



BRAÇO ROBÓTICO COM APLICAÇÃO INDUSTRIAL

TEIXEIRA, Larissa Chaves¹

Centro Universitário Academia – UniAcademia

PICCININI, Marco Aurélio²

Centro Universitário Academia – UniAcademia

MAGRI, Luiz Paulo³

Centro Universitário Academia – UniAcademia

Linha de pesquisa: Automação

RESUMO

A cada dia novas tecnologias são utilizadas como auxílio no ambiente industrial, sejam elas para o aumento de produção, melhora na qualidade e principalmente para acompanhar o desenvolvimento do mercado. Com a ampliação do mercado industrial, novos desafios foram surgindo e cada vez mais são exigidos prazos menores e melhor qualidade dos produtos. O braço robótico industrial é uma tecnologia avançada amplamente utilizada na automação de processos industriais. Ele consiste em um sistema mecânico articulado que replica a estrutura e os movimentos do braço humano. Esse tipo de robô é projetado para executar tarefas repetitivas, complexas ou perigosas, proporcionando eficiência, precisão e segurança em diversas indústrias. Diante das questões expostas, este trabalho de conclusão de curso visa apresentar uma maneira de minimizar parte destes problemas com o uso da tecnologia dos braços robóticos automatizados. Com base em pesquisas bibliográficas o objetivo deste trabalho é apresentar os elementos principais para a construção e montagem de um braço robótico controlado por Arduino.

Palavras Chaves: Robô Industrial. Automação. Sensores. Arduino.

¹Graduanda em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário Academia - UniAcademia.

²Professor do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Academia - UniAcademia.

³Professor do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Academia – UniAcademia

1 INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos e os avanços tecnológicos, as indústrias estão aderindo ao uso de robôs em seus processos produtivos. Máquinas programadas para realizar movimentos rápidos, padronizados e constantes, contribuindo para o aumento da qualidade do produto e do volume no final da produção. A robótica pode ser relacionada à montagem e programação de robôs com equipamentos multifuncionais que são programados para realizar processos automatizados.

Na automação industrial, levando em conta a demanda cada vez mais alta, os meios de produção industrial estão sempre buscando formas mais eficientes, seguras e econômicas de fabricar seus produtos visando maior produtividade. Os avanços tecnológicos contribuem diretamente para que isso ocorra e uma das alternativas são os braços robóticos. De acordo com Fernandez (2022), utilizando alta tecnologia o braço mecânico é capaz de simular os movimentos de braços humanos, podendo ser usados para manipular ferramentas, objetos e aprimorar atividades.

O braço robótico é um equipamento mecânico programado para realizar diferentes tarefas e seu funcionamento parte do uso de sensores e motores. As partes que formam o robô são ligadas entre si para que ele realize os movimentos de rotação e translação (LASMAR, 2014). Na ponta do braço pode ter uma pinça ou garra, que dependendo da função desempenhada, pode ser usada na movimentação de mercadorias, montagem de peças, encaixotamento, corte, etc.

A compreensão da necessidade de ampliação do uso da tecnologia para auxiliar na produção das indústrias parte do estudo e análises dos reais problemas encontrados hoje e pela busca das soluções, procurando a melhor maneira de se utilizar os braços robóticos. De acordo com Rosário (2010), podem ser citadas duas causas para a evolução do uso dos robôs, sendo eles o constante aumento dos níveis salariais dos empregados e o extraordinário avanço tecnológico no ramo de computadores que induz à redução dos preços dos robôs e uma significativa melhoria em seu desempenho.

O processo de utilização de robôs dentro da automação industrial através do planejamento de um novo ambiente fabril ou de um já existente, a partir de um estudo de viabilidade, em que deverão ser considerados as limitações e ganhos na utilização de robôs industriais ou dispositivos automatizados dedicados (ROSÁRIO, 2010).

Um estudo feito nos Estados Unidos mostra que ao longo dos últimos 50 anos, os robôs têm sido usados principalmente para fornecer maior precisão e rendimento

particularmente para tarefas repetitivas, tais como solda, pintura e usinagem, e trabalho em ambientes de produção de alto volume e perigosos (VALÉRIO, 2014). Dessa maneira, o trabalho será direcionado para o estudo em robótica através dos elementos para a construção de um braço manipulador. Nas próximas seções serão apresentadas as bases deste projeto, assim como os principais componentes e as ferramentas de controle.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Essa seção tem como finalidade definir o que é a robótica, assim como apresentar sua funcionalidade, seus tipos e sua finalidade. Além de introduzir o conceito de robô industrial para que o leitor possa se familiarizar com o tema e tenha base para entender o desenvolvimento deste trabalho, uma vez que todos os tópicos têm início a partir desses termos.

2.1 EVOLUÇÃO E PRINCIPAIS CONCEITOS

O termo robô foi usado pela primeira vez em uma peça teatral do escritor Karel Capek, em 1921. Com uma estrutura mecânica que se comparava a semelhança humana, como um "trabalhador escravo", o que é comparado à ideia de robôs que temos hoje em dia. Atualmente, busca-se desenvolver robôs cada vez mais capazes de realizar todos os movimentos humanos para substituir a mão de obra em trabalhos arriscados ou que necessitam de repetição, e sem margem para erros (SANTOS; GORGULHO JÚNIOR, 2014).

Define-se um robô como um sistema autônomo, existente no mundo físico, capaz de sentir o ambiente e agir sobre ele para alcançar objetivos. A partir da determinação do conceito de robôs, entende-se que a robótica é o estudo da capacidade de sentir, e das tomadas de decisão de forma autônoma e de como agir no mundo físico dos robôs (MATARIC, 2014).

2.2 ROBÔ INDUSTRIAL

A robótica industrial teve seu início nas décadas de 1950 e 1960, em um momento em que a automação começava a ser amplamente adotada pela indústria. Naquela época, a automação era realizada principalmente por meio de sistemas hidráulicos e pneumáticos, que eram relativamente simples e limitados em sua

capacidade de realizar tarefas complexas (CARRARA, 2015).

De acordo com Santos e Gorgulho Júnior (2014):

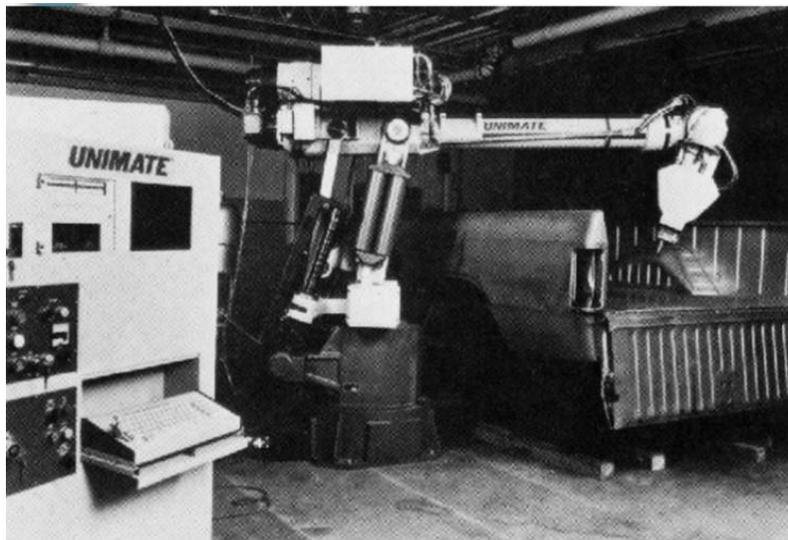
Partindo dessas definições, é possível associar um robô industrial ao tipo de máquina aplicada na automação flexível, sendo constituída basicamente por um manipulador mecânico acionado por atuadores a partir de um controlador, o qual opera com base em informações de movimentos programados e de sinais gerados por elementos sensores de realimentação. Tais elos permitem o correto posicionamento e a orientação da peça ou ferramenta destinada para a tarefa. (SANTOS; GORGULHO JR., 2014, p.13).

Nesse contexto surgiram os primeiros robôs industriais, projetados para realizar tarefas repetitivas e perigosas em linhas de produção. O primeiro robô industrial foi desenvolvido pela empresa americana Unimation, fundada por George Devol e Joseph Engelberger em 1956.

Os robôs industriais são quase sempre máquinas projetadas com o objetivo de substituir o trabalho humano em circunstâncias que geram desgaste físico ou mental, ainda em atividades perigosas e repetitivas durante o processo produtivo das indústrias (CARRARA, 2015).

O robô chamado de Unimate, Figura 1, era utilizado para realizar tarefas como soldagem e manipulação de peças em linhas de montagem (SANTOS; GORGULHO JÚNIOR, 2014).

