



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DO AMAZONAS
CAMPUS MANAUS-DISTRITO INDUSTRIAL
ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO



BRUNO SILVA DA COSTA

**UM SISTEMA ROBÓTICO PARA PROMOVER O PENSAMENTO
COMPUTACIONAL**

MANAUS

2021

BRUNO SILVA DA COSTA

**UM SISTEMA ROBÓTICO PARA PROMOVER O PENSAMENTO
COMPUTACIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Campus Manaus Distrito Industrial – IFAM/CMDI.

Orientador: Prof. Dr. Vitor Bremgartner da Frota

MANAUS

2021

BRUNO SILVA DA COSTA

**UM SISTEMA ROBÓTICO DE ENSINO PARA ALUNOS DO ENSINO
MÉDIO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Engenharia de Controle e Automação do Campus Manaus Distrito Industrial, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (CMDI/IFAM), como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Aprovado em ____ de _____ de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. VITOR BREMGARTNER DA FROTA

Orientador

Prof^a Dra. Jeanne Moreira de Sousa

Professora avaliadora

Prof^a MSc. Priscila Silva Fernandes

Professora avaliadora

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente e principalmente a Deus, a quem merece toda a honra e toda glória, por ser essencial em minha vida, meu guia e autor do destino.

Aos meus pais, Monica Silva da Costa e Bertoldo Bezerra da Costa por terem me dado sustentabilidade financeira, emocional e vital ao longo destes 5 anos, nada disso seria possível sem vocês, obrigado por serem meu combustível de vida.

A minha namorada Nora Neyse Torres da Cunha pela dedicação, apoio, colaboração, cumplicidade e por sua capacidade de me trazer paz na correria de cada semestre.

Aos meus amigos Weidson Feitoza, Francisco Ferreira Neto, Luiz Felipe Marinho e Reysane Santos, por toda a sua cumplicidade e orientação ao longe deste trabalho.

Aos amigos, por confiarem em minha capacidade, e em todo o suporte que me proporcionaram ao longo desta jornada.

Agradeço ao professor Dr. Vitor Bremgartner pela oportunidade de me orientar na conclusão deste trabalho, ao corpo docente e a todos os servidores do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM, pela convivência e aprendizagem durante o período do curso.

Aos meus colegas de turma pelas experiências acadêmicas compartilhadas.

“Trabalho duro é inútil para aqueles que não acreditam em si mesmos”.

Uzumaki, Naruto.

RESUMO

DA COSTA, Bruno Silva. **Um Sistema Robótico para promover o pensamento computacional** 2021. 51. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em [Engenharia de Controle e Automação]) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – Campus Manaus Distrito Industrial. Manaus – AM.

A robótica é uma ciência de estudo que engloba vários tipos de processos para que se gere a capacidade de um robô executar um conjunto de instruções. O ensino dessa prática tem se tornado bastante comum nas escolas, pois influencia e trabalha o pensamento do estudante as novas tendências e a forma de pensar de maneira lógica. Atualmente um robô tem condições de realizar diversas atividades, desde separar itens, limpar sua casa e até comunicar-se. Nesse contexto as escolas vem procurando se adaptar para estimular os estudantes com disciplinas de raciocínio lógico, pois isso exige concentração e estratégia para se traçar uma sequência lógica para se concretizar uma tarefa. Diante deste cenário foi desenvolvido um protótipo de um sistema robótico, composto por um robô manipulador open-source do tipo braço robótico, que visa possibilitar crianças, jovens e adolescentes a estimular a detecção e aprendizagem de cores, pensamento computacional e lógica de programação. Os resultados obtidos com o desenvolvimento do sistema robótico didático foram satisfatórios, uma vez que foi comprovada a colaboração na aprendizagem dos estudantes utilizando o sistema robótico.

Palavras-chave: Robôs *open-source*. Arduino. Robótica Educacional. Sistema robótico didático.

ABSTRACT

DA COSTA, Reysane Santos. **Construction of a Robotic Teaching System for promote computational thinking**. 2021. 51. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado ou Tecnologia em [nome do curso]) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – Campus Manaus Distrito Industrial. Manaus – AM.

Robotics is a study science that encompasses several types of processes to provoke the ability of a robot to execute a set of instructions. The teaching of this practice has become quite common in schools, as it influences and works the student's thinking on new trends and influences the same to think logically. Today a robot is able to carry out various activities, from separating items, cleaning your home and even communicating. In this context, schools have tried to adapt to stimulate students with disciplines of logical reasoning, as this requires concentration and strategy to draw a logical sequence to accomplish a task. In view of this scenario, a prototype of a robotic system was developed, composed of an open-source manipulator robot of the robotic arm type, as well as enabling children, young people and adolescents to stimulate the detection and learning of colors, computational thinking and programming logic. The results obtained with the development of the didactic robotic system were satisfactory, since collaboration in the learning of students using the robotic system was proven.

Keywords: Open-source robots. Arduino. Educational Robotics. Robotic didactic system.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Primeiro robô industrial, em operação na fábrica <i>General Motors</i> .	15
Figura 2. Estrutura do Manipulador	16
Figura 3. Manipulador robótico com 4 graus de liberdade	16
Figura 4. Plataforma Arduino UNO.	20
Figura 5. ATMEGA 328P.	20
Figura 6. Esquema de pinagem do chip ATmega328P.	20
Figura 7. Módulo Sensor de Cor TCS230.	21
Figura 8. Pinagem do chip TCS230.	22
Figura 9. Fluxograma de funcionamento do sensor TCS230.	23
Figura 10. Módulo Sensor reflexivo TCRT5000.	23
Figura 11. Pinos de ligação do Módulo Sensor Reflexivo TCRT5000.	24
Figura 12. Servomotor TowerPro MG995.	25
Figura 13. Componentes internos do Servomotor.	25
Figura 14. Modulação da Largura de Pulso para controle de posição do Servomotor.	26
Figura 15. Indicação dos pinos de ligação do Servomotor	27
Figura 16. Micro servo 9g SG90.	28
Figura 17. Motor de passo 28BYJ-48 e Driver ULN2003.	29
Figura 18. Driver ULN2 003.	30
Figura 19. <i>Arduino Sensor Shield v5.0</i> .	30
Figura 20. Concepção do Sistema robótico no <i>software OnShape</i> .	31
Figura 21. Impressora GTMax3d.	33
Figura 22. Braço robótico fabricado na Impressora 3D.	35
Figura 23. Dispositivos eletrônicos utilizados no sistema robótico.	37
Figura 24. Circuito de controle do sistema robótico.	38
Figura 25. Fluxograma de funcionamento do sistema.	39
Figura 26. Braço robótico (Autoria Própria)	44
Figura 27. Montagem Final (Autoria própria)	45
Figura 28. Gráfico com relação ao gênero	46
Figura 29. Gráfico com relação a idade	46
Figura 30. Dificuldade x Aprendizagem x Satisfação	47
Figura 31. Introdução ao pensamento computacional (Autoria Própria)	42
Figura 32. Raciocínio lógico (Autoria Própria)	43
Figura 33. Trabalhando com garras	445
Figura 34. Braço robótico	446
Figura 35. Montagem Final	447
Figura 36. Custo de montagem	448
Figura 37. <i>Pincher X</i>	449
Figura 38. <i>uArm swift Pro</i>	449
Figura 39. <i>LittleArm Big</i>	449

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Especificações técnicas da plataforma Arduino Uno.	21
Tabela 2. Descrição dos pinos do sensor TCS230.	22
Tabela 3. Descrição dos pinos do módulo sensor reflexivo TCRT5000.	24
Tabela 4. Especificações técnicas do Sensor reflexivo TCRT5000.	24
Tabela 5. Especificações técnicas do Servomotor MG995	27
Tabela 6. Especificações técnicas do Micro Servo 9g SG90.	28
Tabela 7. Especificações técnicas do Motor de Passo 28BYJ-48	29
Tabela 8. Denominação das partes que compõem o sistema robótico.	31
Tabela 9. Especificações técnicas dos robôs <i>open-source</i> em análise.	32
Tabela 10. Lista de peças que compõem o Braço Robótico do sistema.	33

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

LISTA DE SIGLAS

PCI: Placas de Circuito impresso

PWM: *Pulse Width Modulation* (Modulação da Largura de Pulso)

VCC: Voltagem em Corrente Contínua

STEM: Science, Technology, Engineering e Mathematics.

LISTA DE ACRÔNIMOS

ABB: *Asea Brown Boveri*

CAD: *Computer Aided Design* (Desenho Assistido por Computador)

UNCTAD: *United Nations Conference on Trade and Development* (Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVOS.....	12
1.1.1	<i>Objetivo Geral</i>	12
1.1.2	<i>Objetivos Específicos</i>	12
1.2	JUSTIFICATIVA.....	12
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1	EDUCAÇÃO 4.0.....	13
2.2	SISTEMAS ROBÓTICOS NA EDUCAÇÃO.....	13
2.3	BREVE HISTÓRICO DA ROBÓTICA	14
2.4	ROBÔS MANIPULADORES.....	15
2.5	ESTRUTURA	16
2.6	ROBÔS DIDÁTICOS	17
2.7	FERRAMENTAS UTILIZADAS	18
2.7.2	<i>Softwares</i>	18
2.7.2.1	<i>OnShape</i>	18
2.7.2.2	<i>Fritzing</i>	19
2.7.2.3	<i>Arduino (IDE)</i>	19
2.7.3	<i>Hardware</i>	19
2.7.3.1	<i>Arduino Uno</i>	20
2.7.3.2	<i>Módulo Sensor de cor RGB TCS230</i>	21
2.7.3.3	<i>Módulo Sensor reflexivo TCRT5000</i>	23
2.7.3.4	<i>Servomotor MG995</i>	24
2.7.3.5	<i>Micro Servo 9g SG90</i>	27
2.7.3.6	<i>Motor de Passo 28BYJ-48</i>	28
2.7.3.7	<i>Arduino Sensor Shield</i>	30
3.	METODOLOGIA	30
3.1	VISÃO GERAL DO PROJETO	30
3.2	PROJETO MECÂNICO	31
3.2.1	<i>Definição da arquitetura do robô manipulador</i>	32
3.2.2	<i>Fabricação e montagem do braço robótico</i>	33
3.3	PROJETO ELETRÔNICO	36
3.4	PROGRAMAÇÃO	38
4.	RESULTADOS	40
4.1	APLICAÇÃO EM SALA DE AULA	41
5.	CONCLUSÃO	50
5.2.1	<i>Trabalhos Futuros</i>	50
6.	REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

A tecnologia encontra-se presente fortemente na maioria das profissões, de maneira direta e indireta, a necessidade de pessoas qualificadas tanto para operar quanto para otimizar essas novas ferramentas é cada vez maior. Segundo Susilo et al. (2016) a grande demanda por profissionais nas áreas de ciência, tecnologia, engenharia e matemática (STEM) e a pouca procura por cursos nestas áreas tem levado países a incentivar, de forma prioritária, o número de graduandos nesses campos de atuação. Outro ponto que chama a atenção é a quantidade de mulheres que procuram estes cursos, dados da *National Bureau of Economics Research* mostram que menos de 38% das mulheres concluem cursos, o que se deseja buscar é se desde a educação infantil o interesse pelas ciências exatas já é presente nas preferências dos estudantes ou se estas características aparecem ao longo da formação. Para esta formação, um dos recursos de aprendizagem tem sido o uso do conceito de pensamento computacional.

O pensamento computacional como foi definido por Wing (2006), mostra a importância e as vantagens que o raciocínio computacional pode trazer como uma habilidade fundamental para profissionais de tecnologia. Wing (2006) define o pensamento computacional em uma forma de utilizar a abstração e decomposição para a solução de grandes problemas. Isto é muito mais do que pensar como um computador, é utilizar múltiplos níveis de abstração para encarar os mais diversos tipos de problema. Seguindo o estudo de Wing sobre essa importância, criou-se uma grande necessidade de agregar conhecimentos sobre lógica de programação, pensamento computacional e conceitos que foquem em resolução de problemas, e quais ferramentas para incentivar e comprovar habilidades necessárias.

