.

O braço robótico foi projetado para reproduzir movimentos semelhantes aos de um membro humano, executando ações de rotação, elevação, extensão e apreensão por meio de uma garra mecânica. O controle dos movimentos é realizado por comandos enviados via software, permitindo operação manual e automática conforme os parâmetros definidos na programação.

A escolha do tema justifica-se pela relevância crescente da robótica no cenário tecnológico atual, especialmente nas áreas industrial, médica e educacional. Projetos como este contribuem para o aprendizado prático da automação e do controle, aproximando estudantes das situações reais encontradas na Indústria 4.0.

Dessa forma, este trabalho busca integrar tecnologia acessível, conhecimento teórico e prática experimental, contribuindo para o avanço da formação técnica e científica no campo da robótica.



[Braço Robótico]

4.2 ROBÓTICA APLICADA E SEUS PRINCÍPIOS

A robótica é uma área multidisciplinar que integra mecânica, eletrônica e computação para projetar sistemas automatizados capazes de executar tarefas específicas. Os braços robóticos, em especial, têm grande relevância devido à sua capacidade de reproduzir movimentos semelhantes aos de um membro humano, com precisão e repetibilidade.

Esses sistemas utilizam atuadores, sensores, controladores e softwares para realizar movimentos coordenados. Isso permite que sejam aplicados em montagem industrial, soldagem, manipulação de objetos, pesquisas e ensino.

No desenvolvimento deste projeto, o modelo do braço robótico foi inspirado no design e funcionamento dos braços industriais da marca **KUKA**, conhecidos por sua alta precisão, robustez e fluidez de movimento. Embora em escala

reduzida e utilizando componentes de menor custo, buscou-se adotar princípios semelhantes aos desses robôs industriais, como articulações bem distribuídas, movimentos suaves e estrutura otimizada para estabilidade. Essa inspiração permitiu que o protótipo tivesse uma concepção mais próxima de aplicações reais na indústria moderna.



[Braço KUKA]

4.3 CONCEITO DE AUTOMAÇÃO E APLICAÇÃO NA ROBÓTICA

A automação consiste na aplicação de tecnologias capazes de executar tarefas com mínima intervenção humana, garantindo maior precisão e eficiência. Na robótica, ela é alcançada pela integração entre sistemas mecânicos, eletrônicos e computacionais.

O controle inteligente de movimentos permite ao robô interagir com o ambiente, ajustar ações e executar tarefas autônomas ou semiautônomas. Em ambientes industriais, a automação melhora produtividade e reduz falhas. No ensino, torna-se ferramenta prática para desenvolver lógica de programação, eletrônica aplicada e controle de sistemas.

4.4 Estrutura e Componentes do Sistema Robótico

O braço robótico foi projetado de forma modular, abrangendo microcontrolador, atuadores, estrutura mecânica e software de controle. Essa organização garante estabilidade estrutural, precisão nos movimentos e integração eficiente entre hardware e software. Para orientar esse desenvolvimento, foram utilizados materiais de apoio disponibilizados pelos professores, incluindo o manual de treinamento da KUKA para a célula robótica KR3 e a apostila de robótica da EXSTO, ambos fundamentais para a compreensão dos princípios construtivos e operacionais do sistema.

Tabela de componentes

Item	Quantidade	Aplicação Principal no TCC
Filamento ABS Premium preto	1 kg	Peças estruturais impressas do braço robótico (carcaça, elos, base).
Servo digital MG996R 15kg	2 unidades	Atuação nas juntas de ombro e cotovelo (pontos de maior carga e torque).
Kit micro servo SG90	1 kit (4 unidades)	Atuação na garra, pulso e outras articulações finas.
Placa compatível Arduino Uno R3	1 unidade	Controlador principal para receber comandos e enviar sinais aos servos, além de leitura de sensores.
Cablagem - 1000mm X 1mm	1 unidade	Roteamento e organização da fiação interna do braço.
Fio de comando (Jumper)	1 kit	Conexões elétricas entre a placa Arduino, a protoboard e os servos.
Protopoard	1 unidade	Montagem temporária e testes dos circuitos e conexões eletrônicas.
Parafuso M6	40 unidades	Fixação e união mecânica das peças estruturais impressas do braço robótico.