Figura 1 – Primeiro Robô Industrial



Fonte: BIANCHI, 2016.

Os robôs industriais são quase sempre máquinas projetadas com o objetivo de substituir o trabalho humano em circunstâncias que geram desgaste físico ou mental, e ainda em atividades perigosas e repetitivas durante o processo produtivo das indústrias (CARRARA, 2015).

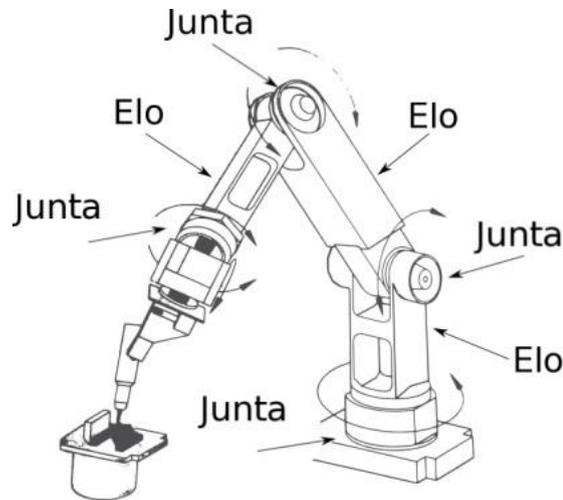
3 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Para construção deste trabalho foi utilizado pesquisas em artigos, dissertações, revistas e uso do Arduino para programação do protótipo apresentado. Para tanto serão abordadas nessa seção as características técnicas do projeto.

3.1 COMPONENTES DO BRAÇO ROBÓTICO

O braço articulado, que pode ser chamado de manipulador mecânico, se forma a partir de alguns componentes como elos, juntas, punho e efetuador final. Os elos são as partes rígidas do manipulador, os corpos da cadeia. As juntas são as partes do braço robótico que efetua uma conexão móvel entre dois elos; comparando a um braço humano, correspondem ao ombro e ao cotovelo. Na extremidade contrária à base do manipulador encontra-se normalmente uma junta especial que é capaz de aplicar amplo grau de liberdade em termos de orientação espacial. Refere-se ao punho, que, similarmente à uma pessoa, permite alto grau de flexibilidade de manipulação. Por último, o efetuador é o dispositivo que executa o trabalho robótico em si e é o elemento final da cadeia cinemática. Podendo ser tanto uma garra para pegar objetos ou também uma ferramenta utilizada para realizar outro tipo de manipulação, como pode ser visto na Figura 2 (SANTOS; GORGULHO JÚNIOR, 2014).

Figura 2 – Componentes do braço



Fonte: Imagem adaptada de “Automação de Sistemas & Robótica” (PAZOS, 2002)

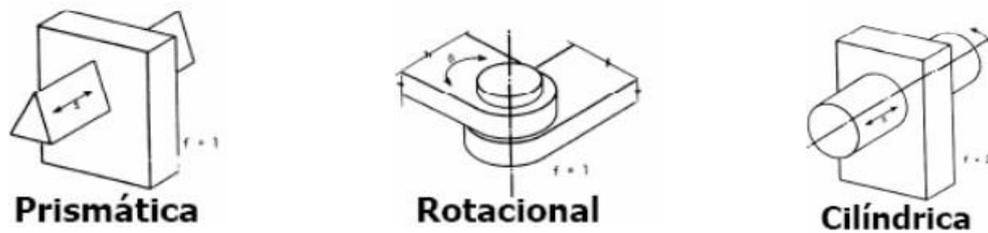
A análise de um manipulador robótico geralmente se concentra nas suas juntas, que são componentes que permitem a liberdade de movimento. Existem diversas formas mecânicas de construir juntas, mas em robôs industriais são comuns três tipos principais: juntas prismáticas, juntas rotacionais e juntas esféricas (SANTOS; GORGULHO JÚNIOR, 2014).

Serão apresentadas as três juntas mais comuns na construção do manipulador, que como dito anteriormente, se conectam ao braço e são responsáveis por permitir determinados tipos de movimentos.

1. Juntas Prismáticas: Também chamadas de juntas lineares, são compostas por duas hastes que deslizam entre si, e se movem em linha reta.
2. Juntas Rotacionais: São exemplos de juntas que giram em volta de uma linha estacionária, que recebe o nome de eixo de rotação.
3. Juntas Esféricas: São a combinação de três juntas rotacionais, realizam a rotação em volta dos três eixos.

A Figura 3 abaixo apresenta uma ilustração dos diferentes tipos de juntas encontradas em um braço robótico, fornecendo uma visão abrangente das diferentes articulações utilizadas neste dispositivo.

Figura 3 – Tipos de Juntas



Fonte: Imagem adaptada de “Controle de Manipuladores Robóticos” (PIMENTA, 2009)

3.2 GRAU DE LIBERDADE

Um grau de liberdade é um número mínimo de coordenadas necessárias para descrever completamente o movimento de um sistema mecânico, como um robô. É importante saber quantos graus de liberdade um robô tem para determinar sua capacidade de modificar o ambiente e, portanto, sua eficiência para realizar uma tarefa. Normalmente, um corpo livre no espaço 3D tem seis graus de liberdade, dos quais três são de translação (x, y e z) e três são de rotação (rolagem, arfagem e guinada). O grau de liberdade (GDL) de um robô é o que determina como o corpo poderá se mover, o mesmo acontece no corpo humano (MATARIC, 2014).

Para determinar os graus de liberdade de um manipulador, precisa-se levar em consideração o tipo de tarefa empregada por ele, algumas tarefas podem ser realizadas com apenas 2 graus de liberdade enquanto outras podem precisar de até 6 GDL.

Geralmente, a indústria faz uso de robôs com cinco graus de liberdade, o que muitas vezes é suficiente. Em muitos casos, robôs com apenas três graus de liberdade poderiam ser utilizados. Na prática, é importante evitar colisões entre a ferramenta e a peça de trabalho. Os braços e punhos do robô possuem três possíveis movimentos cada, dando a cada componente três graus de liberdade. Isso significa que há três graus de liberdade para cada componente do robô - três para o punho e três para os elos, definido em DIAS (2022).

3.3 CAPACIDADE DE CARGA

A habilidade do robô de suportar carga está intrinsecamente ligada ao seu tamanho, configuração e método de acionamento. A capacidade de carga é um dos fatores primordiais a serem considerados ao escolher um robô, especialmente levando em conta a natureza da tarefa a ser desempenhada.

A intensidade da força necessária para movimentar um objeto muda de acordo com a maneira como um robô está configurado. A carga útil, ou carga nominal, é o peso que pode ser manipulado durante a operação normal do robô. Além disso existe ainda a carga máxima que é o peso máximo que pode ser manuseado nas configurações mais comuns. Normalmente os fabricantes especificam a carga máxima levando em consideração a pior configuração possível, aquela que estende ao máximo as capacidades do robô (FERNÁNDEZ, 2022).

4 ACIONAMENTO E CONTROLE

4.1 SENSORES

De acordo com Mataric (2014), os sensores são: “Dispositivos físicos que permitem a um robô perceber seu ambiente físico, a fim de obter informações sobre si mesmo e sobre os objetos que o cercam.”

Sensores são responsáveis por transformar grandezas físicas em sinais elétricos. Especificamente na robótica, são usados para monitorar a velocidade que os robôs se movimentam, determinar a posição, reconhecer obstáculos.

Nos dias atuais, o ambiente laboral é caracterizado por sua alta dinamicidade e agitação constante. Por esse motivo, os robôs necessitam de uma ampla gama de informações sobre o ambiente em que estão inseridos para poderem desempenhar suas funções de maneira eficaz. Essas informações englobam aspectos como a localização, a distância, a velocidade, as dimensões, a orientação, a aceleração, a força, a temperatura, o peso, a luminosidade e outras mais (MATARIC, 2014).

Os sensores utilizados na robótica permitem aos equipamentos interpretar os diversos elementos presentes no ambiente, combinando o uso de programas e algoritmos específicos para gerar comportamentos e soluções que possibilitem que os robôs lidem com o mundo ao seu redor.

Em geral, são dispositivos capazes de detectar e gerar informações sobre o

equipamento e sobre o meio onde estão inseridos. Produzem um sinal que possibilita medir alguma grandeza como: força, torque, temperatura, posição, velocidade. Podem ser classificados levando em consideração: seu princípio de funcionamento, função realizada, sua localização e o tipo de ativação.

As funções dos sensores em robôs dividem-se em duas categorias principais: de estado interno e de estado externo.