A plataforma educacional de aprendizagem proposta pela presente pesquisa integra hardware e software, onde foi criado um ambiente de interesse para crianças, jovens e adolescentes onde conhecimentos como pensamento computacional, lógica de programação, manipulação robótica e aprendizagem de cores possam ser ensinados de maneira atrativa. A robótica educacional (ER) abordada por Chaudhary et al. (2016), Chevalier, Riedo e Mondada (2016) e Chin, Hong e Chen (2014) proporciona o ambiente ideal para aprendizagem interdisciplinar despertando o interesse dos alunos. Porém, mesmo com o crescente surgimento de diversos robôs com intuito educacional eles ainda são extremamente caros, e visando reduzir custos, ainda mais na época da pandemia mundial atual, foi pensado de que outras formas os estudantes possam aprender de maneira mais interativa. Chandra et al. (2016) apresenta resultados positivos com a presença de um robô educacional para o ensino de um segundo idioma, sendo que a presença do robô encorajou alguns alunos ao aprendizado do inglês e ainda a formação de relação humano-robô.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho busca despertar o interesse do estudante de Ensino Médio para a área tecnológica, através de um sistema robótico.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Disponibilizar um kit robótico didático em Instituições de ensino;
- Permitir o desenvolvimento de sistemas robóticos educacionais por meio de tecnologias de baixo custo;
- Sanar as dificuldades básicas de compreensão sobre o entendimento dos sistemas robóticos;

1.2 JUSTIFICATIVA

Segundo Albuquerque (2018), um fator que limita o aprendizado de ensino nas salas de aulas é a ausência de demonstrar na prática muitos conceitos teóricos abordados. De fato, o ensino estudantil dispõe de uma infinidade de conteúdos didáticos eficientes, porém há uma carência de como estes assuntos são abordados na aplicação diante das tecnologias disponíveis atualmente.

Na grade curricular atual, o pensamento computacional, raciocínio lógico e trabalho em equipe vem sendo inseridos de maneira gradual na vida dos estudantes, pois as mesmas, são ferramentas de suma importância tanto na vida profissional quanto pessoal. Dentre essas aquisições, o fator principal é a execução dessas técnicas em conjunto. Com isso, o mercado possui uma vasta gama de produtos, porém o alto custo impossibilita o uso e o alcance de alguns equipamentos.

Portanto, incentivar a criação, o desenho, o desenvolvimento, a programação e a utilização de um robô, que está intimamente interligada com a solução de problemas do "mundo real", atribui a cada um deles um embasamento sólido para o desenvolvimento de seus próprios projetos. Vale ressaltar ainda que o sistema robótico oferecido neste trabalho pode ser usado como ferramenta de estudo em diversas disciplinas no curso de Engenharia.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste trabalho a fundamentação teórica expõe uma breve apresentação da robótica na educação e de como a tecnologia pode ajudar no ensino presencial e remoto para os os alunos em geral, podendo ser ampliado para outras Instituições educacionais. Além de abordar de forma sucinta a Educação 4.0 como uma abordagem de ensinar na era digital.

2.1 EDUCAÇÃO 4.0

Com o avanço da tecnologia na última década, a velocidade com que as informações passaram a circular, tornaram-se mais intensas. Segundo Schwab (2016), o crescimento e sofisticação dos hardwares e softwares propiciaram transformações sociais e econômicas exponencialmente marcantes, surgindo a Revolução 4.0, a qual o uso intensivo de tecnologias digitais atende a uma demanda e otimização de informações em tempo real.

Com isso, torna-se um desafio para alunos, professores e gestores adaptar-se com a era inovadora em meio a uma educação descontextualizada. De acordo com Dias (2019) o novo modelo de educação deve levar em consideração tudo o que envolve essa nova indústria, como: a conectividade dos sistemas e facilidade de acesso ao conhecimento; a inteligência artificial, automação e sistemas robotizados; a velocidade da inovação; o estudo remoto com base nas tecnologias e etc.

Na educação 4.0 os alunos são formados a partir de uma cultura “faça você mesmo”, ou seja, mão na massa. Eles são convidados a experimentarem situações reais de resolução de problemas e aprendem que as soluções dos desafios normalmente passam não apenas por uma área de conhecimento, mas por uma mistura de saberes.

Esperamos que o aluno passe por um processo de criação e pensamento crítico para buscar novas soluções para problemas complexos. Por isso, as escolas precisam implementar o quanto antes a Educação 4.0. (Helena, 2019). Dessa forma, com a implementação e uso do robô para ensinamentos práticos aos estudantes do IFAM, traz um novo olhar sobre os processos de ensino.

2.2 SISTEMAS ROBÓTICOS NA EDUCAÇÃO

A tecnologia e a educação são fatores que tem percorrido lado a lado no cenário atual, mas ambas de forma independente. Na educação, a robótica chegou para constituir um novo intermediador no processo ensino-aprendizagem. Segundo Ortolan (2003) não é de hoje que se

vem discutindo sobre a relação entre as novas tecnologias e a educação, em especial na busca de um novo “modelo” para o aprendizado nas salas de aula.

Devido as constantes novidades tecnológicas, a área da robótica se apresenta como uma ferramenta significativa para despertar o interesse e motivação para o estudo e análise de mecanismos, além de estimular a criatividade entre alunos e professores nos diferentes segmentos da construção do conhecimento didático.

Estudos e pesquisas evidenciam que a robótica tem impacto potencial no aprendizado dos alunos em diferentes áreas do conhecimento (física, matemática, engenharia, computação e muito mais) e em relação ao desenvolvimento pessoal, além de habilidades sociais, como: habilidades de pesquisa, pensamento criativo, tomada de decisão, resolução de problema, comunicação e trabalho colaborativo (EGUCHI, 2010; BENITTI, 2012).

Sistemas robóticos na educação possui aspectos positivos, visto que, seu objetivo não é focado exclusivamente no ensino da robótica, mas introduzir robôs como um elemento impulsionador, que possibilita o aumento de interesse, reflexão e curiosidade em outros estudos, englobando áreas que vão muito além da robótica em si.

De acordo com BENITTI (2012) estudos e pesquisas em todo o mundo apontam para o crescimento do mercado de robôs, incluindo aqueles usados para o entretenimento e educação, e esta tendência deve continuar nas próximas décadas. Dessa forma, observa-se o interesse pela robótica como um importante recurso para o desenvolvimento intelectual e social em alunos da Educação infantil, Ensino médio e Faculdade.

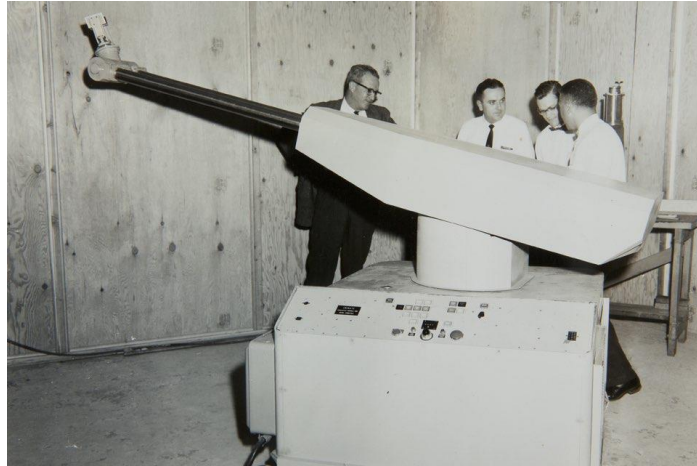
2.3 BREVE HISTÓRICO DA ROBÓTICA

O termo robótica refere-se ao estudo e à utilização de robots. O termo surgiu pela primeira vez pelo cientista americano e escritor, Isaac Asimov, que nasceu a 2 de janeiro de 1920 e faleceu a 6 de abril de 1992. No começo da idealização de robôs, não existia tecnologia avançada o suficiente para criar circuitos eletrônicos, então inicialmente, esses seres tecnológicos eram movimentados por sistemas de peso e pneumáticas, com o intuito de entretenimento. Com o passar do tempo, mas precisamente no decorrer do século XX, os avanços tecnológicos, possibilitaram a utilização de robôs para desempenhar atividades repetitivas em fábricas, no lugar de humanos, o que ocasionou grandes mudanças nas indústrias e conseqüentemente olhos mais atentos para esse tipo de maquinas, que haviam evoluído e já poderiam oferecer mais que entretenimento.

No ano de 1954, George Devol criou esse robô auxiliador, chamado *Unimate*, que começou a entrar em operação na linha de produção da General Motors em 1961. Sua principal

função dentro da fábrica era pegar pedaços quentes de metal e colar as peças nos chassis dos carros. Ele pesava 1800Kg e obedecia a comandos gravados em fitas magnéticas. A figura 1 ilustra o mesmo.

Figura 1. Primeiro robô industrial, em operação na fábrica *General Motors*.

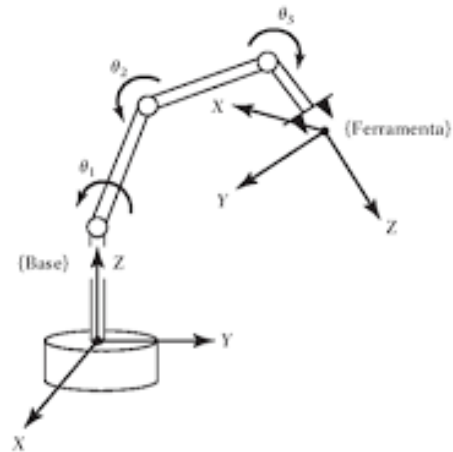


Fonte: Eletrogate (2021)

Jazar (2010) afirma que nos anos 80, a indústria de robôs cresceu rapidamente principalmente por causa do enorme investimento da indústria automobilística. Avanços no design de robôs simplificaram a automação de processos de manufatura complexos, enquanto desvendavam outras aplicações além do setor automobilístico.

2.4 ROBÔS MANIPULADORES

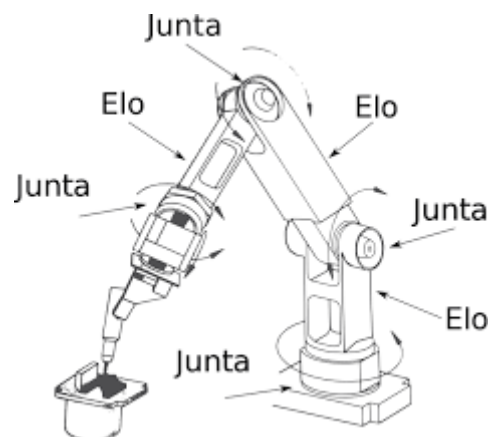
Manipulador robótico, ou robô manipulador, pode ser definido como um mecanismo que posiciona e orienta no espaço o seu órgão terminal a fim de executar uma tarefa (CARRARA, 2004). Segundo o Robotics Institute of America (RIA - Instituto de Robótica da América) “Um robô industrial é um manipulador reprogramável e multifuncional, projetado para mover materiais, peças, ferramentas ou dispositivos específicos em movimentos variáveis, programados para a realização de uma variedade de tarefas” (RIA, 2008). A estrutura de um manipulador robótico consiste em uma série de corpos rígidos que se denominam elos. Cada elo é unido por uma junta que lhe permite um movimento gerado por um sistema de acionamento controlado por um sistema de controle. A Figura 2 mostra esquematicamente uma sequência de elos e juntas de um manipulador robótico. O primeiro elo está conectado em uma superfície fixa, denominada base, e no último elo fica acoplado o órgão terminal (garra ou ferramenta).

Figura 2. Estrutura do Manipulador

Fonte. Imagem adaptada de PAZOS, Fernando – Automação de Sistemas & Robótica ESTRUTURA

2.5 ESTRUTURA

Refere-se ao aspecto mecânico do robô e ao conjunto de elementos rígidos (elos), interligados através de juntas, as quais são movimentadas pelo acionamento dos atuadores de modo a posicionar a extremidade onde está vinculado o órgão terminal (CARRARA, 2004). A Figura 3 apresenta um manipulador robótico industrial com 3 graus de liberdade utilizado para a locomoção de objetos de uma posição para outra.

Figura 3. Manipulador robótico com 4 graus de liberdade

Fonte. Imagem adaptada de PAZOS, Fernando – Automação de Sistemas & Robótica ESTRUTURA

2.6 ROBÔS DIDÁTICOS

Os robôs didáticos surgiram para uso doméstico, estudantil e profissional, com a visão de ampliar a compreensão sobre a robotização. Logo, entende-se que dispor de um robô didático em um ambiente independente, é necessário dedicar tempo para o estudo, analisar projetos, realizar cálculos, entender a definição de software etc. Essas características compreendem o desenvolver do pensamento crítico e social dos indivíduos.

De acordo com Filho (2012) os robôs didáticos podem ser classificados em dois grupos, que é a Configuração rígida e a Configuração flexível:

A configuração rígida é caracterizada por robôs que vêm montados, impossibilitando assim o aluno mudar sua forma. Já a configuração flexível temos os seguintes grupos: propósito geral e propósito específico. No grupo propósito específico o robô vem desmontado e o aluno pode montá-lo como quiser. Já no grupo de propósito geral o kit também vem com peças desmontadas, porém o aluno pode montar um robô ou outro dispositivo. (Filho, 2012).