Fonte: Elaboração própria

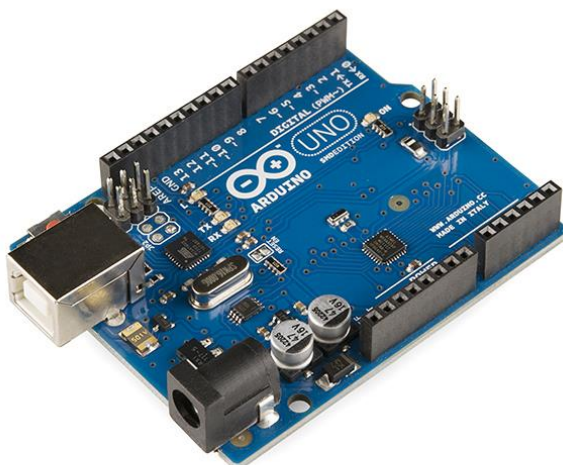
4.4.1 ESTRUTURA

A estrutura física do braço foi planejada para distribuir adequadamente o peso ao longo das articulações, evitando sobrecarga nos motores e aumentando a vida útil do sistema. Para isso, adotou-se um servo posicionado na região **central da base**, responsável por realizar o movimento de rotação do braço. A escolha dessa posição estratégica melhora o **balanceamento** e reduz o efeito de torque excessivo que ocorreria caso o motor estivesse deslocado para as extremidades. Assim, a base se torna mais estável e capaz de suportar movimentos amplos sem perda de precisão.

Nas partes superiores foram utilizados servos **Sg90**, escolhidos por serem mais leves e compactos. Essa decisão reduz o peso nas extremidades do braço, evitando desequilíbrios e diminuindo a carga mecânica sobre os servos inferiores. Com menos esforço necessário para sustentar e mover a estrutura, o conjunto opera com maior estabilidade e apresenta movimentos mais precisos e suaves.

4.5 MICROCONTROLADOR ARDUINO UNO

O Arduino Uno atua como o “cérebro” do sistema, processando os sinais e coordenando todas as operações do braço robótico. A partir dos comandos enviados pelo software de controle, o microcontrolador gera sinais PWM precisos para acionar os servomotores MG996R e SG90, definindo posição, velocidade e sequência de movimento. Além disso, o Arduino gerencia toda a comunicação entre o computador e o hardware, garantindo sincronização, resposta rápida e funcionamento integrado do sistema.



[Arduino UNO]



[Servo Motor Sg90]



[Servo Motor MG996R]

4.6 SOFTWARE DE CONTROLE EM JAVA

O sistema de controle foi desenvolvido em Java, permitindo a criação de uma interface gráfica (GUI) que envia comandos ao Arduino. O programa possibilita:

- Controle manual dos movimentos
- Execução automática de sequências programadas
- Ajustes finos de velocidade e precisão
- Comunicação estável via porta serial

Além disso, **o software foi desenvolvido de modo que possa ser aplicado em qualquer braço robótico de seis eixos**, independentemente do modelo, desde que utilize servos compatíveis com controle PWM. Isso amplia sua versatilidade e permite uso educacional e industrial.

4.8 DESVANTAGENS E LIMITAÇÕES DO PROJETO

Embora apresente bons resultados, o sistema possui limitações — naturais para um projeto acadêmico de baixo custo:

- **Resistência mecânica moderada**, devido ao uso de ABS impresso em 3D.
- **Servomotores de torque limitado**, inadequados para cargas muito altas.
- **Precisão inferior a braços industriais profissionais**.
- **Pequeno atraso na comunicação serial em operações muito rápidas**.
- **Sensibilidade ao aquecimento dos servos** após longos períodos de operação.