Sensores externos são responsáveis por observar os aspectos do mundo exterior ao robô. Como exemplo de sensores externos temos os sensores de contato, de proximidade, de força, de distância, de laser, de ultrassom, de infravermelhos e sensores químicos (OLIVEIRA et al., 2017).

Sensores internos são encarregados de fornecer informação sobre os fatores internos do sistema mecânico tal como a velocidade ou sentido de rotação de um motor ou o ângulo de uma junta. São exemplos de sensores internos os potenciômetros, codificadores e os sensores inerciais (incluindo acelerômetros, giroscópios, inclinômetros e bússolas) (OLIVEIRA et al., 2017).

Na construção dos robôs os sensores serão escolhidos a partir do que se espera deles levando em consideração o tipo de atividade que será desenvolvida e também o meio de operação. A seguir serão apresentados alguns dos tipos de sensores mais comuns, tais como suas funções.

4.1.1 Sensor de Posição

Sensores de posição são dispositivos utilizados para medir a posição de um objeto em relação a uma referência específica. São utilizados comumente em sistemas de automação, robótica, controle de processos industriais e muitas outras aplicações. Alguns exemplos dos tipos de sensores de posição incluem:

Sensores de posição linear: Esses sensores são usados para medir a posição de um objeto ao longo de uma linha reta. Eles podem ser baseados em diferentes princípios de medição como potenciômetros, sensores de efeito Hall e sensores capacitivos.

Sensores de posição angular: Esses sensores medem a posição angular de um objeto em relação a uma referência. Eles são usados em aplicações como sistemas de controle de motores, robótica e navegação.

Os sensores de posição são essenciais para muitas aplicações que requerem

precisão e controle. Eles são usados em uma ampla variedade de setores incluindo aeroespacial, automotivo, eletrônico, médico e muitos outros. Com o desenvolvimento contínuo da tecnologia novos tipos de sensores de posição estão sendo desenvolvidos para atender às necessidades cada vez mais exigentes de aplicações industriais e comerciais (SOLOMAN, 2012).

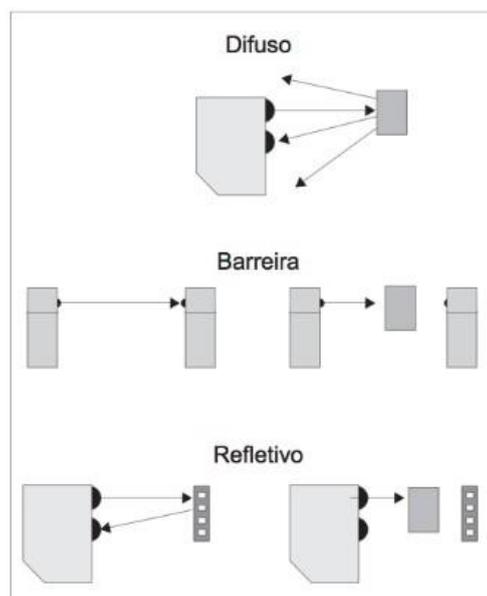
4.1.2 Sensores Óticos

Sensores óticos são dispositivos usados para detectar e medir a luz ou outras formas de radiação eletromagnética no espectro ótico. Esses sensores aproveitam as propriedades da luz para executar várias tarefas, como detecção de objetos, medição de distância, controle de iluminação, leitura de código de barras e muitas outras aplicações (BRITO, 2019).

A tecnologia ótica é baseada na interação da luz com diferentes materiais e componentes, e os sensores óticos aproveitam esses princípios para capturar a luz e convertê-la em sinais elétricos utilizáveis. Esses sensores podem ser constituídos por elementos fotossensíveis, como fotodiodos, fototransistores ou células fotovoltaicas, que geram uma corrente elétrica proporcional à quantidade de luz incidente.

Na Figura 4 podem ser observados os principais sensores óticos utilizados: barreira, refletivo (retroreflexão) e difuso.

Figura 4 – Sensores óticos



Fonte: CAMARGO, 2014.

4.1.3 Sensores de Velocidade

De acordo com BRITO (2019) são dispositivos como os tacômetros que detectam a velocidade do eixo do motor. Os sensores de velocidade são dispositivos utilizados para medir a velocidade de um objeto ou de um sistema em movimento. Eles desempenham uma função fundamental em diversas áreas, como automobilística, aeroespacial, indústria, entre outras, onde a precisão e o controle da velocidade são essenciais.

Existem diferentes tipos de sensores de velocidade disponíveis, cada um com princípios de funcionamento específicos.

Sensores de velocidade baseados em efeito Doppler que utilizam o princípio do efeito Doppler para medir a velocidade relativa de um objeto em relação ao sensor. Eles emitem ondas sonoras ou eletromagnéticas e analisam a mudança de frequência das ondas refletidas para determinar a velocidade.

Sensores de velocidade ópticos que usam feixes de luz para medir a velocidade. Eles podem ser baseados em diferentes princípios, como a detecção de mudanças na intensidade da luz refletida ou a medição do deslocamento angular de um objeto em rotação.

Sensores de velocidade baseados em contato: esses sensores entram em contato físico com o objeto em movimento para medir a velocidade.

Sensores de velocidade baseados em efeito Hall: Esses sensores são usados principalmente em aplicações automotivas para medir a velocidade das rodas ou do eixo do veículo. Eles usam o efeito Hall, que é a geração de uma tensão elétrica quando um condutor é atravessado por um campo magnético, para detectar a velocidade.

4.1.4 Sensor de Proximidade

Para detectar a presença ou a proximidade de objetos ou pessoas em relação a um determinado ponto ou superfície são utilizados os sensores de proximidade. Esses sensores são amplamente usados em uma variedade de aplicações, desde dispositivos móveis e automóveis até sistemas de segurança e automação industrial (CAMARGO, 2014).

De acordo com seu princípio de funcionamento e aplicação específica (BRITO, 2019), existem alguns tipos de dispositivos capazes de detectar a presença próxima

de um objeto, seja por indutância, capacitância ou reflexão de luz.

Os sensores de proximidade indutivos usam a mudança na indutância para detectar a presença de objetos metálicos. Eles geram um campo eletromagnético de alta frequência e detectam alterações nesse campo quando um objeto metálico se aproxima. Os sensores de proximidade capacitivos detectam a presença de objetos com base na variação da capacitância. Eles emitem um campo elétrico e são sensíveis a mudanças na capacitância causadas pela aproximação de objetos, incluindo materiais não metálicos, como plástico ou líquidos. E os sensores de proximidade ultrassônicos emitem pulsos ultrassônicos e medem o tempo que leva para os pulsos retornarem após atingirem um objeto. Já sensores de proximidade por infravermelho (IR) utilizam da emissão da luz infravermelha e detectam sua reflexão a partir de objetos.

4.1.5 Sensor de Força

Também chamado de sensor de torque, é um dispositivo habilitado para medir o esforço rotatório que será suficiente para girar uma massa ao longo de um ângulo (BRITO, 2019).

Um sensor de força é um dispositivo eletrônico que mede a magnitude e a direção de uma força aplicada sobre ele (INÁCIO, 2009). São usados em uma variedade de aplicações, desde a medição de forças em equipamentos de teste e medição até a detecção de impactos em dispositivos de segurança.

Para medir forças de forma mais direta é comum a utilização de extensômetros. O extensômetro elétrico é um resistor elétrico constituído por uma fina camada de material condutor, disposto sobre um material isolante (INÁCIO, 2009).

4.1.6 Sensor de Visão

A visão é considerada o sentido mais importante na relação de um robô com o mundo. A visão computacional vai servir para descrever a determinação automática de estruturas e propriedades do ambiente, a partir das imagens capturadas do ambiente (INÁCIO, 2009).

Os sensores de visão permitem a captura e processamento de informações visuais do ambiente ao seu redor. Eles são projetados para simular a capacidade humana de ver e interpretar imagens, e são amplamente utilizados em diversas áreas,

como robótica, automação industrial, sistemas de segurança, veículos autônomos, entre outros.

Os sensores de visão capturam as informações visuais do ambiente e as enviam para um sistema de processamento, onde são analisadas e interpretadas por meio de algoritmos de visão computacional. Isso permite que os sistemas automatizados tomem decisões e executem ações com base nas informações visuais obtidas (SOLOMAN, 2012).

4.2 ELEMENTOS TERMINAIS E ATUADORES

Os atuadores são dispositivos responsáveis por produzir movimento através da conversão de energia, energia essa que pode ser elétrica, hidráulica ou pneumática. O movimento será obtido após esse processo de transformação. Algumas de suas aplicações são: bombas; válvulas de controle (atuador elétrico); eixos de máquinas e ferramentas; articulações de robôs (MATARIC, 2014).