A configuração flexível abordada anteriormente é a configuração tratada no estudo desse projeto, visto que, o robô didático apresentado para a Instituição do IFAM é adaptado para mudança de posições, e principalmente, é integrado para possibilitar o estudo entre os discentes e docentes, envolvendo conceitos básicos de engenharia, matemática e física. Vantagens que cercam o estudo com robôs didáticos, é que em sua maioria são acessíveis, de baixo custo em relação a preço e manutenção e fácil de manusear.

2.6.1 ROBÔS OPEN SOURCE

Os robôs open source que traduzido para o inglês significa “código aberto”, é um termo que se refere aos softwares cujo licenciamento para acesso as informações estão disponíveis para download por qualquer pessoa. Logo, é possível consultar, modificar, examinar sem pagar qualquer valor, pois é livre e custo zero.

Uma das vantagens de utilizar esse tipo de código aberto é a disponibilidade acessível para as instituições e organizações em caráter colaborativo. Segundo Dey e Mukherjee (2016) atualmente, a robótica atingiu um novo patamar de acessibilidade, o que foi proporcionado principalmente pelos projetos de software e hardware open-source, também chamado de código aberto.

Dessa forma, pra quem está desenvolvendo um projeto do zero, pode se beneficiar em caráter colaborativo dos códigos disponíveis em sites pelos próprios usuários. De acordo com

Gomes (2020) para se ter um código open source tem que seguir três princípios básicos, que são estes:

- O código aberto deve possuir distribuição e redistribuição livre. Isso significa que o desenvolvedor não deve cobrar royalties pelo código, ou seja, não deve receber nenhuma quantia paga por alguém que queira ter o direito de uso e exploração do código.
- O software de código aberto deve integrar o código-fonte, além de permitir a distribuição na forma de código-fonte e compilada.
- Por fim, para um software ser considerado de código aberto ele não pode discriminar qualquer tipo de pessoa ou especialidades de empreendimentos característicos, sendo assim, o software deve poder ser utilizado por todos que desejem usufruir de seus benefícios.
-

2.7 FERRAMENTAS UTILIZADAS

Nesta seção são apresentados itens de *softwares e hardware* utilizados no desenvolvimento do sistema robótico composto pelo robô manipulador, sensores de controle e esteira transportadora.

2.7.2 Softwares

Os softwares utilizados na elaboração do projeto mecânico e elétrico do sistema são: *OnShape, Proteus, Fritzing* e *Arduino Software (IDE)*. Todos serão descritos detalhadamente a seguir.

2.7.2.1 OnShape

O *Onshape* é uma ferramenta de Desenho Assistido por Computador (do inglês, *Computer Aided Design - CAD*) utilizado no desenvolvimento do projeto mecânico do sistema robótico proposto neste trabalho. É baseado na tecnologia de computação em nuvem, ou seja, diferindo do modelo tradicional de CAD instalado em desktop, os usuários podem interagir com o sistema por meio de um navegador da Web no endereço eletrônico: <https://www.onshape.com/>, ou através dos sistemas iOS e Android.

Sua popularidade pode ser justificada pelo fato de possuir um comando que permite compartilhar arquivos com outros membros de uma equipe de projeto, possibilitando que o mesmo documento CAD seja editado e modificado concomitantemente pelos usuários, com atualização dos dados em tempo real.

Com o espaço de trabalho em nuvem seguro da *Onshape*, as equipes podem trabalhar juntas de qualquer lugar em qualquer dispositivo sem os aborrecimentos de gerenciamento de arquivos, sobrecarga de TI e distribuição de chaves de licença, ajudando os engenheiros a se concentrarem mais em fazer seu melhor trabalho.

2.7.2.2 Fritzing

O Fritzing é um software livre/open source para ajudar você a modelar circuitos usando arduino, raspberry pi, ou mesmo somente a matriz de contatos e alguns componentes eletrônicos. Além de te permitir fazer bem mais rápido do que se desenhasse no papel e de te dar uma impressão visual bem mais usual, com ele podemos “montar” o protótipo de forma fácil e agradável em uma protoboard virtual e depois alterar o modo de visualização para o diagrama esquemático e até mesmo o layout da placa de circuito impresso (PCB – printed circuit board).

2.7.2.3 Arduino (IDE)

A IDE - *Integrated Development Environment* (Ambiente Integrado de Desenvolvimento) é um *software* criado pelos desenvolvedores das plataformas Arduino (Arduino Mega, Uno, Nano, entre outros) com o objetivo de facilitar a escrita de códigos de programação e envio desses dados para qualquer placa da marca. É uma aplicação de plataforma cruzada, escrito em C e C++. A linguagem de programação para elaboração dos algoritmos é C++, porém com algumas modificações. Quanto ao download do *software*, pode ser feito gratuitamente pelo site da empresa desenvolvedora, no endereço eletrônico: <https://www.arduino.cc/en/main/software>, sendo compatível com Windows, Mac OS X e Linux.

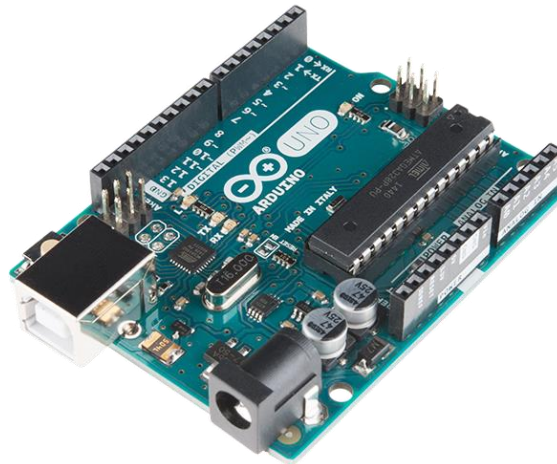
2.7.3 Hardware

Para construção do sistema robótico, foram utilizados: Arduino Uno, Módulo Sensor de Cor RGB, Módulo Sensor Reflexivo, Servomotor MG995, Micro Servo 9g, Motor de Passo e Arduino Sensor Shield. Todos serão descritos detalhadamente nesta seção, expondo suas funcionalidades, características e especificações técnicas.

2.7.3.1 Arduino Uno

O Arduino Uno é uma placa de microcontrolador baseado no ATmega328. Ele tem 14 pinos de entrada/saída digital (dos quais 6 podem ser usados como saídas PWM), 6 entradas analógicas, um cristal oscilador de 16MHz, uma conexão USB, uma entrada de alimentação uma conexão ICSP e um botão de reset. Ele contém todos os componentes necessários para suportar o microcontrolador, simplesmente conecte a um computador pela porta USB ou alimente com uma fonte ou com uma bateria e tudo pronto para começar. Modelo Original fabricado na Itália.

Figura 4. Plataforma Arduino UNO.



Fonte: <https://www.robocore.net/placa-arduino/arduino-uno-r3>

O chip ATmega328P, mostrado na Figura 5, é o microcontrolador utilizado pela plataforma Arduino Uno. Possui vinte e oito pinos no total, sendo catorze pinos de entrada/saída digitais (seis destes podem ser usados como saídas PWM), seis pinos para entradas analógicas e alguns outros pinos com funcionalidades como *Reset*, entrada de alimentação e aterramento, a Figura 5 e a Figura 6 evidenciam o mesmo e esboçam sua pinagem de maneira ilustrativa.

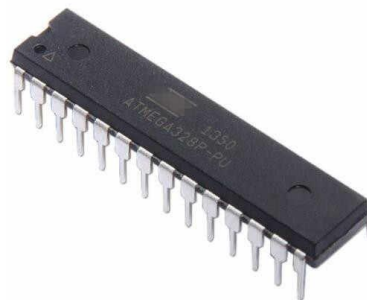
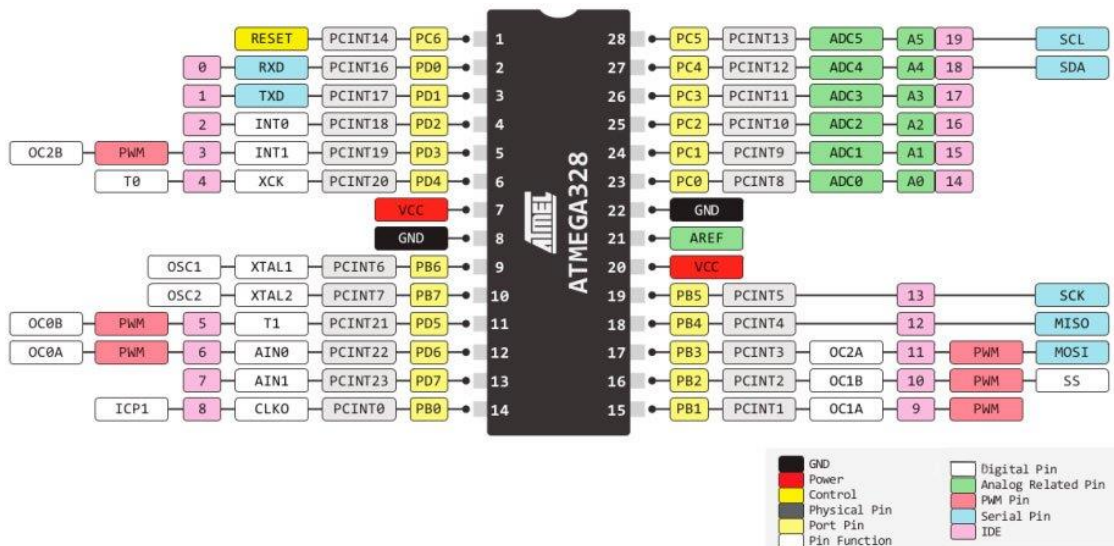


Figura 5. ATMEGA 328P.

Figura 6. Esquema de pinagem do chip ATmega328P.



Fonte: <http://blog.baudaeletronica.com.br/utilizando-o-modulo-conversor-ftdi-usb-serial-para-gravar-o-microcontrolador-atmega328p/pinagem-atmega328p/>

Algumas especificações técnicas da placa Arduino Uno são apresentadas na Tabela 1. Foram retiradas do endereço eletrônico oficial da empresa Arduino em: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>.

Tensão de operação	5V
Tensão de entrada	7-12V
Corrente nos pinos I/O	20mA
Quantidade de pinos digitais	14
Quantidade de pinos analógicos	6
Dimensões	68.6 – 53.4 mm
Peso	25g

Fonte: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>.

2.7.3.2 Módulo Sensor de cor RGB TCS230

Os módulos para Arduino são componentes utilizados como interface do sistema com o usuário final ou ambiente, permitindo integração com outros sistemas. O módulo apresentado nesta seção se trata de um desses componentes.

O módulo Sensor de cor TCS230, ilustrado na Figura 7, é um componente eletrônico que permite detectar cores de objetos, de acordo com a frequência emitida. O sensor TCS230 reconhece níveis de luz RGB, ou seja, vermelho, verde e azul, e envia esses dados para um microcontrolador. Os quatro Leds que compõem o módulo possuem a função de iluminar a superfície do objeto e, através da luminosidade emitida pela reflexão da luz, é possível identificar qualquer cor no espectro RGB.

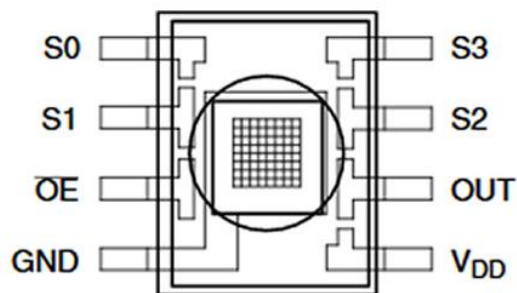
Figura 7. Módulo Sensor de Cor TCS230.



Fonte: <https://randomnerdtutorials.com/arduino-color-sensor-tcs230-tcs3200/>.

O chip TCS230, ilustrado na Figura 6, localiza-se no centro do módulo e possui uma matriz de fotodiodos com quatro filtros diferentes. Ou seja, para cada espectro de luz RGB, existem 16 fotodiodos com filtro sensível ao comprimento de onda da cor correspondente. Os fotodiodos são simplesmente semicondutores que convertem luz em corrente (LIMA, 2013). A pinagem do sensor TCS230 é mostrada na Figura 8, conforme datasheet. E na Tabela 2 são listadas as funções de cada pino.

Figura 8. Pinagem do chip TCS230.



Fonte: Autoria Própria (2021).

Tabela 2. Descrição dos pinos do sensor TCS230.