Apesar dessas desvantagens, **elas não comprometem o objetivo educacional**, e podem ser minimizadas com melhorias futuras.

4.9 EIXOS E GRAUS DE LIBERDADE NA ROBÓTICA

Os conceitos de *eixos* e *graus de liberdade (DoF)* são fundamentais na robótica.

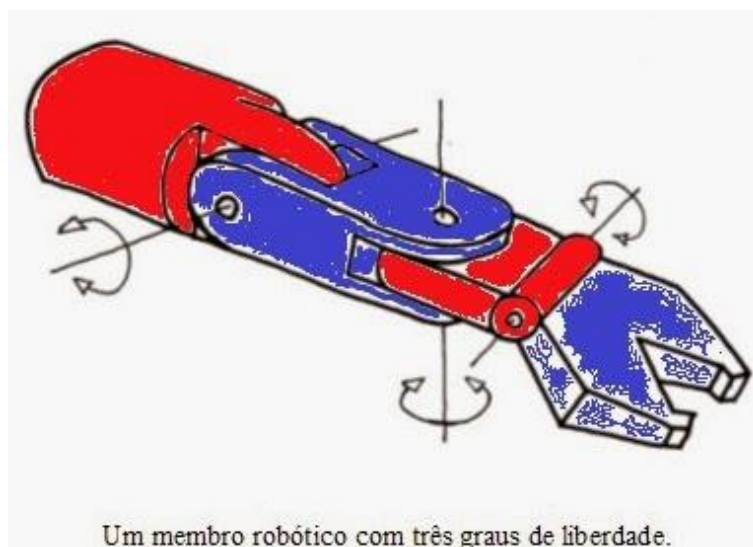
Um **eixo** representa uma articulação onde ocorre um movimento específico, seja rotacional ou linear. Já os **graus de liberdade** correspondem ao número de movimentos independentes que um robô pode executar.

No caso deste projeto, o braço possui:

1. Rotação da base
2. Movimento do ombro
3. Movimento do cotovelo
4. Rotação do punho
5. Inclinação do punho
6. Abertura e fechamento da garra

Isso permite alta flexibilidade e capacidade de alcançar diferentes posições no espaço, além de possibilitar manipulação avançada de objetos.

A compreensão desses elementos é essencial para a programação, modelagem e controle de sistemas robóticos, pois define as limitações e potencialidades do movimento.



[Ilustração de Eixos e Graus de Liberdade]

4.10 PREÇOS

O custo do projeto foi um fator decisivo em todas as etapas de desenvolvimento. Para manter o orçamento acessível, optou-se pela **impressão 3D** como principal método de fabricação das peças estruturais, uma vez que permite produzir componentes personalizados com alta precisão e baixo custo por unidade. O material escolhido foi o **filamento ABS**, que apresentou o melhor custo-benefício por oferecer boa resistência mecânica, durabilidade e facilidade de substituição caso alguma peça precise ser refeita. Essa combinação tornou possível construir um protótipo funcional, leve e robusto, sem comprometer a viabilidade financeira do projeto.

Tabela de preço

Número	Item	Detalhe	Quantidade	Unidade	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
1	Filamento ABS Premium preto	Filamento ABS 1.75mm – Peças estruturais	1	kg	115	115
2	Servo digital MG996R	Alto torque – Ombro e cotovelo	2	Unidades	54,14	115
3	Kit micro servo SG90	Micro-servos 9g – Garra, pulso e articulações finas	1	kit (4 unidades)	51,03	108,28
4	Placa compatível Arduino Uno R3	Controlador principal (ATmega328)	1	Unidade	51,06	51,06
5	Cablagem – 1000mm X 1mm	Roteamento de cabos e conexões	1	10m	22	22
6	Fio de comando	Kit Cabo Jumper (120x)	1	kit	28,89	28,89
7	Protoboard	830 furos	1	Unidade	19	19
8	Parafuso M6	Conjunto de parafusos	40	Unidades	0,53	21,3
---	---	---	---	---	---	---
		TOTAL				480,53