Para melhor definir o que são os atuadores, Camargo (2014) diz:

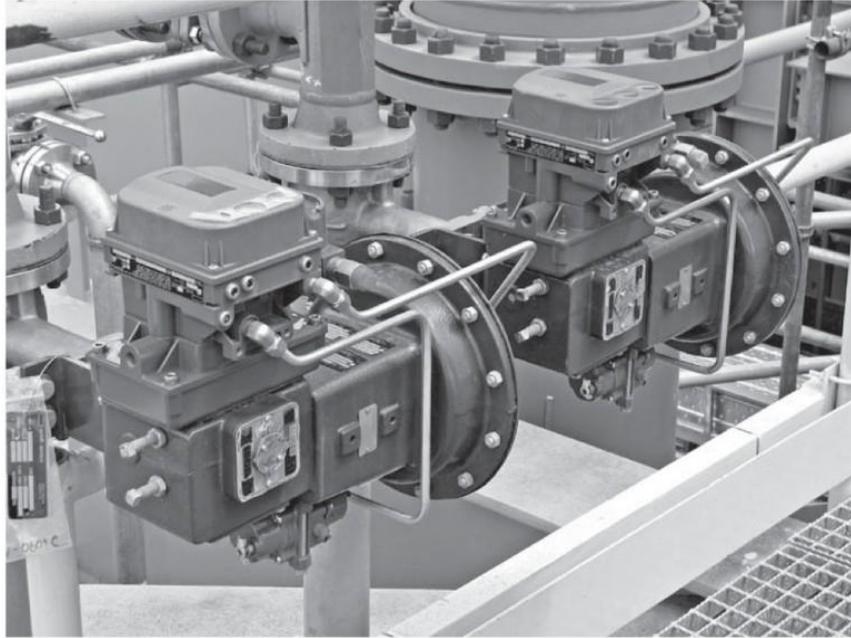
Recorrendo à analogia com o ser humano, o atuador é o conjunto de braços, mãos, músculos etc. que “atua” sobre a variável manipulada do sistema a ser controlado. Algumas definições de atuador: O elemento que produz movimento, atendendo a comandos, com o objetivo de corrigir ou alterar uma variável de processo. Algo que atua sobre outra coisa, especialmente a fim de ligar ou desligar um mecanismo; Um servomecanismo, que fornece e transmite determinada quantidade de energia para a operação de outro mecanismo ou sistema. (CAMARGO, 2014, p. 135).

Um sistema de controle é formado por diversos elementos, mas o responsável efetivo por modificar o processo é o elemento terminal de controle. Os elementos terminais de controle são componentes cruciais em praticamente todos os sistemas de controle, sem os quais seria impossível regular o processo. A capacidade de ajustar o ponto de operação e corrigir distúrbios seria inexistente (CAMARGO, 2014).

Na figura 5 pode ser visto um sistema de controle aplicado a um processo.

Figura 5: Válvulas finais de controle com atuadores

Fonte: CAMARGO, 2014.



4.3 SERVOMOTORES

Servomotores são dispositivos eletromecânicos utilizados para controlar com precisão a posição, velocidade e/ou torque de um mecanismo ou sistema. Eles consistem em um motor elétrico, um sensor de posição (geralmente um potenciômetro) e um circuito de controle. De acordo com Tannus (2018), esses dispositivos são formados por uma combinação de quatro componentes: um motor DC, engrenagens, circuito de controle e um potenciômetro.

Os servomotores são amplamente utilizados em aplicações onde é necessário controle preciso de posicionamento, como robótica, e na automação industrial. O circuito de controle compara a posição real do servo motor com a posição de referência definida pelo usuário e envia os sinais apropriados para o motor mover-se na direção e velocidade corretas para alcançar e manter essa posição.

A união entre o circuito de controle e o potenciômetro constitui um sistema de retroalimentação capaz de regular com precisão a posição do eixo do motor. Os servomotores convencionais têm sua rotação limitada a um intervalo de 0° a 180° , sendo que esse valor angular é determinado pela entrada de controle do dispositivo. Se houver uma mudança no valor de entrada, o potenciômetro ajusta sua posição para refletir essa alteração (TANNÚS, 2018).

A figura 6 ilustra os componentes de um servomotor.

Figura 6: Componentes interno de um servomotor



Fonte: Unesp, 2013.

4.4 MOTORES

Motores são dispositivos eletromecânicos projetados para converter energia elétrica em energia mecânica, a fim de gerar movimento. Eles desempenham um papel fundamental em uma ampla variedade de aplicações industriais, comerciais e residenciais.

4.4.1 Passo

Esses motores convertem pulsos elétricos em movimentos angulares discretos, são usados em aplicações que exigem controle preciso de posicionamento. De acordo com Camargo (2014), atualmente os motores de passo encontram ampla aplicação em sistemas de operação em malha aberta, dispensando a necessidade de sensores ou controladores mais complexos. Em um motor de passo, um ímã permanente é manipulado por meio de campos eletromagnéticos que são ativados e desativados eletronicamente.

Ainda segundo Camargo (2014), muitos dispositivos computadorizados, como drives e CD-ROMs, utilizam motores especiais para controlar os ângulos de rotação de seus rotores. Esses motores apresentam características distintas, tais como baixo torque, acionamento simples e uma relação peso/potência reduzida.

Como características desse tipo de motor, de acordo com a UNESP (2013) encontra-se:

- Ausência de escovas: os componentes de comutação e escovas presentes nos motores convencionais são responsáveis pela maioria das falhas e ainda podem gerar faíscas indesejáveis e perigosas em determinados ambientes.
- Independência da carga: os motores de passo giram a uma determinada velocidade independentemente da carga, desde que a carga não exceda o torque do motor.
- Posicionamento em malha aberta: os motores de passo movem-se em incrementos ou passos que podem ser medidos. Desde que o motor funcione com o torque especificado, a posição do eixo é conhecida em todos os momentos, sem a necessidade de um sistema de feedback.
- Torque constante: os motores de passo são capazes de manter o eixo parado, desde que o torque adequado seja aplicado.
- Excelente resposta ao iniciar, parar e reverter o movimento.

4.4.2 Síncrono

Segundo FRANCHI (2014), esses motores recebem o nome de motores síncronos devido ao fato de sua velocidade de rotor ser sincronizada com o campo girante, que nesse caso é o estator que estabelece.

É usada a equação (4.1) para determinar a velocidade do motor síncrono:

$$N_s = - \frac{120f}{p} \quad (4.1)$$

Sendo:

Ns: velocidade síncrona em rpm

f: frequência em hertz

p: número de polos

Os motores síncronos têm encontrado aplicação em máquinas de grande porte que operam com cargas variáveis e requerem uma velocidade constante. No entanto, a partida destes motores sempre foi um desafio, o que limita bastante sua utilização. No entanto, foram desenvolvidos novos métodos de partida e designs para

os motores síncronos, o que está impulsionando um renascimento na sua popularidade (NISTAL, 2014).

De acordo com Franchi (2014), o motor síncrono de corrente alternada pode ser considerado uma máquina de velocidade constante, levando em conta a frequência que alimenta o motor e o número de pólos. Da mesma forma, o funcionamento dos motores síncronos requer a aplicação de uma tensão alternada no estator do motor. A excitação do campo rotórico é realizada por meio de uma fonte de corrente contínua, que pode ser obtida diretamente de uma fonte externa ou de uma excitatriz conectada ao eixo do motor. Uma pequena porção do torque do motor é utilizada para gerar a corrente contínua necessária para excitar o campo.

4.4.3 Assíncrono

Segundo Nistal (2014), esse tipo de motor apresenta uma eficiência significativamente maior em relação ao assíncrono, sem perda de velocidade ou torque quando submetido a uma carga mais elevada. Trata-se de um motor de velocidade constante, além disso devido à ausência de escorregamento, não ocorre nenhum deslocamento de fase na corrente o que resulta em um valor nulo de energia reativa, eliminando assim a necessidade de capacitores para compensação. Desta forma o desempenho é aprimorado e o consumo também é reduzido.

Uma característica essencial da máquina assíncrona é a criação de um campo magnético rotativo no espaço entre os seus componentes. Esse campo é produzido através da utilização de um conjunto de bobinas trifásicas, alimentadas por um sistema de correntes senoidais trifásicas com amplitude e frequência determinadas (GRANADEIRO, 2009).