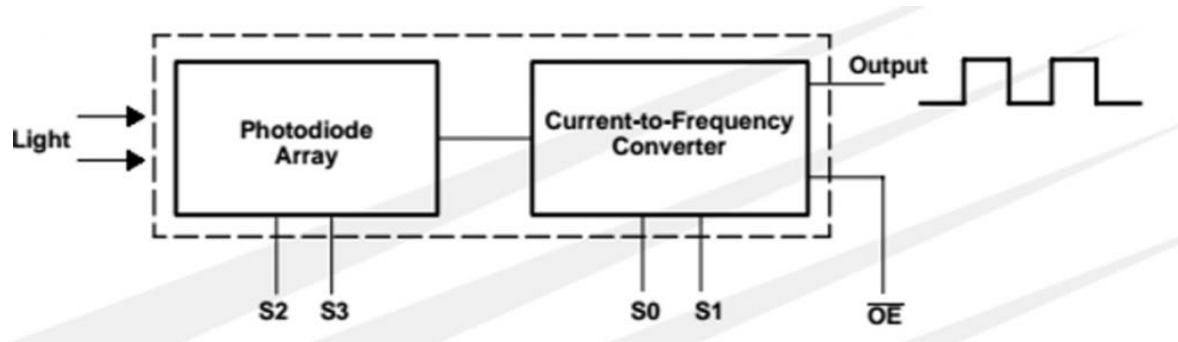
Identificação do pino	I/O	Descrição
GND		Aterramento da fonte de alimentação
OE	I	Ativar para frequência de saída (LOW)
OUT	O	Frequência de saída
S0, S1	I	Entradas de seleção de escala da frequência de saída
S2, S3	I	Entradas de seleção do tipo de fotodiodo
VDD		Fornecimento de tensão

Fonte: Autoria Própria (2021)

O fluxograma de funcionamento do sensor é mostrado na Figura 9. Os filtros do fotodiodos detectam a intensidade de luz das cores dos objetos sensorados. Um conversor de

corrente elétrica para frequência converte a leitura do fotodiodo em ondas quadradas cuja frequência é proporcional à intensidade da luz. Estes dados de frequência podem ser enviados para o Arduino ou outro microcontrolador, onde será feita a leitura das informações.

Figura 9. Fluxograma de funcionamento do sensor TCS230.

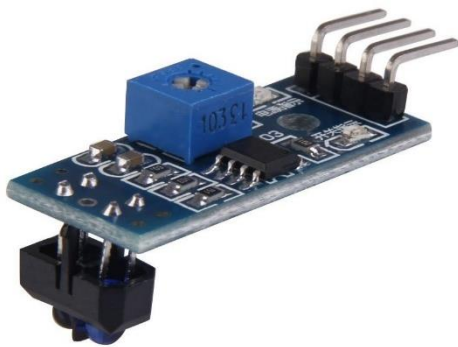


Fonte: <https://blog.eletrogate.com/sensor-de-cor-tcs230-com-arduino/>

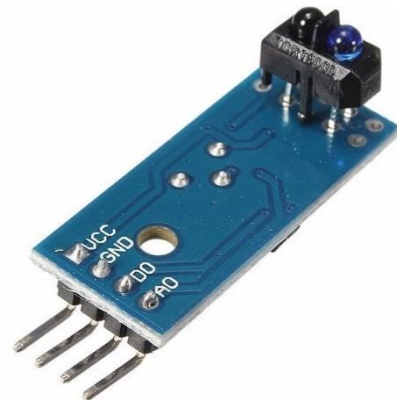
2.7.3.3 Módulo Sensor reflexivo TCRT5000

O Módulo Sensor Reflexivo é mais um dispositivo desenvolvido para facilitar a elaboração do hardware de projetos com Arduino. Possui sensor óptico de reflexão, que é composto por dois LEDs, um emissor e um receptor de infravermelho. Conta ainda com um potenciômetro para ajuste de sensibilidade do sensor. As Figuras 10.a e 10.b mostram as vistas superior e inferior do módulo.

Figura 10. Módulo Sensor reflexivo TCRT5000.



a. Vista superior do módulo reflexivo TCRT5000



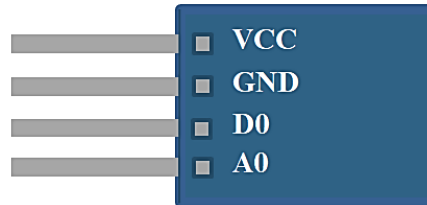
b. Vista inferior do módulo reflexivo TCRT5000

Fonte: <http://www.baudaeletronica.com.br/modulo-sensor-optico-tcrt5000.html>.

Uma característica que destaca este sensor é que o mesmo foi projetado para bloquear outras faixas de luz que não seja a do seu próprio emissor, evitando que iluminações do ambiente causem interferências na leitura.

Para ligação do módulo com o Arduino existem quatro pinos, conforme ilustra Figura 11. A Tabela 4 possui as descrições de cada pino.

Figura 11. Pinos de ligação do Módulo Sensor Reflexivo TCRT5000.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Tabela 3. Descrição dos pinos do módulo sensor reflexivo TCRT5000.

Identificação dos pinos	Descrição
VCC	Fornecimento de tensão
GND	Aterramento da fonte de alimentação
D0	Saída Digital
A0	Saída Analógica

Fonte: Autoria própria (2021).

Quanto às especificações técnicas do Módulo Sensor Reflexivo TCRT5000, conforme informações do *datasheet* (VISHAY, 2009), tem-se que:

Tabela 4. Especificações técnicas do Sensor reflexivo TCRT5000.

Tensão de operação	3,3 a 5V
Corrente de operação	0,5mA a 2,1mA
Comprimento de onda do sensor	950nm
Distância máxima de detecção	25mm
Dimensões do módulo	32x14mm
Dimensões do sensor	10,2x5,8x7mm

Fonte: (VISHAY, 2009)

2.7.3.4 Servomotor MG995

Servomotores são dispositivos eletrônicos amplamente utilizados em projetos de manipuladores robóticos. Segundo Alciatore e Histanand (2014):

Servomotores são muito importantes em aplicações de automação tais como a robótica, em eletrodomésticos e em válvulas de controle de fluxo, uma vez que esses mecanismos ou parte deles precisam se posicionar de maneira exata ou se mover com velocidades determinadas (ALCIATORE e HISTAND, 2014, p. 468).

O servomotor MG995, mostrado na Figura 12, foi desenvolvido pela *Tower Pro* com o intuito de criar um motor com dimensões pequenas que pode ser controlado por qualquer código, bibliotecas ou hardware, sendo excelente para iniciantes no desenvolvimento de projetos utilizando este dispositivo, conforme informações disponibilizadas no *datasheet*.

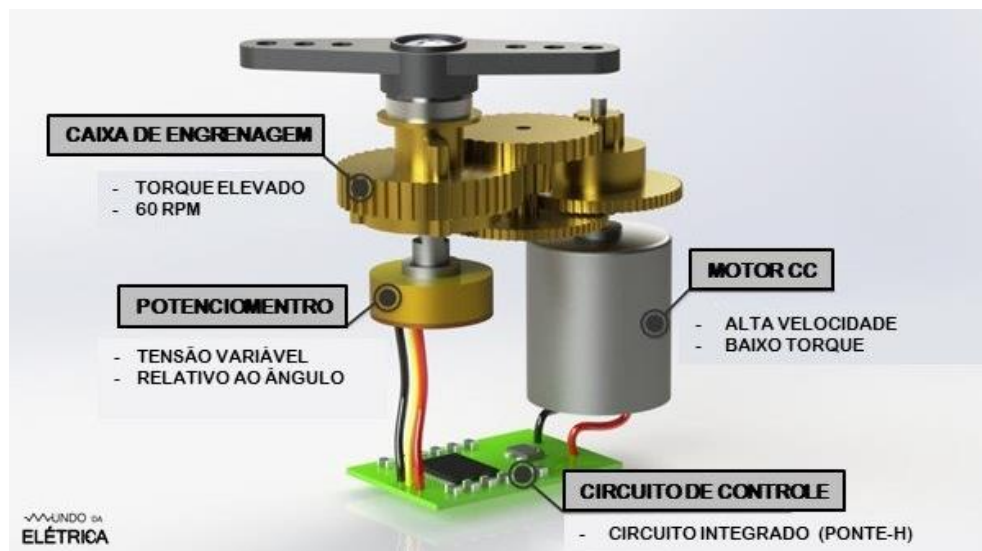
Figura 12. Servomotor TowerPro MG995.



Fonte: <https://www.filipeflop.com/produto/servo-towerpro-mg995-metalico/>.

Este servomotor é composto internamente por dispositivos que trabalham conjuntamente para permitir o funcionamento do motor, sendo eles: motor DC, engrenagens, potenciômetro e circuito de controle, conforme exposto na Figura 13.

Figura 13. Componentes internos do Servomotor.



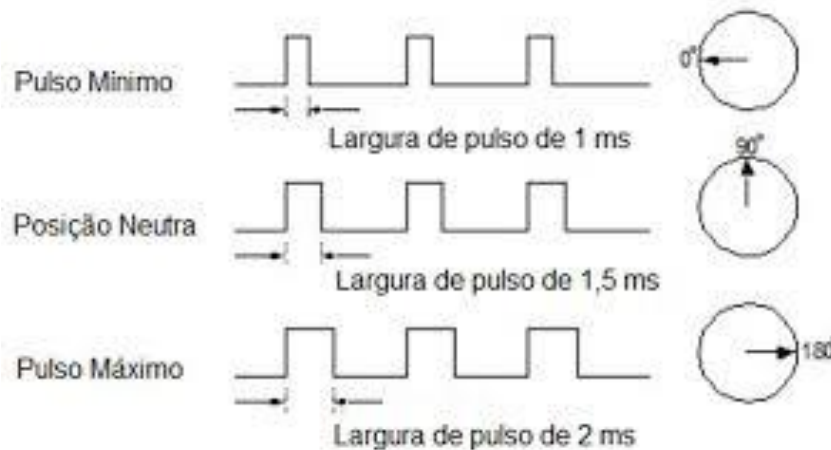
Fonte: <https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-servo-motor-e-como-funciona/>

O motor DC possui alta velocidade e baixo torque, necessitando do conjunto de engrenagens para reduzir sua velocidade e aumentar seu torque. O potenciômetro é fixado na engrenagem final que é conectada ao eixo de saída (haste do Servomotor). Portanto, quando o motor é atuado, o potenciômetro gira o que produz uma tensão que se relaciona ao ângulo do eixo de saída. Então, o circuito de controle compara a tensão gerada pelo potenciômetro à tensão proveniente do sinal enviado pelo microcontrolador, fazendo com que o motor gire até que os dois sinais alcancem uma diferença igual à zero.

Através de sinais PWM - *Pulse Width Modulation* (Modulação da Largura de Pulso), que se trata de uma técnica que permite descrever um sinal digital que foi gerado através da modulação da largura do pulso de uma onda quadrada. Pode-se comandar que o servo movimente seu eixo até determinado ângulo para controlar a posição da haste. A Figura 14 demonstra como é feito a modulação dos sinais para obter a angulação desejada da haste do servomotor. Existem três possibilidades, sendo elas:

- Pulsos com duração de 1ms correspondem a 0 graus de posição;
- Pulsos com duração de 1,5ms equivalem a 90 graus de posição;
- Pulsos com duração de 2ms equivalem a 180 graus de posição.

Figura 14. Modulação da Largura de Pulso para controle de posição do Servomotor.



Fonte: <https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/aula-4---servo-motor-13-03-2013-final.pdf>

Na Figura 14, observa-se que um pulso deve ocorrer a cada 20ms. Se, neste intervalo de tempo, for detectada uma alteração na largura do sinal, a posição do eixo é alterada para que a sua posição coincida com o sinal recebido. Por exemplo: O servomotor recebe um sinal de 1,5ms, este verifica se o potenciômetro interno se encontra na posição correspondente, se estiver, não ocorre nenhuma ação. Caso contrário, o circuito de controle aciona o motor até que o potenciômetro atinja a posição correta.

A pinagem desse dispositivo é mostrada na Figura 15. Possui três entradas, sendo elas: Sinal *PWM*, que recebe os sinais de controle provenientes do microcontrolador, *VCC* que fornece a tensão de alimentação para o motor e *GND* que é o aterramento.

Figura 15. Indicação dos pinos de ligação do Servomotor .



Fonte: <https://blog.zerokol.com/2013/09/competicao-virada-geek.html>

A **Tabela 5** lista as especificações técnicas do Servomotor MG995, de acordo com as informações disponibilizadas pela empresa que desenvolveu este servomotor, no endereço eletrônico: <http://www.towerpro.com.tw/product/mg995>.

Tabela 5. Especificações técnicas do Servomotor MG995

Tensão de operação	4,8V – 7,2V
Corrente de operação	500mA – 900mA
Velocidade de operação	0,2seg/60graus (com 4,8V sem carga)
	0,16seg/60graus (com 6,0V sem carga)
Torque	8,5kg.cm (com 4,8V) e 15kg.cm (com 6,0V)
Faixa de rotação	120° (60° em cada direção)
Peso	55g

Fonte: https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG995_Tower-Pro.pdf.

2.7.3.5 Micro Servo 9g SG90

Este Micro Servo, ilustrado na Figura 16, foi também criado pela *Tower Pro* e possui a característica de ser pequeno, leve e possuir alta potência de saída.

