



João Victor Reichert

**PROGRAMAÇÃO DE ROBOS INDUSTRIAIS EM UM SOFTWARE
COMPUTACIONAL**

Horizontina - RS
2021

João Victor Reihcert

**PROGRAMAÇÃO DE ROBOS INDUSTRIAIS EM UM SOFTWARE
COMPUTACIONAL**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia de Controle e Automação Faculdade Horizontina, sob a orientação do Professor Paulo Flores, Me.

Horizontina - RS

2021

FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA
CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o trabalho final de curso

“Programação de robôs industriais em um software computacional”

**Elaborada por:
João Victor Reichert**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia de Controle e Automação

Aprovado em: 02/07/2021
Pela Comissão Examinadora

Me. Paulo Flores
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador

Dr. Geovane Webler
FAHOR – Faculdade Horizontina

Dr. Fauzi Shubeita
FAHOR – Faculdade Horizontina

**Horizontina - RS
2021**

Dedicatória

Á minha família por todo apoio e confiança, me apoiando nos momentos de dificuldades que mais precisei. E em especial a minha mãe, que também faz papel de pai, por toda força, luta e amor que teve para me tornar a pessoa que eu sou hoje, tudo o que tenho eu devo a ela.

AGRADECIMENTO

À Deus, por me abrir portas e caminhos nos momentos que precisei e dando força para passar por dias difíceis.

À instituição, à todos professores por todos os ensinamentos e os colegas que compartilharam semestres ao meu lado durante esses cinco anos. Meu muito obrigado também, ao meu orientador, por todo suporte e apoio na realização do presente trabalho.

E a minha família, por acreditarem no meu caráter, na pessoa que eu sou e por me ajudarem a concretizar meu sonho de graduação.

“A felicidade não se resume na ausência de problemas, mas sim na sua capacidade de lidar com eles.”

(Albert Einstein)

RESUMO

O presente trabalho visa apresentar a programação e a simulação de um ambiente industrial com dois robôs industriais, o primeiro com a função de pegar e posicionar objetos e o segundo com a tarefa de soldar esses objetos em um conjunto localizado em um posicionador. O trabalho foi realizado devido a busca de métodos e ferramentas capazes de auxiliar empresas em busca de um processo automatizado, padronizado e capaz de ser gerenciado e controlado precisamente. A simulação e programação foi desenvolvida através do software *RoboDK*, um software capaz de planejar áreas industriais sendo eficaz em atender as necessidades na montagem de uma simulação planejada com robôs industriais, possibilitando escolher diferentes robôs, com diferentes ferramentas como garra, pistola de solda, pistola de pintura, entre outros. O trabalho resultou pela montagem do ambiente industrial com dois robôs industriais que foram capazes de realizar e de se adequarem as situações pré-definidas de pegar, posicionar e soldar objetos. Com a metodologia aplicada, alcança-se a previsão dos comportamentos dos manipuladores mecânicos durante todo seu processo. Logo, com o presente projeto, busca-se contribuir para futuras pesquisas ou aplicações de soluções para os robôs, além de apresentar o software *RoboDK* para alunos com interesse em se aprofundar no conhecimento e estudo, além de empresas que buscam métodos diferentes de otimizar seus ambientes industriais por métodos computacionais e controlados.

Palavras-chave: Robôs industriais, Programação, *RoboDK*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo célula robotizada na montagem de veículos	18
Figura 2 - Método PDCA	19
Figura 3 - Componentes de um robô.....	20
Figura 4 - Representação de um manipulador mecânico	21
Figura 5 - Tipos de juntas.....	22
Figura 6 - Configurações geométricas dos manipuladores	22
Figura 7 - Formas de energia sensor	23
Figura 8 - Robô por acionamento hidráulico	24
Figura 9 - Robô por acionamento pneumático	25
Figura 10 - Robô por acionamento elétrico	26
Figura 11 - Controlador de um robô	27
Figura 12 - Efetuadores finais de um robô	27
Figura 13 - Garra de dois dedos.....	28
Figura 14 - Tocha de solda.....	29
Figura 15 - Precisão para um robô.....	30
Figura 16 - Repetibilidade para um robô	30
Figura 17 - Representação robôs cartesianos.....	31
Figura 18 - Representação robôs cilíndricos	32
Figura 19 - Representação robôs esféricos	33
Figura 20 - Representação robôs articulados.....	34
Figura 21 - Representação robôs articulados.....	35
Figura 22 - Ciclo de Vida do Projeto de Menezes	36
Figura 23 - Robô Motoman GP12	38
Figura 24 - Garra de dois dedos.....	40
Figura 25 - Robô pegando peça.....	41
Figura 26 - Tocha de solda.....	42
Figura 27 - Soldagem no projeto	43
Figura 28 - Posicionador ABB	44
Figura 29 - Posicionador sustentando o conjunto	46
Figura 30 - Conjunto Soldado.....	46
Figura 31 - Pedestal para os robôs	47
Figura 32 - Mesa para apoiar as peças.....	47