A grande maioria dos motores elétricos utilizados em aplicações industriais são do tipo assíncrono, principalmente devido a sua facilidade de construção, baixa manutenção e bom desempenho (NISTAL, 2014).

Um motor assíncrono experimentará uma redução na velocidade, ou seja, um aumento em seu escorregamento, quando submetido a uma carga súbita, o que também afetará seu torque, diminuindo à medida que a carga e o escorregamento aumentam. Ainda de acordo com Nistal (2014), a presença de uma grande massa metálica no rotor provoca um deslocamento de fase na corrente da rede. É por isso que esse tipo de motor requer compensação de energia reativa por meio do uso de

capacitores em paralelo. No entanto, se substituirmos a massa metálica por um ímã para formar o rotor, o motor resultante girará precisamente na velocidade síncrona.

4.5 CONTROLE E AUTOMAÇÃO

O controle manual é essencialmente baseado na existência de três componentes essenciais: um dispositivo de detecção (sensores), um dispositivo de controle (controlador) e um dispositivo de execução (atuador). O controle automático, por outro lado, é caracterizado pelo seu caráter autônomo. Essa designação é utilizada para descrever elementos capazes de executar ações pré-determinadas sem a intervenção direta do ser humano (CAMARGO, 2014).

De acordo com Brito (2019), para garantir que uma variável industrial permaneça dentro de limites aceitáveis pelo processo, é necessário utilizar um sistema de controle automático. Esse sistema realiza a medição da variável controlada usando um sensor e, em seguida, a compara com um valor de referência. Esse valor pode ser definido por um operador em um sistema de supervisão ou em um painel eletrônico. Por fim, são tomadas ações corretivas na variável manipulada por meio de atuadores e dispositivos de controle final. O controle pode ser feito em circuito aberto ou fechado.

Como visto em Brito (2019), um sistema de controle em malha aberta pode ser caracterizado como um sistema no qual não ocorre realimentação. Nesse tipo de sistema, espera-se que o movimento do motor siga fielmente o comando de entrada. Um exemplo de controle em malha aberta são os motores de passo.

Por outro lado, um sistema de controle em malha fechada é definido como um sistema no qual a saída é comparada com o comando, e o resultado dessa comparação é utilizado para corrigir a saída, de forma a fazer com que ela siga o comando (BRITO, 2019).

Portanto, poderíamos descrever a automação como a realização das etapas requeridas para que um dispositivo, uma máquina, um procedimento ou um sistema operem de forma independente ou com o mínimo de envolvimento humano necessário (CAMARGO, 2014).

5 PROGRAMAÇÃO

Na robótica, a programação refere-se ao processo de desenvolver e escrever algoritmos e instruções específicas para controlar o comportamento de robôs. A programação na robótica é essencial para permitir que os robôs executem tarefas complexas e interajam com o ambiente de maneira autônoma ou semi-autônoma.

Como descrito por Aguilar (2008) a programação refere-se ao ato de criar um conjunto de instruções que direcionam o funcionamento de um computador. Formalmente, um programa de computador é composto por um conjunto de instruções internas que são usadas pelo computador para gerar um resultado específico. O termo software é frequentemente utilizado para se referir a um programa ou a um conjunto de programas, sendo os dois termos intercambiáveis. Portanto, a programação é o processo de desenvolver um programa ou software.

Ao executar um programa, geralmente existem dois tipos de informações que interagem com o computador. O programa em si é uma forma de entrada, contendo as instruções que o computador deve executar e seguir. O outro tipo de entrada são os dados fornecidos ao programa, que consistem nas informações que o computador processará (AGUILAR, 2008).

Por exemplo, em um programa de correção de textos, tanto o programa quanto os dados são considerados entradas. A saída é o resultado ou resultados gerados quando o computador segue as instruções do programa. No caso de um programa de correção de sintaxe de um texto, a saída seria uma lista de palavras com erros de ortografia.

5.1 LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO

De acordo com AGUILAR (2008), as linguagens de programação têm a finalidade de escrever programas que facilitem a comunicação entre o usuário e a máquina. Para que as instruções escritas nas linguagens de programação sejam compreendidas pela máquina, são utilizados programas especiais conhecidos como tradutores, que podem ser compiladores ou interpretadores. Esses tradutores convertem as instruções escritas nas linguagens de programação em instruções escritas em linguagens de máquina, representadas por 0s e 1s (bits), que a máquina é capaz de compreender. Exemplos de linguagens compiladas são: C, C++, Erlang, Haskell.

Existem linguagens de programação que são interpretadas e funcionam de maneira diferente. Ao usar uma linguagem interpretada, o código-fonte é passado para o interpretador, que executa cada instrução diretamente, sem realizar uma tradução completa do código-fonte, como visto em SANTOS (2018). Alguns exemplos de linguagens interpretadas são Java, Python, Ruby e PHP.

Segundo SANTOS (2018), a principal vantagem de uma linguagem compilada é a velocidade de execução. Como o código-fonte é convertido diretamente em linguagem de máquina, a execução é mais rápida e eficiente em comparação com uma linguagem interpretada, especialmente em sistemas com alta complexidade. Por outro lado, as linguagens interpretadas não precisam ser totalmente traduzidas em código de máquina, pois cada instrução é executada diretamente pelo interpretador associado.

5.2 ARDUÍNO

Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto projetada para facilitar o desenvolvimento de projetos eletrônicos interativos. Consiste em uma placa de circuito impresso com um microcontrolador e uma interface de programação integrada, juntamente com uma linguagem de programação específica e uma IDE que simplifica a escrita, compilação e upload do código para a placa.

A linguagem de programação do Arduino é uma variante simplificada da linguagem C/C++, com funções e bibliotecas específicas para controlar os recursos da placa. Os programadores podem escrever seu código na IDE do Arduino, compilar e transferir o programa para a placa através de uma conexão USB.

Existem várias variantes de placas Arduino, cada uma com seu próprio processador e características exclusivas. Cada placa possui uma disposição específica de pinos, capacidade de memória, poder de processamento e periféricos disponíveis (SANTOS; GORGULHO JÚNIOR, 2014).

Essas diferenças entre as placas Arduino permitem que os usuários escolham a que melhor se adapta às suas necessidades, levando em consideração fatores como a quantidade de entradas/saídas digitais e analógicas necessárias, o tamanho do projeto e as funcionalidades adicionais desejadas. De acordo com Santos e Gorgulho Jr. (2014), alguns dos tipos de Arduino encontrados são:

- Arduino Uno: É a placa mais comum e amplamente utilizada. Possui 14 pinos de entrada/saída digital, 6 pinos analógicos, um microcontrolador ATmega328Pe uma interface USB.
- Arduino Mega: Esta placa é semelhante ao Arduino Uno, porém possui mais pinos digitais (54) e pinos analógicos (16), tornando-a adequada para projetos mais complexos que requerem um número maior de conexões.
- Arduino Nano: É uma versão menor do Arduino Uno, possui 14 pinos digitais, 8 pinos analógicos e é ideal para projetos onde é necessário um fator de forma compacto.
- Arduino Leonardo: Esta placa é baseada no microcontrolador ATmega32U4 e possui recursos adicionais como emulação de teclado e mouse, tornando-a adequada para projetos que requerem um controle de entrada mais avançado.
- Arduino Due: É uma placa baseada no microcontrolador ARM Cortex-M3 e possui desempenho superior em relação aos modelos anteriores. Possui 54 pinos digitais, 12 pinos analógicos e é compatível com tensões de 3,3V.

5.2.1 Shield

Segundo JÚNIOR;SILVA (2015), a padronização das características geométricas, posicionamento de pinos de entrada e saída, tensões e a capacidade de conexões rápidas através de conectores de barras de pinos são alguns dos grandes legados proporcionados pela plataforma Arduino. Essa padronização permite a conexão de periféricos à plataforma Arduino de forma simplificada.

Esses periféricos que são denominados shields, consistem em placas de circuito impresso que seguem os padrões geométricos e de pinos estabelecidos para fornecer energia e estabelecer comunicação com os periféricos adicionados, ampliando as funcionalidades disponíveis (JÚNIOR; SILVA, 2015).

Eles são projetados para adicionar funcionalidades extras e ampliar as capacidades do Arduino. Os shields geralmente possuem um formato que se encaixa perfeitamente nas dimensões físicas do Arduino, facilitando sua conexão.

Devido à existência dessa padronização, é possível acoplar uma shield sobre uma plataforma Arduino e, posteriormente, adicionar outra shield, eliminando a necessidade de utilizar cabos de interligação. Isso agiliza o processo de desenvolvimento de projetos em sua fase de concepção, segundo MONK (2017).