Figura 16. Micro servo 9g SG90.

Fonte: <https://www.robocore.net/loja/servos/micro-servo-9g-sg90-towerpro>.

A identificação dos pinos para ligação elétrica deste servomotor é equivalente ao do servomotor MG995 mostrado na Figura 16 do tópico anterior.

Na Tabela 6 são informadas algumas especificações técnicas do dispositivo.

Tabela 6. Especificações técnicas do Micro Servo 9g SG90.

Tensão de operação	4,8V – 6V
Velocidade de operação	0,1seg/60graus
Torque	1.5kg.cm (4.8V), 1.7kg.cm (6.0V)
Faixa de rotação	180° (90° em cada direção)
Peso	9g

Fonte: <https://www.filipeflop.com/produto/servo-towerpro-mg995-metalico/>

2.7.3.6 Motor de Passo 28BYJ-48

Motores de passo se caracteriza pelo controle preciso da posição do seu eixo. De acordo com a definição estabelecida na apostila “Fundamentos de Automação”, elaborada pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI (2015) tem-se que:

Motores de passo permitem que o eixo sofra deslocamentos precisos sem que seja necessária uma realimentação externa feita por algum dispositivo acoplado a ele. Isso caracteriza um sistema aberto. Essa característica de funcionamento em malha aberta é uma das mais importantes, pois permite a rotação e a parada em pontos predeterminados (SENAI, 2015, p.163).

Para comunicar o motor de passo com o Arduino são utilizados dispositivos eletrônicos específicos, denominados *Drivers*. Estes recebem os pulsos elétricos gerados pelo Arduino e realizam o chaveamento dos componentes de potência, presentes na sua placa, para fornecer a corrente necessária para movimentar o eixo do motor. A cada pulso elétrico enviado pelo *driver*, o motor desloca seu eixo em um determinado ângulo, cuja variação é definida de acordo com o número de passos por volta (PPV) que o motor possui.

O motor de passo, modelo 28BYJ-48, será o atuador utilizado na esteira transportadora para movimentação das peças a serem manipuladas. Este dispositivo é normalmente comercializado junto com o driver ULN2003 por um baixo custo de aquisição. A Figura 17 exibe o motor de passo e o driver citados. A Tabela 7 apresenta algumas especificações relevantes a respeito do motor.

Figura 17. Motor de passo 28BYJ-48 e Driver ULN2003.



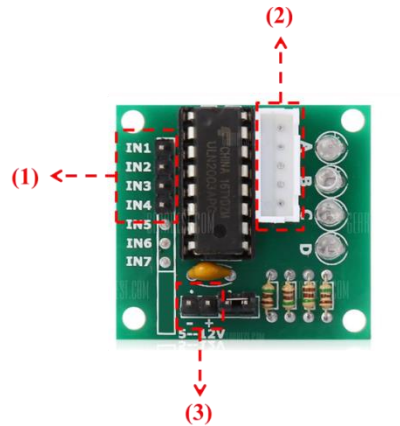
Fonte: <https://www.voltriz.com.br/produto/motor-de-passo-drive-uln2003/>

Tabela 7. Especificações técnicas do Motor de Passo 28BYJ-48

Driver de acionamento	ULN2003
Tensão de operação	5VDC
Ângulo do passo	5,625°/64passos
Frequência	100Hz
Torque	>34,3mN.m
Diâmetro do eixo	5mm
Peso	40g

Fonte: Autoria Própria (2019).

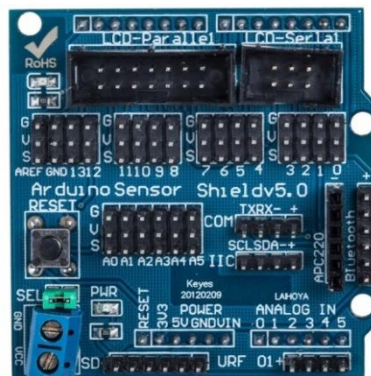
O Driver ULN2003, mostrado na Figura 17, possui a função de permitir que o motor de passo seja controlado pelo Arduino. É composto por: (1) quatro entradas *IN* que são conectadas aos pinos digitais do microcontrolador Arduino; (2) entrada para os fios provenientes do motor de passo e (3) entradas para alimentação e aterramento da placa, conforme apresenta a Figura 18.

Figura 18. Driver ULN2003

Fonte: https://pt.gearbest.com/sensors/pp_599743.html

2.7.3.7 Arduino Sensor Shield

O *Arduino Sensor Shield*, ao ser conectado à placa Arduino, comporta-se como um extensor de entradas e saídas, permitindo que outros dispositivos sejam conectados de forma simplificada. Possui borne para alimentação externa, pinos para controle de entradas digitais e analógicas, suporta interface I2C - *Inter-Integrated Circuit* (Circuito Inter-Integrado), módulos APC220 (para comunicação de dados *Wireless*), conexão para *bluetooth*, *Sd Card*, LCD Paralelo e LCD serial. A Figura 19 mostra este dispositivo na versão 5.0.

Figura 19. *Arduino Sensor Shield v5.0*.

Fonte: <https://www.robocore.net/loja/shields-para-arduino/arduino-shield-sensor-shield-v5>.

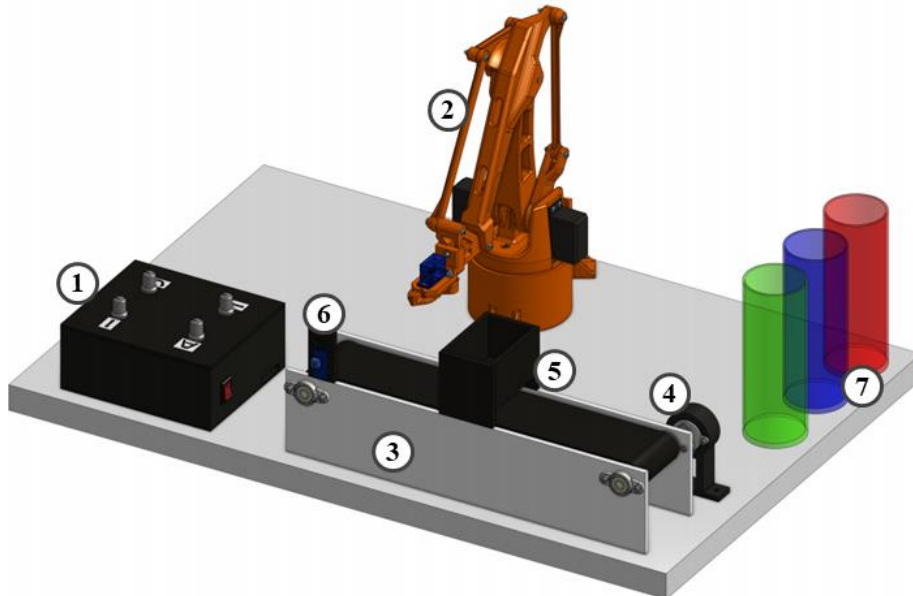
Este dispositivo será utilizado no desenvolvimento do projeto para intermediar a conexão dos sensores, motores e outros componentes com a plataforma Arduino Uno.

3. METODOLOGIA

3.1 VISÃO GERAL DO PROJETO

O modelo 3D do sistema robótico proposto neste trabalho, desenvolvido no *software* online *OnShape*, é apresentado na Figura 20, onde são identificadas todas as partes principais que compõem o sistema.

Figura 20. Concepção do Sistema robótico no *software OnShape*.



Fonte: Adaptado de SANTOS, Reysane (2021).

Na Tabela 8 são listadas e denominadas as partes identificadas na Figura 23.

Tabela 8. Denominação das partes que compõem o sistema robótico.

Número	Denominação
1	Painel de Controle
2	Braço Robótico
3	Esteira Transportadora
4	Suporte para o Motor de Passo
5	Suporte para o Módulo Sensor de Cor RGB e para o módulo Sensor Reflexivo
6	Suporte para o Módulo Sensor Reflexivo
7	Reservatórios para as peças transportadas

Fonte: Autoria Própria (2019).

A metodologia de desenvolvimento do projeto foi definida em três partes, seguindo esta ordem: Projeto Mecânico, Eletrônico e do *Firmware*. Nas seções seguintes são apresentadas todas as etapas envolvidas no desenvolvimento de cada parte do sistema.

3.2 PROJETO MECÂNICO

Primeiramente, foi definida a arquitetura do braço robótico do sistema, a partir de buscas na internet e literatura por robôs que se enquadrassem na categoria *open-source*. Feito isto, iniciou-se a fabricação na impressora 3D e, posteriormente, montagem das peças impressas.

3.2.1 Definição da arquitetura do robô manipulador

Para seleção do braço robótico do projeto, foi realizado um estudo de campo com pesquisas na internet por robôs que se enquadrassem na categoria *open-source*. Observou-se que existe uma variedade ampla de equipamentos para esta finalidade, disponíveis para as mais diversas aplicações.

Considerando o levantamento das características que serão necessárias para um bom entendimento para os novos alunos do ensino médio do IFAM, aquele que melhor atende as necessidades do projeto é o *EEZYbotARM MK2*. Isto porque, em comparação com os robôs de mercado, é composto por quantidade menor de servomotores e, portanto, menor custo. Além disso, os desenvolvedores criaram um tutorial extremamente detalhado de montagem das peças do robô, o que facilita sua construção, diferente do robô *uArm*. Diante disto, o braço robótico *EEZYbotARM MK2* foi selecionado para compor o sistema robótico proposto neste trabalho. Este possui estrutura mecânica excelente para aplicações educacionais, 4 graus de liberdade e os arquivos CAD são disponibilizados, o que permite alterações no projeto inicial.

Tabela 9. Especificações técnicas dos robôs *open-source* em análise.

Características	Modelo
	<i>EEZYbotARM MK2</i>
Graus de liberdade	4
Alcance Máximo	330mm
Tipo de atuador	Servomotores MG995
Quantidade de atuadores	4
Controlador	Arduino
Arquivos CAD	<i>OnShape/STL</i>

Fonte: Autoria Própria (2019).

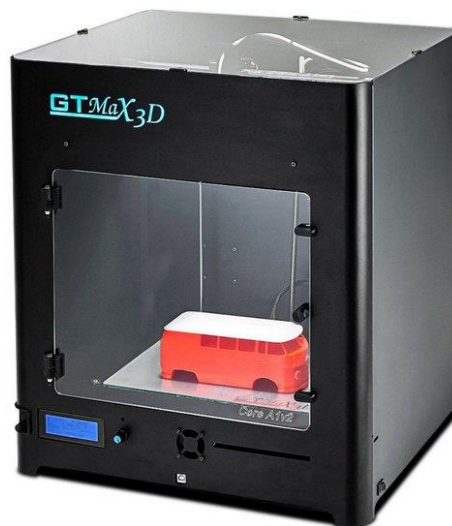
Considerando o levantamento das características e necessidades de aplicação, aquele que melhor atende as necessidades do projeto é o *EEZYbotARM MK2*. Isto porque é composto

por quantidade menor de servomotores e, portanto, menor custo. Além disso, os desenvolvedores criaram um tutorial detalhado de montagem das peças do robô, o que facilita sua construção. Este possui estrutura mecânica excelente para aplicações educacionais, 4 graus de liberdade e os arquivos CAD são disponibilizados, o que permite alterações que possam ser necessárias.

3.2.2 Fabricação e montagem do braço robótico

As peças foram fabricadas com auxílio da Impressora 3D *Cloner*, mostrada na Figura 21. Utilizou-se filamento com material PLA (poliácido láctico) como matéria-prima para fabricação das partes do braço robótico. Uma vez que foram aproveitados os filamentos disponíveis, as peças foram impressas em três cores diferentes, sendo elas cor vermelha, preta e verde.

Figura 21. Impressora GTMax3d.

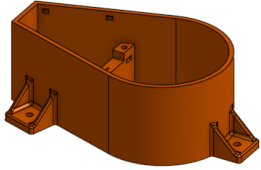
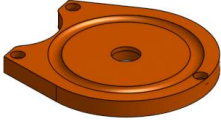
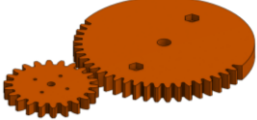
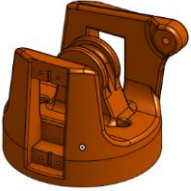
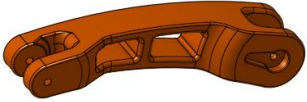

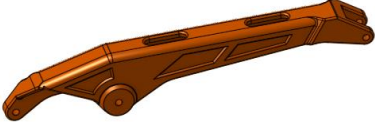


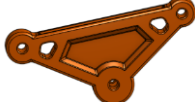

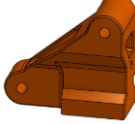


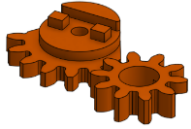

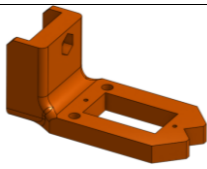
Fonte: <http://www.etechbrasil.com.br/produto/11/3dcloner-dh>

Os arquivos CAD do braço robótico *EEZYbotARM MK2* estão disponibilizados no endereço eletrônico: http://www.eezyrobots.it/eba_mk2.html#, criado pelos próprios desenvolvedores do robô, para facilitar a troca de informações.