Fonte: Elaboração própria

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesta parte, são descritos analiticamente os dados levantados, por meio de uma exposição sobre o que foi observado e desenvolvido na pesquisa. A descrição pode ter o apoio de recursos estatísticos, tabelas e gráficos, elaborados no decorrer da tabulação dos dados. Na análise e discussão, os resultados estabelecem as relações entre os dados obtidos, o problema da pesquisa e o embasamento teóricos dado na revisão da literatura. Os resultados podem estar divididos por tópicos com títulos logicamente formulados.

Nesta parte do trabalho, são apresentados e analisados os dados e observações obtidos durante o processo de desenvolvimento do braço robótico controlado por Arduino. O modelo tridimensional de referência utilizado, intitulado *“Brazo Robótico Arduino DIY con Control de Smartphone”* (2023), foi obtido no site *Cults3D* e serviu apenas como base conceitual. A partir dele, foram feitas diversas adaptações estruturais e funcionais para atender às necessidades específicas do projeto, que teve como objetivo principal a criação de um protótipo capaz de reproduzir movimentos semelhantes aos de uma mão humana.

Durante as etapas de construção e calibração, observou-se que o projeto exigiu sucessivas impressões 3D e ajustes dimensionais, especialmente nas garras. A primeira versão apresentou falhas de proporção, o que dificultava a preensão de objetos e comprometia a eficiência mecânica. Com as modificações realizadas — incluindo o redimensionamento das garras e o reforço em algumas partes estruturais — foi possível aprimorar o desempenho do protótipo e garantir maior estabilidade nos movimentos.

Os testes funcionais mostraram que o braço robótico respondeu de forma coerente aos comandos programados no Arduino. Os sensores de flexão apresentaram boa sensibilidade e conseguiram transmitir os sinais de movimento de maneira precisa, possibilitando uma reprodução fiel dos gestos realizados manualmente. Contudo, verificou-se uma limitação quanto à força de preensão: o protótipo foi capaz de operar apenas com objetos leves, não suportando cargas mais elevadas. Essa limitação está

associada à resistência dos materiais utilizados na impressão 3D e à potência reduzida dos servomotores empregados.

A análise dos resultados evidencia que o protótipo cumpre o papel proposto pela pesquisa, demonstrando a viabilidade de integrar componentes eletrônicos, sensores e estruturas mecânicas em um sistema funcional e acessível. Embora apresente restrições em termos de força e durabilidade, o braço robótico se destaca pela **precisão dos movimentos** e pela **resposta eficiente aos sinais de controle**, o que representa um avanço importante dentro da proposta experimental.

Além disso, o processo de desenvolvimento permitiu observar a importância da **experimentação e da prototipagem iterativa** na área da mecatrônica. As correções e adaptações realizadas durante o projeto foram essenciais para alcançar um resultado satisfatório, mostrando que o aprimoramento contínuo é parte natural de pesquisas experimentais.

Por fim, os resultados obtidos estão em conformidade com os objetivos estabelecidos na pesquisa, demonstrando que o modelo desenvolvido é funcional e contribui como ferramenta didática e experimental para o estudo da robótica aplicada. Recomenda-se, para trabalhos futuros, a substituição de componentes por materiais mais resistentes e servomotores de maior torque, a fim de ampliar a capacidade de carga e a durabilidade do sistema.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas considerações finais busca-se recapitular de forma sintética os resultados da pesquisa. Fundamenta-se no próprio texto, expressando de forma sistêmica os pontos essenciais resultantes da monografia, podendo ainda constar propostas e sugestões do autor, decorrentes da pesquisa elaborada.