Cada shield possui uma funcionalidade específica, dependendo do seu propósito e design (LEMOS, 2013).

- Shield Ethernet: Permite que o Arduino se conecte a uma rede Ethernet, possibilitando a comunicação com a internet e a interação com serviços baseados na web.

- Shield Wi-Fi: Oferece conectividade sem fio Wi-Fi ao Arduino, permitindo a comunicação com dispositivos e redes sem fio.
- Shield Bluetooth: Permite que o Arduino se comunique com dispositivos externos usando a tecnologia Bluetooth, como smartphones, tablets e outros dispositivos habilitados para Bluetooth.
- Shield de controle de motores: Facilita o controle de motores de diferentes tipos, como motores de corrente contínua (DC) e motores de passo, permitindo o controle de movimento em projetos de robótica e automação.
- Shield de display LCD: Proporciona uma interface para conectar e controlar displays de LCD, permitindo a exibição de informações e interação visual em projetos.
- Shield de sensores: Inclui vários sensores embutidos, como sensores de temperatura, acelerômetros, giroscópios, entre outros, facilitando a captura de dados ambientais ou a detecção de movimento em projetos,

6 ESTUDO DE CASO

6.1 INTRODUÇÃO

A montagem de um braço robótico envolve a combinação de diferentes componentes mecânicos, eletrônicos e de software para criar um sistema funcional. Antes de iniciar o processo de montagem, é essencial entender os componentes básicos e a funcionalidade do braço robótico.

Um braço robótico típico consiste em várias articulações conectadas por juntas rotativas. Cada junta é controlada por motores e atuadores, que fornecem o movimento necessário para o braço. Além disso, sensores são incorporados ao sistema para fornecer informações sobre a posição necessária para controlar o braço robótico.

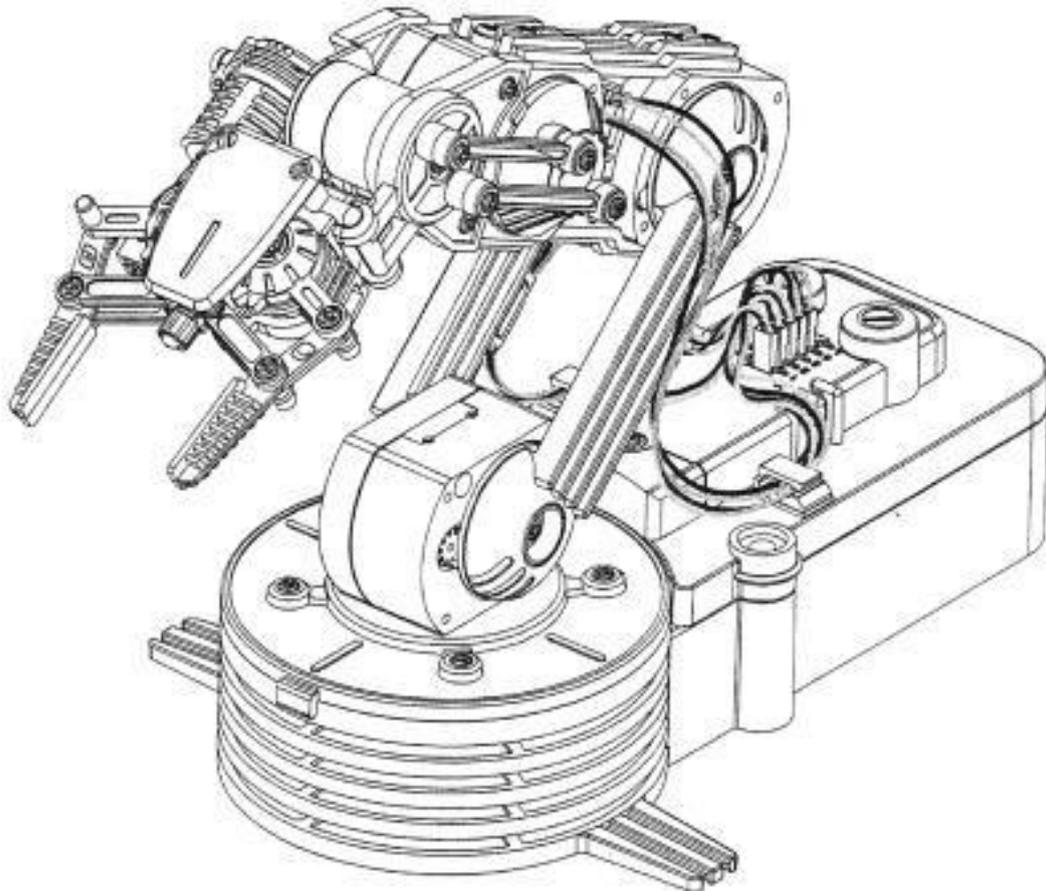
Após a montagem mecânica, o próximo passo é conectar os componentes eletrônicos e sensores ao sistema. Isso envolve a ligação dos motores e atuadores aos controladores, bem como a instalação dos sensores para fornecer informações em tempo real. A comunicação entre os componentes eletrônicos é estabelecida através de cabos e interfaces apropriadas.

Uma vez que a montagem mecânica e eletrônica estiver concluída, é necessário programar o braço robótico. A programação envolve o desenvolvimento de algoritmos e códigos que permitem controlar as diferentes juntas e executar as tarefas desejadas. Existem várias linguagens de programação e ambientes de desenvolvimento disponíveis para essa finalidade.

6.2 MONTAGEM

A montagem se deu a partir de um kit do “*Robotic Arm-Edge*”, um braço robótico constituído por 5 motores que controlam as articulações do robô. A figura 7 é uma ilustração retirada do manual de instruções desse braço robótico.

Figura 7: Robotic Arm-Edge

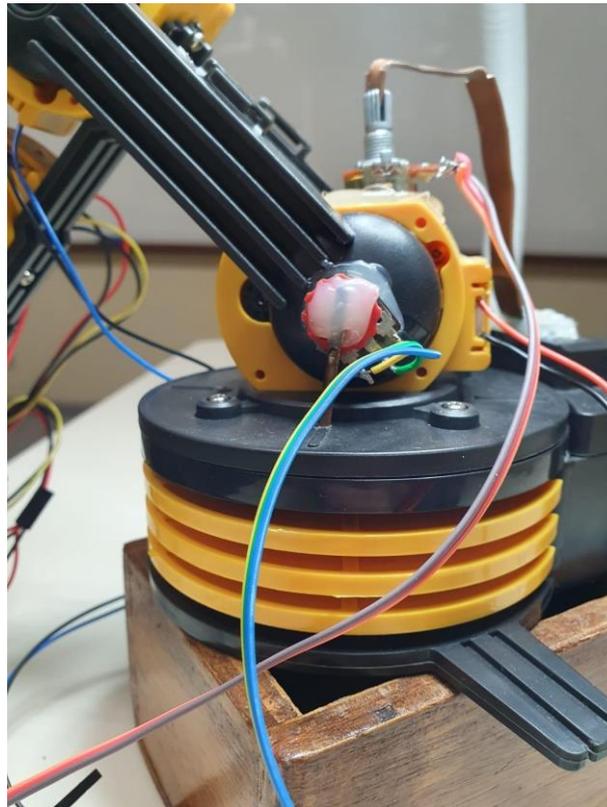


Fonte: Manual de Instrução “Robotic Arm-Edge”.

O objetivo inicial do projeto era acoplar potenciômetros, em cada um dos 5 motores do braço, para que fosse possível controlá-los através do Arduino. Os potenciômetros são usados para controlar a posição dos eixos do braço robótico.

Conectando um potenciômetro a cada eixo, utilizando fios para fazer as conexões. Na figura 8, é possível ver os potenciômetros inseridos no eixo dos motores 1 e 2.

Figura 8: Potenciômetros dos motores 1 e 2



Fonte: De autoria própria, 2023.

O potenciômetro é um dispositivo eletrônico que pode ser ajustado para variar a resistência elétrica em um circuito. Ele consiste em um resistor de três terminais. No contexto de motores, um potenciômetro pode ser utilizado como um dispositivo de controle para ajustar a velocidade ou posição do motor. Ele é conectado ao circuito de controle do motor e fornece um sinal elétrico proporcional à sua posição.

Ao variar a posição do terminal móvel do potenciômetro, a resistência elétrica no circuito de controle do motor é alterada. Isso resulta em uma mudança na tensão ou corrente fornecida ao motor, o que pode afetar sua velocidade ou posição. Portanto, o potenciômetro permite ajustar manualmente esses parâmetros, fornecendo uma forma simples de controle do motor. É importante observar que o uso de potenciômetros como dispositivos de controle direto para motores é mais comum em aplicações simples ou de baixa potência.