O braço robótico foi projetado pelos desenvolvedores no software *OnShape*. Para impressão das peças que compõem o braço robótico na impressora 3D, é necessário que os arquivos sejam exportados para o formato STL – *Standard Triangle Language*. Com os arquivos no formato apropriado, iniciou-se o processo de fabricação do robô. A Tabela 12 apresenta todas as peças presentes no braço robótico, classificadas em: Base, Hastes e Garra.

Tabela 10. Lista de peças que compõem o Braço Robótico do sistema.

Parte		Ilustração
Base	Base Principal	
	Suporte para engrenagem	
	Par de engrenagens para Servomotor	
	Suporte para os elos	
Hastes	Elo 1	
	Elo 2	
	Elo 3	
	Suporte 1	
	Suporte 2	
	Suporte 3	
	Suporte 4	
Garra	Base da Garra	

Par de engrenagens para Micro servo	
Efetuator final	
Suporte da Garra	

Fonte: Autoria Própria (2021).

Com as peças impressas iniciou-se o processo de montagem. O tutorial de montagem do braço robótico é apresentado de maneira detalhada no endereço eletrônico http://www.eezyrobots.it/eba_mk2.html#.

Figura 22. Braço robótico fabricado na Impressora 3D.



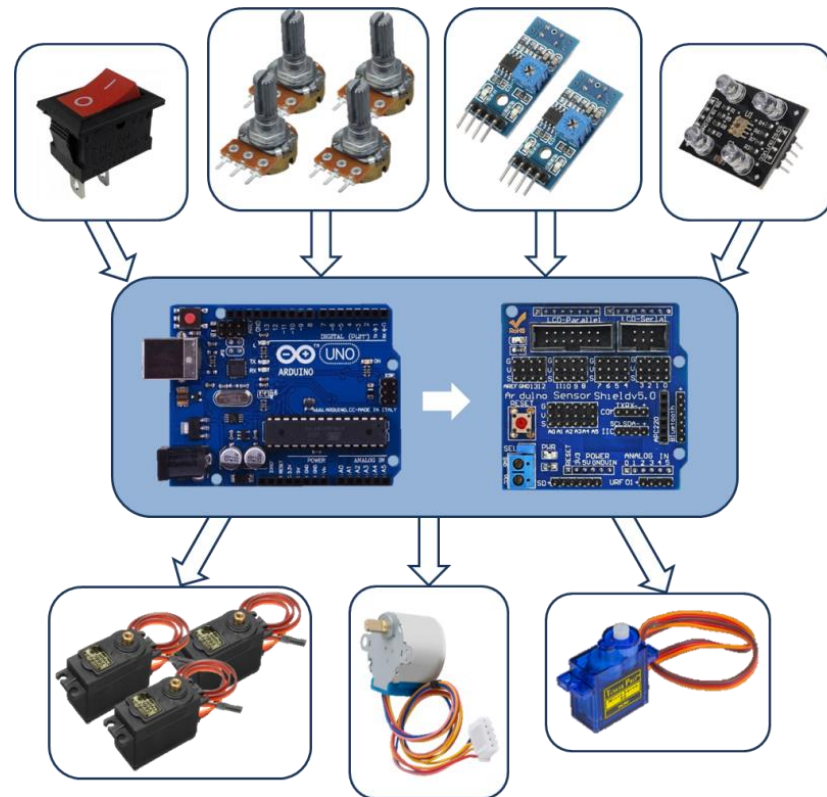
Fonte: Autoria Própria (2021).

3.3 PROJETO ELETRÔNICO

A Figura 23 exibe os dispositivos eletrônicos utilizados no sistema robótico proposto neste trabalho. O microcontrolador utilizado é o Arduino Uno, que acoplado ao *Shield* recebem dados provenientes dos seguintes dispositivos: botão liga/desliga, quatro potenciômetros, dois

módulos sensor reflexivo e do módulo sensor de cor, e processam esses dados enviando sinais aos três servomotores e micro servo e ao motor de passo.

Figura 23. Dispositivos eletrônicos utilizados no sistema robótico.



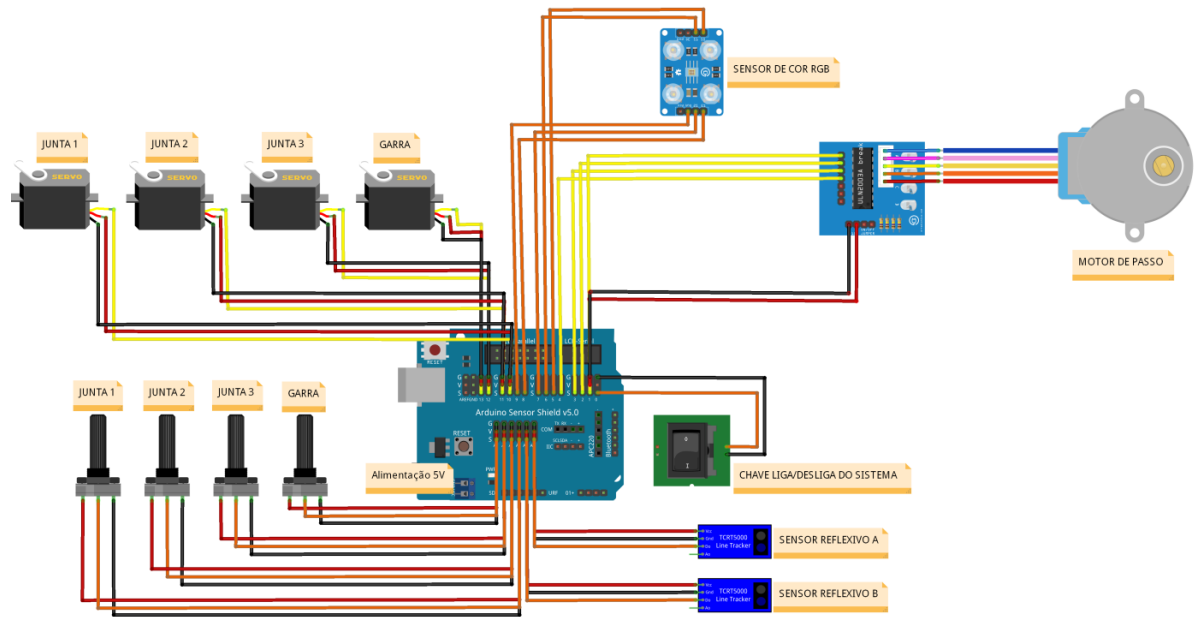
Fonte: Adaptado de SANTOS, Reysane (2019).

O sistema de controle tem a finalidade de receber e interpretar sinais e traduzir em sinais de controle que vão gerar o movimento das juntas do manipulador. Os sinais que alimentam o sistema de controle são enviados através dos potenciômetros ou através da porta serial USB. Quando enviados pelos potenciômetros, os sinais são lidos através das portas 33 analógicas do Arduino e são convertidos em sinais de controles que irão alimentar os servos.

O circuito de controle do sistema robótico, com todos os componentes conectados á placa Arduino, é mostrado na Figura 24. Uma fonte de tensão de 5V foi conectada ao sistema para alimentação dos dispositivos eletrônicos.

O mesmo fora mostrado de maneira interativa e bem detalhada, para que o aluno consigam entender todos os componentes e suas diferentes funções e ações em conjunto.

Figura 24. Circuito de controle do sistema robótico.



Fonte: Adaptado de SANTOS, Reysane (2019).

Todos os componentes são ligados diretamente a um *Shield*, o usuário terá a liberdade definir diretamente no código de programação que será embarcado no arduino Arduino, as portas correspondentes onde serão conectados e, assim, definir os comandos de ação de cada um, seja um pulso de sinal específico para uma ação, ou até simplesmente acionar um sensor.

3.4 PROGRAMAÇÃO

A programação de um manipulador pode ser entendida como um conjunto de informações sobre a trajetória a ser percorrida, o controle de seus movimentos e o tratamento dos sinais enviados através dos sensores, que serão convertidos em ações para o manipulador efetuar alguma tarefa. Pode ser dividida em dois tipos, programação por aprendizagem e programação textual (GROOVER et.al, 1987).

O processo de funcionamento do robô fora projetado para estimular o pensamento lógico dos alunos, criando assim um sistema de rotina conforme visualizado na figura 24.

Inicialmente, as peças são inseridas em fila na esteira, que as transportará até que a primeira atinja a faixa de posição do sensor reflexivo A, interrompendo o funcionamento da esteira transportadora. Isto nos mostra que a peça está na posição correta, em seguida o sensor de cor RGB será acionado para que a leitura seja efetuada.

Uma vez que os dados foram coletados pelo sensor de cor, a esteira dá continuidade ao processo e a peça é transportada até que atinja a faixa de posição do sensor reflexivo B,

indicando que a peça está localizada no final da esteira na espera de ser transportada. O braço robótico então sai da sua posição inicial e se desloca até a esteira para pegar a peça. Com a peça presa na garra, a esteira volta a funcionar e o robô desloca-se para o reservatório de cor correspondente à cor da peça onde no ponto correto a solta.

Feito isto, é analisado se há peça esperando para ser transportada para os reservatórios. Caso haja, o robô retorna para a posição inicial e repete a operação, caso não haja, o robô retorna para a posição inicial. Quando a quantidade de peças definidas para serem colocadas nos três reservatórios for atingida, a operação é finalizada.

Os dispositivos a serem programados, foram separados em grupos para um melhor entendimento, são eles:

Manipulador – Conjunto de corpos ligados por juntas, formando cadeias cinemáticas que definem uma estrutura mecânica. No manipulador incluem-se os atuadores, que agem sobre a estrutura mecânica, modificando a sua configuração, e a transmissão, que liga os atuadores à estrutura mecânica – Os termos manipulador e robô são muitas vezes usados com a mesma finalidade, embora, formalmente, tal não esteja correto.

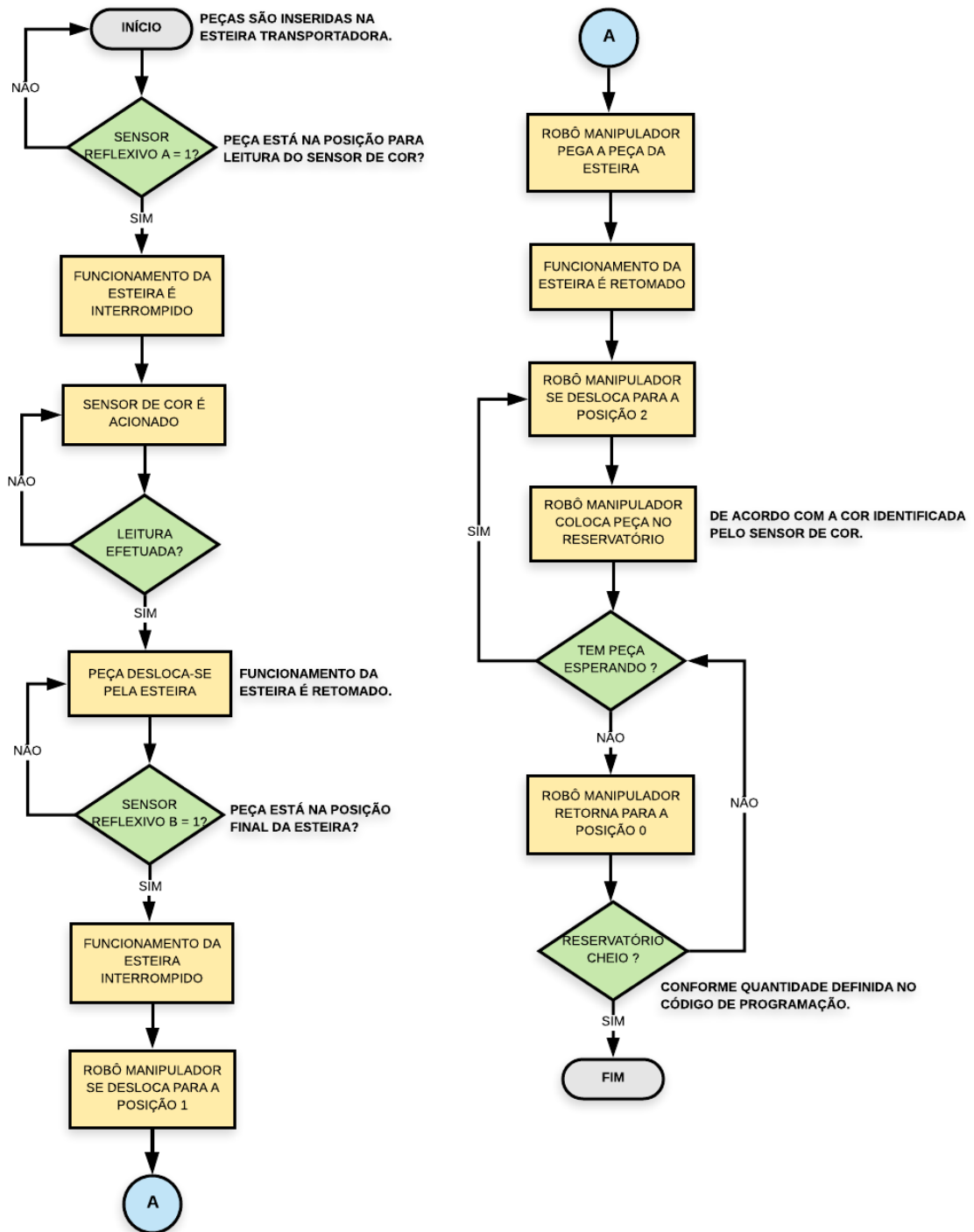
Sensores - dispositivos usados para recolher e proporcionar ao controlador informação sobre o estado do manipulador e do ambiente. Os sensores internos fornecem informação sobre o estado do manipulador (por exemplo, posição, velocidade ou aceleração). Os sensores externos fornecem informação sobre o ambiente (no nosso caso, sensores de parada e de leitura)