As etapas desenvolvidas ao longo deste trabalho permitiram compreender de maneira prática e aplicada a integração entre eletrônica, mecânica e programação, resultando na criação de um protótipo funcional de braço robótico controlado por Arduino. O projeto teve como objetivo reproduzir, em escala reduzida, os movimentos de uma mão humana, utilizando sensores de flexão e componentes eletrônicos de baixo custo, demonstrando a viabilidade de desenvolver tecnologias acessíveis e educativas dentro da área da mecatrônica.

Os resultados obtidos mostraram que o protótipo alcançou desempenho satisfatório dentro das expectativas do estudo. Apesar de algumas falhas observadas durante o processo de desenvolvimento — como o dimensionamento inadequado das garras e a necessidade de múltiplas impressões 3D —, as correções realizadas possibilitaram a construção de um modelo estável e funcional. O braço apresentou **boa precisão nos movimentos** e respondeu adequadamente aos comandos programados, embora tenha se mostrado limitado em relação à **força de preensão**, suportando apenas objetos leves.

A pesquisa evidenciou ainda a importância do processo experimental e da prototipagem iterativa no desenvolvimento de sistemas robóticos. Cada ajuste realizado contribuiu para o aprimoramento do desempenho do protótipo, destacando o valor do aprendizado obtido por meio da prática e da observação direta. Dessa forma, o projeto cumpriu o papel proposto, proporcionando um resultado coerente com os objetivos definidos inicialmente e reforçando a aplicabilidade da robótica no contexto educacional e tecnológico.

Como proposta para trabalhos futuros, sugere-se a substituição dos servomotores por modelos de maior torque, a utilização de materiais mais resistentes nas impressões 3D e a implementação de um sistema de controle sem fio aprimorado, que permita

maior autonomia e precisão nos movimentos. Tais melhorias podem ampliar a capacidade de carga e a durabilidade do sistema, aproximando ainda mais o projeto de aplicações reais em ambientes industriais ou assistivos.

Em síntese, o desenvolvimento deste braço robótico demonstrou não apenas a capacidade técnica envolvida na criação de sistemas automatizados, mas também o potencial educativo e inovador que a robótica oferece. O projeto cumpriu seu papel como experimento didático e tecnológico, contribuindo para o aprofundamento do conhecimento e para o incentivo à pesquisa aplicada na área da mecatrônica.

REFERÊNCIAS

FABRI_CREATOR. *Braço Robótico Arduino DIY con Control de Smartphone*. 2023. Disponível em: <https://cults3d.com/pt/modelo-3d/gadget/braço-robotico-arduino-diy-con-control-de-smartphone-2023>. Acesso em: 23 jul. 2025.

FUNDAÇÃO ESCOLA DE COMÉRCIO ÁLVARES PENTEADO – FECAP. *Manual ABNT: Regras gerais de estilo e formatação de trabalhos acadêmicos*. 5. ed., rev. e ampl. São Paulo: Biblioteca FECAP Paulo Ernesto Tolle, 2021. PDF. Disponível em: <https://www.fecap.br/wp-content/uploads/2021/04/Manual-ABNT-2021-1.pdf>. Acesso em: 25 set. 2025.

CENTRO PAULA SOUZA. *Manual de Trabalho de Conclusão de Curso nas Etec*s. São Paulo: CPS, 2022. Recurso eletrônico.

ARDUINO. *Arduino Documentation*. Disponível em: <https://docs.arduino.cc>. Acesso em: 27 nov. 2025.

NISE, Norman S. *Engenharia de Sistemas de Controle: Sistemas Dinâmicos e Controle Moderno*. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CRAIG, John J. *Introdução à Robótica: Mecânica e Controle*. 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

KUKA. *Treinamento – Célula Robótica Didática KUKA KR3*. Material oficial da fabricante KUKA. [S.l.: KUKA], 2012. 105 p. Disponível em: arquivo disponibilizado pelo professor.