Durante a montagem foram encontrados alguns desafios, foi necessário adicionar alguns componentes. Além dos já citados, se fez indispensável o uso de 3 pontes H L293D, 1 placa universal.

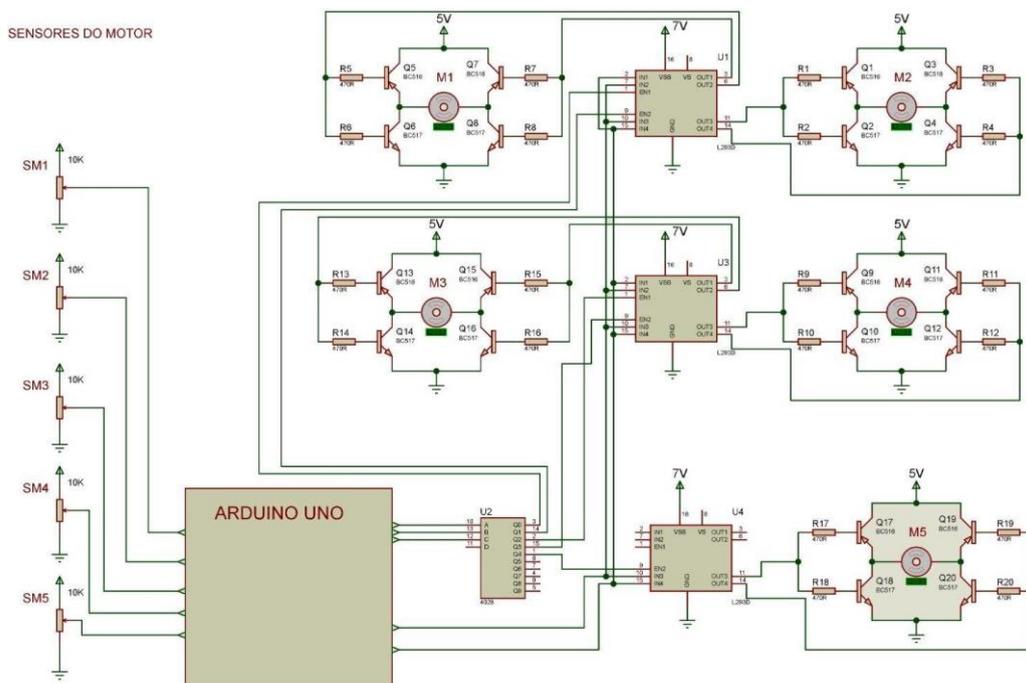
Cada ponte H é capaz de controlar 2 motores, e através da sua montagem

juntamente com a tabela verdade é possível ditar o direcionamento do motor (giro horário, giro anti-horário, e a parada do motor).

A L293D é um chip amplificador de potência que contém quatro drivers de saída alta corrente (dois para cada motor). Cada par de drivers é capaz de fornecer até 600 mA de corrente contínua, com picos de até 1,2 A. Além disso, o chip possui diodos de proteção internos, que ajudam a dissipar a energia gerada pelos motores quando eles são desligados, evitando danos ao circuito. Para utilizar a ponte H L293D, é necessário conectar os pinos corretamente aos componentes do motor (como os terminais do motor e a fonte de alimentação). Além disso, é preciso enviar sinais de controle adequados aos pinos de entrada do chip para determinar a direção e a velocidade desejadas.

Primeiramente, soldando os transistores Darlington na placa, seguindo o esquema de conexões fornecido pelo fabricante do transistor. Em seguida, conecta-se a ponte H à placa, seguindo o esquema de pinagem do chip. A partir disso, são feitas conexões para a alimentação, controle dos motores e os terminais de saída para os motores. Foi montado um circuito para representar como estarão dispostos todos os componentes e ligações, como pode ser observado na figura 9.

Figura 9: Esboço do circuito com os componentes



Fonte: De autoria própria, 2023.

No circuito da Figura 9 têm-se apresentado os 5 motores que controlam os movimentos do braço robótico, ligados aos componentes que serão explicados a seguir, essas conexões são necessárias para que seja possível acoplar o sistema na placa do Arduíno, que será responsável pelo controle de todo o robô.

Outro desafio encontrado durante a montagem foi que durante um dos testes de controle do motor, foi possível observar que a tensão suportada pelo chip (L293D) era inferior a tensão necessária para movimentar o motor do braço robótico, então se fez necessário conectar ao circuito resistores e transistores (BC516 e BC517).

Os transistores Darlington BC516 e BC517 são dispositivos de junção bipolar (BJT) usados para amplificação de sinais e comutação em circuitos eletrônicos. Eles são compostos por dois transistores bipolares em cascata, com o objetivo de aumentar a corrente de ganho total e melhorar a capacidade de comutação.

A aplicação principal dos transistores Darlington é amplificar sinais fracos. Por causa de sua alta corrente de ganho, eles são adequados para acionar cargas de alta potência a partir de um sinal de entrada de baixa potência. Eles são comumente usados em circuitos de controle de motores, fontes de alimentação, relés e em outras aplicações que exigem alta corrente e ganho.

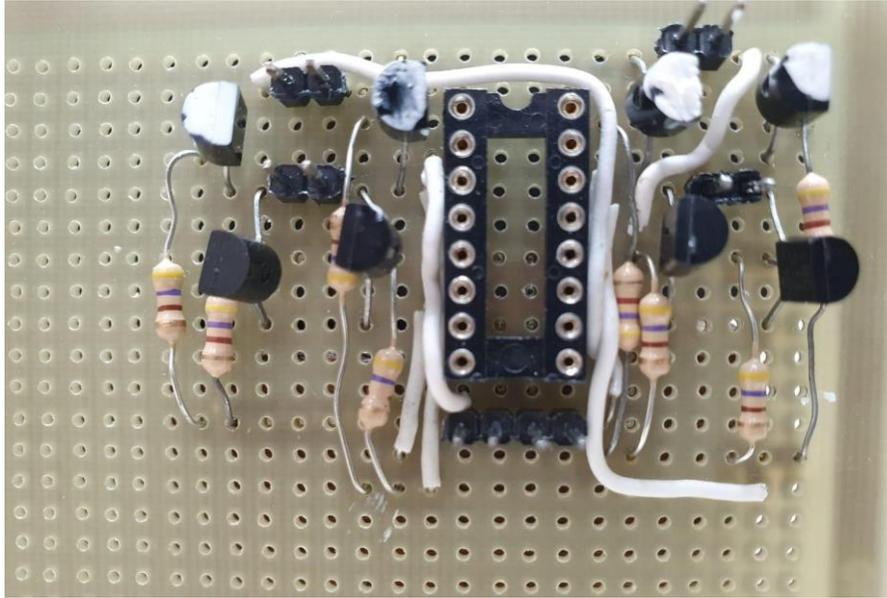
O BC516 e o BC517 são tipos específicos de transistores Darlington. Ambos são transistores NPN, o que significa que eles são constituídos por duas junções PN e têm polaridade negativa-positiva-negativa. O BC516 tem uma classificação de corrente contínua de coletor (IC) de até 1,5 A, enquanto o BC517 tem uma classificação de IC de até 2 A.

Já os resistores são componentes eletrônicos que têm a função principal de limitar ou controlar a corrente elétrica em um circuito. A resistência elétrica de um resistor determina o quanto ele "opõe" ou dificulta a passagem da corrente elétrica. Quando uma corrente flui através de um resistor, uma queda de tensão ocorre proporcionalmente à resistência.

Em um circuito eletrônico um resistor pode desempenhar alguns papéis, como: limitar a corrente em componentes sensíveis como diodos e LEDs, evitando que sejam danificados. Podem se comportar como divisor de tensão, proteção contra curto-circuito e outras funções.

Para cada motor foi montado um circuito, contendo 4 transistores BC516, 4 transistores BC517, e 8 resistores de 470 Ω , que posteriormente serão conectados à ponte H. Conforme mostrado na figura 10.

Figura 10: Circuito feito para controlar 1 motor



Fonte: De autoria própria, 2023.

6.3 DETALHAMENTO DA SOLUÇÃO

Após a montagem mecânica da estrutura do braço robótico, e feitos os testes para garantir que os 5 motores funcionam perfeitamente, o 2º passo foi a conexão dos potenciômetros nos eixos. Quando identificado o que estava impedindo o controle do braço, o 3º passo foi a montagem do circuito com todos os componentes citados.