Controlador - dispositivo, tipicamente baseado em microcomputador, que controla o movimento do manipulador. Usa os modelos do manipulador e do ambiente e a informação fornecida pelo operador e pelos sensores. Efetua as operações algébricas de cálculo necessárias. Envia os sinais de controlo aos atuadores. Poderá ainda efetuar tarefas como o registo de dados em memória e a gestão das comunicações com o operador ou com outros dispositivos que cooperem com o robô na execução da tarefa.

Unidade de Potência - dispositivo que tem por objectivo proporcionar energia aos actuadores. Num sistema atuado electricamente trata-se de um conjunto de amplificadores de potência.

Cada elemento é levando em consideração na realização da programação, na figura 25 vemos a concepção através de um fluxograma de funcionamento do sistema para o melhor entendimento das etapas a serem atendidas pelo código.

Figura 25. Fluxograma de funcionamento do sistema.



Fonte: Adaptado de SANTOS, Reysane (2019).

4. RESULTADOS

Para a aplicação das aulas de teste e utilização do sistema robótico, fora utilizado uma turma do curso de extensão de introdução a robótica em parceria com a MANOSTechHub.

Ao todo foram selecionados 6 alunas e 6 alunos para preencher os dados, entre uma faixa etária de 15 a 17 anos. O público alvo foi alcançado com êxito, visto que são diversos estudantes da Instituição, compondo o 1º, 2º e 3º ano do ensino médio, e alguns alunos já com o ensino médio completo.

4.1 APLICAÇÃO EM SALA DE AULA

Dentro do cenário contemporâneo de educação, os professores recorrem ao modelo tradicional de ensino, modelo no qual os estudantes são passivos em sala de aula e adquirem conhecimento ao ouvir o que o professor tem a transmitir e praticar em forma de exercícios teóricos.

Figura 27. - Aplicação em sala do sistema robótico



Fonte: Autoria própria (2021).

Porém, conforme a figura 27, para que o aluno seja um fator exponencial de sua construção do conhecimento, é preciso recorrer a diversas formas de auxílio com o intuito de aumentar a capacidade de absorção de conhecimento. O tipo de abordagem tratada ao longo desde trabalho coloca os estudantes em posturas ativas durante as aulas, tornando-os protagonistas na criação do conhecimento. Quando métodos diferenciados são utilizados, aumenta a possibilidade de que mais estudantes se desenvolvam de formas diferentes.

4.1.1 AULA 1 – INTRODUÇÃO AO PENSAMENTO COMPUTACIONAL

PLANO DE AULA		
CONTEÚDO		
Módulo: Introdução ao Pensamento Computacional	Aula: 01	Educador: Bruno Silva da Costa
<p>Tópicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • O que é Programação? • Como programamos no nosso dia a dia? • Por que devemos aprender a programar. • Exercitando o pensamento lógico. 		

Figura 28. Introdução ao pensamento computacional (Autoria Própria)

O Pensamento Computacional tem sido considerado um dos pilares do intelecto humano, comparado à leitura, escrita e aritmética, uma vez que pode ser utilizado para compreender, descrever, explicar e modelar problemas. O objetivo do projeto foi estimular o raciocínio lógico e o pensamento computacional através da introdução de conceitos iniciais de programação, fazendo uso do Sistema Computacional e dos conceitos de Lógica de programação e robótica.

Como primeira aula do curso de Robótica, é importante que os estudantes sejam introduzidas ao pensamento computacional.

Nesta aula conforme a figura 28, os estudantes irão ser apresentadas à Lógica de Programação vendo o conceito e função dos algoritmos no nosso dia a dia. É sempre importante ter uma conversa com os alunos para entender qual o ponto de vista deles a respeito de tal tema.

Neste primeiro encontro é importante explicar qual a ligação que exercitar o raciocínio lógico por meio da Lógica de Programação tem com o curso de Robótica; é essencial que os alunos entendam que robôs executam informações que nós passamos a eles por meio de alguma programação, conjunto de informações, ou no caso desta aula: um sistema robótico. Com isso, o aluno verá neste primeiro momento que tanto as montagens quanto à programação de robôs são sempre definidas por eles mesmos e existe uma rotina lógica de etapas a serem interpretadas através de uma plataforma de controle (controlador) para que o robô execute as ações.

4.1.2 AULA 2 – PENSAMENTO COMPUTACIONAL

Figura 29. Pensamento computacional (Autoria Própria)

PLANO DE AULA		
CONTEÚDO		
Módulo: Introdução ao Pensamento Computacional	Aula: 02	Educador: Bruno Silva da Costa
<p>Tópicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Trabalhando o raciocínio lógico; • Desenvolvendo algoritmos. 		

O Pensamento computacional pode ser definido como uma ferramenta usada para desenhar soluções e solucionar problemas de maneira eficaz tendo a tecnologia como base. Ao contrário do que a expressão pode parecer, não necessariamente significa o que está ligado à programação de computadores, mas também ao sequenciamento de etapas para se obter um resultado previamente definido, na figura 29 podemos observar o cronograma de conteúdos a serem abordados durante a aula.

Uma série de aptidões são obtidas como resultado do processo de desenvolvimento do pensamento computacional. As habilidades refletem diretamente no aprendizado do estudante. Especialmente no caso das crianças, o uso dessa metodologia ajuda em seu crescimento, melhorando aspectos como o desenvolvimento cognitivo.

Alguns exemplos de habilidades a seguir, são adquiridas ao longo do processo de aprendizagem, são elas:

- Construção do pensamento lógico;
- Alfabetização Digital;
- Autonomia

Nesta aula os alunos deverão resolver exercício no site “Hora do código” que envolvam a construção de algoritmos (de uma sequência de passos para resolver uma situação).

O professor deve inicialmente apresentará o conceito de algoritmos e exemplificará a utilização da mesma na construção de um robô (utilizando o sistema robótico) e em seguida entregar os exercícios da aula.

4.1.3 AULA 3 – TRABALHANDO COM GARRAS

As garras robóticas podem ser encontradas em diversas formas e aparências sendo utilizadas para uma extensa variedade de aplicações. Algumas possuem o formato de mãos, outras em forma como pinças, e ainda, existem aquelas com ventosas ou ferramentas magnetizadas.

Essa vasta gama de garras robóticas é empregada na manipulação de tecidos, manejo de peças delicadas, componentes automotivos, vidros, entre tantos outros objetos, seja no chão de fábrica de uma indústria ou em um laboratório de análises clínicas.

PLANO DE AULA		
CONTEÚDO		
Módulo: Mecânica para robôs	Aula: 03	Educador: Bruno Silva da Costa
<p>Tópicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Trabalhando com garras. 		

Figura 30. Trabalhando com garras (Autoria própria)

Inicialmente o professor deve explicar em quais áreas da sociedade braços robóticos são utilizados, em seguida deve explicar como é possível construí-lo mostrando o esquema mostrado no decorrer deste trabalho. Como exercício principal será proposto que em equipe os discentes reconstruam e apresentem aos colegas possíveis alterações, melhorias observadas pelos alunos devem ser utilizadas para a avaliação dentro da sala de aula.

4.2 RESULTADOS TÉCNICOS

Após elaborado os testes de funcionamento do projeto, constatou-se a eficácia positiva na execução do sistema robótico com o pretendido nos objetivos. Os produtos que eram posicionados na esteira, foram separados de acordo com as cores predeterminadas na programação.

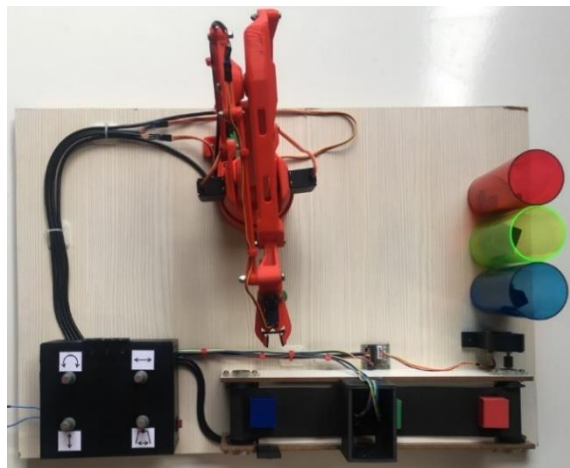
O braço robótico impresso na impressora 3D e montado adequadamente, funcionou como o esperado. A Figura 31 abaixo ilustra a composição do braço em sua fase final de montagem.



Figura 31. Braço robótico (Autoria Própria)

Observa-se que a estrutura está parafusada e com todos os componentes já acoplados dentro do sistema. Os servos-motores realizam os movimentos pré-programados, enquanto a garra na ponta do braço realiza o movimento de agarrar a peça para colocar no copo da cor correspondente, que podem ser na cor vermelha, verde ou azul. O movimento é ilustrado na Figura 32 a seguir.

Figura 32. Montagem Final (Autoria própria)



Após o experimento com o robô didático nas aulas práticas do MANA OSTechHub, constatou-se que a maioria dos estudantes absorveram melhor o assunto e entendeu os conteúdos teóricos que são abordados nas salas de aulas. Logo, surgiu a ideia de aplicar um questionário de satisfação para os alunos que tiveram uma experiência educativa com o robô. Dessa forma, foram selecionados 12 alunos anônimos do ensino médio para compor o quadro de pesquisa, onde cada um respondeu 5 perguntas ao todo.

O questionário foi composto pelas seguintes perguntas:

1. Sexo () F () M
2. Idade _
3. Numa faixa de 0 a 10 qual o nível de dificuldade com o robô sistematizado?
4. Numa faixa de 0 a 10 qual o nível de aprendizagem com o robô sistematizado?
5. Qual o nível de satisfação numa faixa de 0 a 10 com as aulas práticas usando o robô educacional?

As respostas dos alunos foram satisfatórias, sendo colocadas em forma de gráficos para facilitar o entendimento das mesmas.

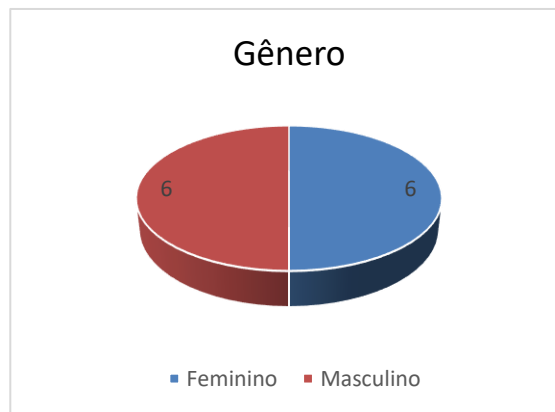


Figura 33. Gráfico com relação ao gênero

O gráfico da figura 33 mostra, de maneira interativa, a faixa etária dos alunos que utilizaram o sistema robótico e participaram da aula.