EXSTO. *Apostila do Curso de Robótica*. Material oficial da EXSTO. [S.l.: EXSTO], [20??] Disponível em: arquivo disponibilizado pelo professor

Imagens de referência

CULTS3D. Molde 3D do braço robótico — render 2023. 2023. Imagem. Disponível em: https://fbi.cults3d.com/uploaders/17468605/illustration-file/1013d7b1-3b94-45a0-a31b-1684364afa5d/Braço_Rob%C3%B3tico_2023_2023-Aug-16_03-18-46AM-000_CustomizedView30503862463.png. Acesso em: 25 jul. 2025.

TURBOSQUID. Modelo 3D do robô KUKA KR 4 AGILUS. 2023. Disponível em: https://www.turbosquid.com/pt_br/3d-models/kuka-kr-4-agilus-industrial-robot-3d-model-1771345. Acesso em: 27 nov. 2025.

ARDUINO. *Arduino Uno*. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino_Uno. Acesso em: 27 nov. 2025.

RC-EST. *Tower Pro Digital Servo SG90 – ficha técnica.* Disponível em: <https://rc-est.eu/en/shop/electronics/electronics-radio-communication/servos/tower-pro-digital-servo-sg90/>. Acesso em: 27 nov. 2025.

BRELETRÔNICA. *Servo motor MG996 alto torque – ficha técnica.* Disponível em: <https://www.breletronica.com.br/servo-motor-mg996-alto-torque>. Acesso em: 27 nov. 2025.

UM Ações e Acionamentos. *Junta rotacional – catálogo de peças e componentes.* Disponível em: http://www.um.pro.br/acionamentos/index.php?c=junta_rotacional. Acesso em: 27 nov. 2025.

GLOSSÁRIO – ELEMENTO PÓS-TEXTUAL –

- **Eixo:** Parte que permite o movimento rotacional do robô.
- **Graus de Liberdade:** Quantidade de movimentos independentes que o robô pode fazer.
- **Interface Gráfica:** Tela onde o usuário controla e visualiza o sistema.
- **Torque:** Força de rotação que o motor aplica para mover cargas.
- **Indústria 4.0:** Integração de tecnologia, automação e dados inteligentes nos processos industriais.
- **Software:** Programa usados para controlar e programar o robô.
- **Soltura dos Dentes:** Desgaste ou folga nas engrenagens que prejudica o movimento.
- **Natureza Experimental e Aplicada:** Trabalho que envolve prática, testes e prototipagem.
- **Comunicação Serial:** Troca de dados entre o Arduino e o computador.
- **Design Modular:** Construção dividida em partes independentes que facilitam manutenção.
- **Observação Direta e Registro Fotográfico:** Método de acompanhar e documentar o protótipo por meio de análise visual e fotos.

ANEXO – ELEMENTO PÓS-TEXTUAL –

ANEXO A – Manual Técnico KUKA KR3

ANEXO B – Apostila do Curso de Robótica EXSTO

ANEXO C – Molde 3D do Braço Robótico (Cults3D) (Ilustração)

ANEXO D – Modelo 3D KUKA KR 4 AGILUS (Ilustração)

ANEXO E – Arduino Uno (Ilustração)

ANEXO F – Servo Motor Tower Pro SG90 (Ilustração)

ANEXO G – Servo Motor MG996R (Ilustração)

ANEXO H – Junta Rotacional (Ilustração)

APÊNDICE – ELEMENTO PÓS-TEXTUAL -

APÊNDICE A – Erro nas engrenagens da garra

APÊNDICE B – Garra modificada com redimensionamento

APÊNDICE C – Impressora 3D usada

APÊNDICE D – Produtos da selagem química.

APÊNDICE E – Visão de cima do Braço Robótico

APÊNDICE F – Esquema eletrônico do Arduino e servomotores

APÊNDICE G – Interface do programa em Java.

APÊNDICE H – Braço Robótico.

APÊNDICE I – Parte do programa em Java.

APÊNDICE J – Tabela de componentes

APÊNDICE K – Tabela de preço