Finalizada a montagem, o passo seguinte são as conexões elétricas. Conectando os potenciômetros e os motores ao circuito montado anteriormente, são utilizados fios para fazer essas conexões. É preciso seguir corretamente as especificações dos potenciômetros e dos motores, evitando inversões de polaridade ou conexões incorretas.

Por último é necessário conectar o circuito à uma fonte de energia para movimentar os motores, ajustar essa fonte de acordo com a tensão e a corrente adequada. E para controlar os motores, acoplar uma placa de Arduino.

Devido aos contratempos enfrentados em relação à disponibilidade dos materiais, e pelo projeto ter sido executado com um prazo curto, sem o tempo necessário para montagem, até a entrega desse trabalho não foi possível apresentar o controle pelo Arduino dos 5 motores de braço robótico. Este projeto é apenas o começo de uma jornada contínua de desenvolvimento. Baseados nos conceitos apresentados e com o desenvolvimento parcial, com o tempo e os recursos adequados, certamente será viável aprimorar e otimizar o controle dos motores do

braço robótico, abrindo caminho para projetos futuros mais sofisticados.

7 CONCLUSÃO

Este trabalho abordou o tema do braço robótico industrial, explorando seus componentes, motores, sensores e processo de montagem. Ao longo do estudo, foram discutidos os principais elementos que compõem um braço robótico, incluindo a estrutura mecânica, os motores responsáveis pelos movimentos, os sensores que permitem a interação com o ambiente e a montagem do sistema.

Foi evidenciado que os componentes essenciais de um braço robótico industrial são cuidadosamente projetados e integrados para garantir um desempenho confiável e preciso. A estrutura mecânica, normalmente composta por links articulados e juntas, proporciona a mobilidade necessária para realizar uma ampla variedade de tarefas.

Os motores, como os motores de passo ou servomotores, são responsáveis por fornecer a força e o controle para os movimentos do braço. Eles permitem uma movimentação precisa e repetitiva, essencial para operações industriais.

Além disso, os sensores desempenham um papel crucial no funcionamento do braço robótico, permitindo a detecção de objetos, a medição de forças, o monitoramento de posição e a interação com o ambiente. Sensores como encoders, sensores de força e sensores de proximidade são comumente utilizados para fornecer feedback em tempo real e garantir a segurança durante as operações.

A montagem de um braço robótico industrial envolve a integração cuidadosa de todos os componentes mencionados anteriormente. É um processo complexo que requer conhecimento técnico especializado e atenção aos detalhes. A precisão na montagem é fundamental para garantir o desempenho adequado do braço robótico e sua capacidade de cumprir as tarefas designadas.

Em suma, o estudo do braço robótico industrial revela a importância dos componentes, motores, sensores e montagem na construção de um sistema eficiente e confiável. O avanço contínuo nesta área tem impulsionado a automação industrial e contribuído para o aumento da produtividade e da segurança nos processos de fabricação. A compreensão desses elementos é essencial para o desenvolvimento e aprimoramento de novas aplicações e tecnologias robóticas, abrindo caminho para um futuro com maior eficiência e inovação na indústria.

ABSTRACT

Every day new technologies are used as an aid in the industrial environment, whether they are to increase production, improve quality and mainly to follow the development of the market. With the expansion of the industrial market, new challenges have emerged and increasingly shorter deadlines and better product quality are required. Increased competition also makes industries seek to modernize their equipment every day. In the factory floor environment, there is still concern about the conditions to which workers are exposed, activities that require a lot of concentration, repetition of the same movement, and even handling machines that present a high risk. In view of the above issues, this course conclusion work aims to present a way to minimize part of these problems with the use of automated robotic arms technology. Based on bibliographic research, the objective of this work is to present the main elements for the construction and assembly of a robotic arm controlled by Arduino.

Keywords: Industrial Robot. Automation. Sensors. Arduino.

REFERÊNCIAS

AGUILAR, Luis J. **Fundamentos de programação**. Grupo A, 2008. E-book. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580550146/>>. Acesso em: 10 maio 2023.

BRITO, Fábio. **Sensores e atuadores**. Editora Saraiva, 2019. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536531953/>>. Acesso em: 17 abr. 2023.

CAMARGO, Valter Luís Arlindo de. **Elementos de Automação**. Editora Saraiva, 2014. E-book. ISBN 9788536518411. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518411/>>. Acesso em: 23 maio 2023.

CARRARA, Valdemir. **Introdução à robótica industrial**. 2015. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3K5JPL8>>. Acesso em: 28 mar 2023.

DIAS, Rafael Thiago. **Dinâmica de manipulador robótico com 4 graus De liberdade**. 2022. Disponível em:
<<http://hdl.handle.net/11449/234818>> Acesso em: 06 maio 2023.

FRANCHI, Claiton M. **Acionamentos Elétricos**. Editora Saraiva, 2014. Disponível em:
<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536505602/>. Acesso em: 08 maio 2023.

FERNÁNDEZ, Mario. **Robótica Industrial**. 2022. *E-book*.

GRANADEIRO, Samuel Alexandre Magarreiro. **Controlo de Motor Assíncrono Aplicado a Veículos Elétricos**. 2009. Disponível em:
<http://marioloureiro.net/tecnica/electrif/Granadeiro_2009.pdf>. Acesso em: 06 abr. 2023.

LASMAR, Adriano Wilker Ribeiro. **Braço robótico microcontrolável**. 2014. Disponível em:
<<https://www.eng-automacao.araxa.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/152/2018/07/TCC-ADRIANO-LASMAR-MELHORIAS.pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2023.

MATARIC, Maja J. **Introdução à robótica**. Editora Blucher, 2014. E-book. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521208549/>>. Acesso em: 28 mar. 2023.

MONK, Simon. **Programação com arduino: começando com sketches**. (Tekne). 2017. E-book. Disponível em:
<<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582604472/>>. Acesso em: 15 maio 2023.

NISTAL, Florencio Jesús Cembranos. **Motores Síncronos**. 2014. Disponível em:
<https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/029001.pdf>. Acesso em: 04 maio 2023.

OLIVEIRA, Bruno Queres de et al. **Tipos e aplicações de sensores na Robótica**. 2017. Disponível em: <<file:///C:/Users/Vaio/Downloads/4403-Texto%20do%20artigo-12576-1-10-20170529.pdf>>. Acesso em: 17 abr. 2023.

OLIVEIRA, Cláudio Luís V.; ZANETTI, Humberto Augusto P. **Arduino Descomplicado: Como Elaborar Projetos de Eletrônica**. Editora Saraiva, 2017. Disponível em:
<<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518114>>. Acesso em: 15 maio 2023.

PAULO, Ana Carolina de; ALVES, Vinícius Medeiros. **Introdução à pesquisa de braços manipuladores robóticos industriais**. 2012. Disponível

em:

<<http://sistemaolimpo.org/midias/uploads/a862b824a6dbaaa5b65b8ccc37cb9290.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2023.

ROSÁRIO, João Maurício. **Robótica Industrial I - Modelagem, Utilização e Programação**. 2010. Disponível em:

<https://books.google.com.br/books?id=cbzXOdbJvYoC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 11 abr. 2023.

SANTOS, Vítor M. F. **Robótica Industrial**. 2004. Disponível em:

<http://lars.mec.ua.pt/public/LAR%20Projects/Humanoid/2013_EmilioEstrelinha/Dissemta%20%20Emilio_Estrelinha/Datasheets/RoboticalIndustrial-Sebenta2003-2004-v2a.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2023.

SANTOS, Winderson Eugênio dos; JÚNIOR, José Hamilton Chaves G. **Robótica Industrial: Fundamentos, tecnologias, programação e simulação**. 2014. Editora Saraiva, 2015. E-book. Disponível em:

<<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536530789/>>. Acesso em: 11 abr. 2023.

SOLOMAN, Sabrie. **Sensores e Sistemas de Controle na Indústria**. 2ª edição. 2012. E-book. Disponível em:

<<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2807-1/>>. Acesso em: 17 abr. 2023.

STEFAN JÚNIOR, Sérgio Luiz; SILVA, Rodrigo A. **Automação e Instrumentação Industrial com Arduino - Teoria e Projetos**. Editora Saraiva, 2015. E-book.

Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518152/>>. Acesso em: 15 maio 2023.

TANNUS, Alexandre Moraes. **Arduino: Servomotores**. 2018. Disponível em: <

<http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/1860/1/ARDUINO%20-%20SERVOMOTORES.pdf>>. Acesso em: 17 abr. 2023.

UNESP. **Servo Motor**. 2013. Disponível em:

<<https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/aula-4---servomotor-13-03-2013-final.pdf>>. Acesso em: 17 maio 2023.