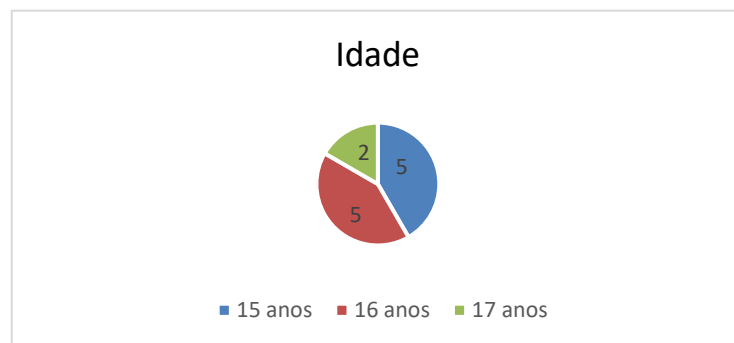


Figura 34. Gráfico com relação a idade

Em relação a parte mais importante do projeto, que é o lado educacional na prática dos assuntos teóricos abordados em sala de aula, constatou através do gráfico as seguintes respostas dos alunos:

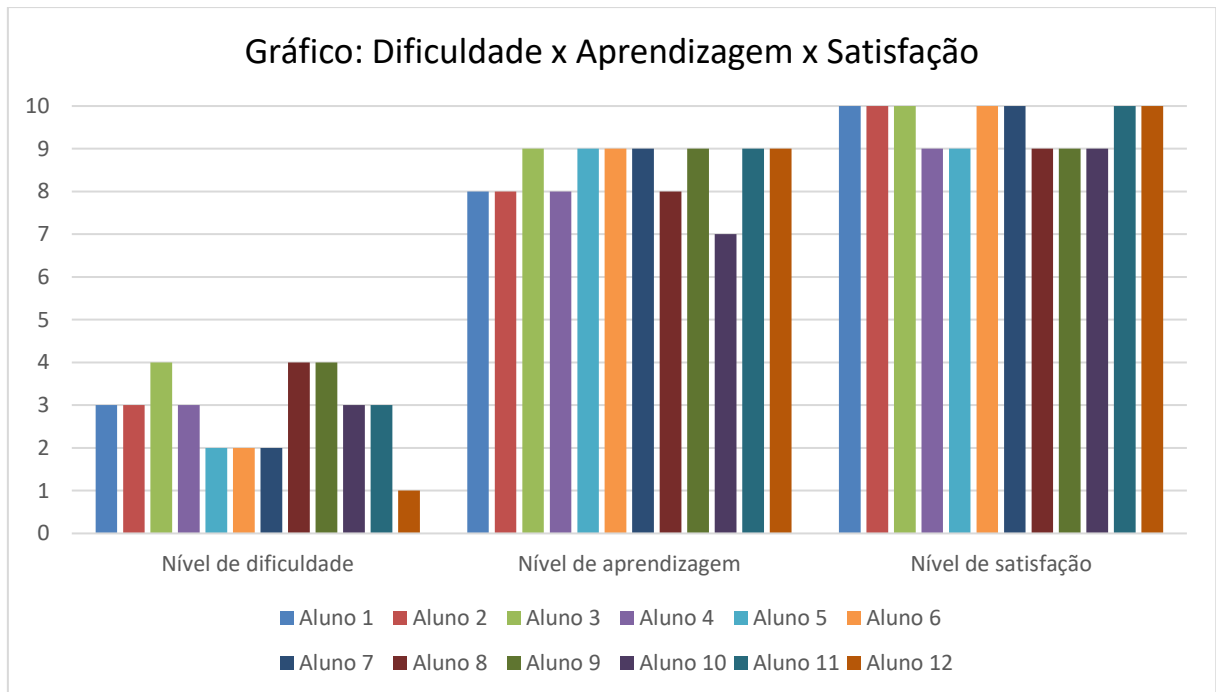


Figura 35. Dificuldade x Aprendizagem x Satisfação

Observa-se pelo Gráfico na figura 35 classificado de 0 a 10 verticalmente, que o nível de dificuldade dos 12 alunos foi baixo, variando entre 1 e 4. O fator de dificuldade indica que poucos alunos tiveram obstáculos para compreender o funcionamento do robô, bem como a sua operação de execução.

Já em relação ao nível de aprendizagem, obteve-se êxito ao perceber que a maioria dos estudantes tiveram facilidade para se desenvolver e absorver o conteúdo na prática. Visto que o objetivo do projeto é auxiliar os professores e alunos nas aulas, tornando mais interativa e tecnológica.

O nível de satisfação foi o mais importante dado obtido do questionário, pois expõe que o robô educativo atendeu as expectativas como um todo. Constatou-se que mais da metade dos alunos aprovaram o estilo de ensino, usando um sistema robótico de estudo para tornar as aulas mais prazerosa e interessante.

4.3 ANÁLISE DE CUSTOS

Conforme evidenciado, é notório que o custo para aquisição de um braço robótico com aplicabilidade educacional é elevado. Isto considerando que para compor um laboratório em Instituições de ensino seriam necessários vários robôs, de acordo com o número de alunos em sala de aula. Portanto, urge que novas tecnologias voltadas para o ensino sejam apresentadas, como a desenvolvida neste trabalho. Na figura 36 podemos observar a tabela de custo de desenvolvimento do sistema robótico.

SISTEMA ROBÓTICO DESENVOLVIDO		
Robô		
Filamento 500g	1	R\$50,00
3 servomotores mg995	3	R\$90,00
1 micro servo 9g	1	R\$10,00
Parafusos		R\$10,00
Total		R\$160,00
Esteira		
Placas de Mdf	3	R\$20,00
Rolamentos	4	R\$10,00
Eixo motor	2	R\$10,00
motor	1	R\$15,00
Parafusos		R\$3,00
Total		R\$58,00
Componentes eletrônicos		
Arduino	1	R\$30,00
Arduino Sensor Shield	1	R\$25,00
Sensor de cor	1	R\$15,00
Sensor reflexivo	2	R\$13,00
Total		R\$83,00

TOTAL
R\$301,00

Figura 36. Custo do sistema robótico.

Em comparação com alguns braços robóticos disponíveis no mercado, se torna evidente que o Sistema robótico desenvolvido se torna muito mais atrativo financeiramente com relação a alguns modelos já existentes no mercado, conforme a tabela 11.

Com isso se valida o baixo custo do sistema robótico projetado e construído neste trabalho, sendo esta uma alternativa viável para instituições de ensino em geral.

Tabela 11. Braços robóticos comerciais educacionais.

Modelo	Características	Preço
<p data-bbox="368 286 646 324">Figura 37. PincherX</p>  <p data-bbox="467 674 544 701">Fonte:</p> <p data-bbox="272 719 742 797">https://www.trossenrobotics.com/pincherx-100-robot-arm.aspx</p>	<p data-bbox="786 427 1236 685">O <i>PincherX</i> é um dos robôs desenvolvidos pela empresa <i>Trossen Robotics</i> com a finalidade de dispor de um braço robótico eficiente para fins didáticos.</p>	<p data-bbox="1273 521 1433 555">R\$ 4.332,00</p>
<p data-bbox="331 875 683 913">Figura 38. uArm Swift Pro</p>  <p data-bbox="467 1451 544 1478">Fonte:</p> <p data-bbox="292 1480 724 1507">https://www.ufactory.cc/#/en/uarmswift</p>	<p data-bbox="786 958 1225 1323">O <i>uArm Swift Pro</i> foi desenvolvido pela empresa <i>UFactory</i>, e se trata de um robô destinado para o meio acadêmico. Foi desenvolvido de forma a enquadrar-se nas mais diversas aplicações.</p>	<p data-bbox="1273 1133 1433 1167">R\$3.426,00</p>
<p data-bbox="344 1518 671 1556">Figura 39. LittleArm Big</p>  <p data-bbox="467 1899 544 1926">Fonte:</p> <p data-bbox="260 1928 754 1982">https://www.littlearmrobot.com/store/p26/littlearm_big.html</p>	<p data-bbox="802 1536 1220 1951">O robô <i>LittleArm Big</i> é um robô desenvolvido pela empresa <i>LittleArm Robots</i>, cuja função é emular robôs utilizados na indústria, porém com estrutura mecânica simples, fabricada em impressora 3D e controle por Arduino.</p>	<p data-bbox="1273 1709 1433 1742">R\$1.897,00</p>

Fonte: Autoria Própria (2021).

5. CONCLUSÃO

Diante deste trabalho realizado, concluiu-se que os objetivos pré-estabelecidos foram alcançados de forma que o desenvolvimento do projeto contribuiu para o aprendizado não somente para os usuários do sistema para com a autora e o autor. Considerando a importância da educação para o desenvolvimento tecnológico do país, bem como a importância do engenheiro neste processo, o sistema robótico proporciona alternativa didática com custo de fabricação baixo que contribui positivamente para este cenário.

O sistema robótico apresenta várias formas de aplicabilidade sendo elas de maneira prática e interativa, isso estimulou o aprendizado dos jovens estudantes por alinhar a teoria com a prática de maneira tangível vindo assim, seus exercícios ao longo da aula, em pleno funcionamento facilitando o entendimento e estimulando o interesse dos mesmos.

5.1 ANÁLISE DOS OBJETIVOS DO TRABALHO

- Com a utilização de componentes de baixo custo para a construção do sistema robótico, como o microcontrolador Arduino, o Shield, os servomotores e motores, fora mostrado que o desenvolvimento de sistemas robóticos educacionais por meio de tecnologias de baixo custo é uma alternativa viável para Instituições de ensino com pouco investimento destinado a esta área, e facilitando assim o acesso para quaisquer iniciativas educacionais voltadas a essa área de ensino.
- O resultado final obtido é uma ferramenta que simula um processo industrial, onde peças devem ser manipuladas pelo braço robótico e separadas de acordo com uma característica específica. Sabendo da necessidade de aumentar os incentivos para despertar o interesse dos alunos no curso de engenharia e áreas afins, devido ao alto número de evasão, a solução didática desenvolvida viabiliza o aumento de recursos didáticos nos laboratórios de institutos de ensino.
- Os resultados foram satisfatórios, visto que o nível de satisfação dos alunos em relação a métodos mais dinâmicos de ensino foram bem recebidos, fazendo com que o grau de interesse e busca de conhecimento aumentassem exponencialmente.

5.2.1 Trabalhos Futuros

- Trocar o microcontrolador por uma raspberry pi ou uma esp 32.
- Desenvolver uma interface WEB para controle remoto estimulando assim aulas a distância e controle remoto.

6. REFERÊNCIAS

BENITTI, F. B. V. **Exploring the educational potential of robotics in schools: a systematic review**. Computers & Education, v. 58, n. 3, p. 978-988, 2012.

CARRARA, Valdemir. **Apostila de Robótica. Universidade de Braz cubas. São Paulo: Universidade Braz Cubas**, 2004. 15 p. PAZOS, Fernando. Automação de Sistemas e Robótica. Disponível em: . Acesso em: 13/03/21.

DÉBORA, G. **Software de código aberto: o que é e quais suas vantagens**. SAMBATECH. 2020.

DEY, N. MUKHERJEE, A. **Embedded Systems and Robotics with Open-Source Tools**. Computer Science, Engineering & Technology. Boca Raton, 2016.

DIAS, T. **O que é Educação 4.0 e como vai mudar o modo como se aprende**. Artigos, Tecnologias para educação. 2019.

FILHO, W. d. (31 de julho de 2012). **DESENVOLVIMENTO DE KIT DIDÁTICO DE ROBÔ MANIPULADOR**. VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, p. 8.

GHIZONI, H. **Desenvolvimento de Manipulador Robótico Didático Open Source Fabricado por Manufatura Aditiva. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina**. Florianópolis, p. 83. 2018.

HELENA, M. **Educação 4.0: Inteligência artificial, robôs e tecnologia que mudam a forma de aprender**. < <https://thathi.com.br/educacao/educacao-4-0-inteligencia-artificial-robos-e-tecnologia-que-mudam-a-forma-de-aprender/>> . Acesso em 03 de maio de 2021.

HOFFMAN, J. **Mastering Arduino**. 1ª. ed. Birmingham: Packt Publishing, 2018.

INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS (IFR). **Industrial Robots**. Disponível em: < <https://ifr.org/industrial-robots>>. Acesso em: 03 fevereiro 2021.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 8373: Robots and robotic devices**. Disponível em: <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en>>. Acesso em: 05 dezembro 2020.

JAZAR, R. N. **Theory of Applied Robotics: Kinematics , Dynamics, and Control**. 1ª. ed. New York: Springer, 2007.

JÚNIOR, S. P. J. ; MENEZES, B. F. **Protótipo de um sistema robótico industrial para utilização como equipamento didático para fins pedagógicos**. IV Workshop de Micro-ondas, São Paulo, outubro, 2017.

ORTOLAN, I. T. **Robótica Educacional: uma experiência construtiva**. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Ciências da Computação. Florianópolis, 2003.

SCHWAB, K. A Quarta Revolução Industrial. 1 ed. São Paulo: Edipro, 2016.