Figura 33 - <i>Layout</i> do projeto	48
Figura 34 - Alcance máximo do robô de solda	49
Figura 35 - Soldagem industrial com robôs	50
Figura 36 - Identificação de elos e juntas	53
Figura 37 - identificação das coordenadas de referência do robô.....	54
Figura 38 - Posições de X, Y e Z no RoboDK	57
Figura 39 - Posições dos parâmetros do robô com a garra	59
Figura 40 - Posições dos parâmetros do robô de solda	60
Figura 41 - Sequência tarefas <i>pick and place</i>	62
Figura 42 - Trajetórias robô com garra.....	63
Figura 43 - Sequência tarefas de solda.....	63
Figura 44 - Trajetória robô de solda	64
Figura 45 - Programação Geral do projeto	66
Figura 46 - Rotação posicionador	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados técnicos da tocha	42
Tabela 2 - Especificações IRBP L 1000	45
Tabela 3 – Parâmetros D-H para robôs com 6 GDL	52
Tabela 4 - Parâmetros D-H para robôs com 6 GDL	54
Tabela 5 - Parâmetros trajetória robô com garra.....	58
Tabela 6 - Parâmetros trajetória robô de solda	60
Tabela 7 - Programação giro posicionador	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Especificações robô Motoman	39
Quadro 2 - Dados técnicos da Garra de 2 dedos	40

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 TEMA	13
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA	14
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA	14
1.4 HIPÓTESES	14
1.5 JUSTIFICATIVA	15
1.6 OBJETIVOS	16
1.6.1 Objetivo Geral	16
1.6.2 Objetivos Específicos	16
2 REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1 REVOLUÇÃO INDUSTRIAL	17
2.2 SURGIMENTO DA ROBÓTICA	17
2.3 CONTROLE DE PROCESSOS	18
2.4 ROBÔS INDUSTRIAIS	19
2.5 ELEMENTOS DE UM ROBÔ	20
2.5.1 Manipuladores Mecânicos	21
2.5.2 Sensores	22
2.5.3 Atuadores	23
2.5.4 Controlador	26
2.5.5 Efetuador final	27
2.6 PRECISÃO E REPETITIVIDADE	30
2.6.1 Precisão	30
2.6.2 Repetitividade	30
2.7 AMBIENTE DE TRABALHO	31
2.8 TIPOS DE ROBÔ	31
2.8.1 Robôs cartesianos	31
2.8.2 Robôs cilíndricos	32
2.8.3 Robô esférico	33
2.8.4 Robô articulado	34
2.8.5 Robô SCARA	34
3 METODOLOGIA	36
3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS	36
3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	37
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	38
4.1 CARACTERIZAÇÃO ESPAÇO INDUSTRIAL	38
4.1.1 Robôs Motoman	38
4.1.2 Posicionador ABB	44
4.1.3 Demais componentes do ambiente de trabalho	46
4.1.4 Determinação do Espaço de trabalho	48
4.2 MODELAGEM MATEMÁTICA	50
4.2.1 Modelagem Cinemática do Robô	50
4.2.2 Escolha dos sistemas de referência dos elos por Denavit-Hatenberg	51
4.2.3 Parâmetros de Denavit-Hartenberg	51
4.2.4 Cálculo da posição	53
4.3 FUNCIONAMENTO	58
4.3.1 Planejamento das trajetórias	58
4.3.2 Programação dos Robôs Industriais	61
5 CONCLUSÃO	68

REFERÊNCIAS.....	69
APÊNCIDE A – CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO PARA PEGAR E POSICIONAR..	71
APÊNCIDE B – CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO PARA SOLDAR	72
APÊNCIDE C – CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO PARA ATIVAR SOLDA.....	73
ANEXO A – DATA SHEET ROBO MOTOMAN GP12	74
ANEXO B – DATASHEET POSICIONADOR IRBL 1000.....	75
ANEXO C – DATASHEET PISTOLA DE SOLDA	
AIROB.....	75

1 INTRODUÇÃO

A revolução industrial, a globalização, o surgimento de novas tecnologias, acarretou em uma vasta mudança no setor industrial nas últimas décadas, até pela razão de que a população mundial cresceu, trazendo diferentes gostos, interesses pessoais na variedade de produtos, além de exigências de melhores qualidades e preços. Logo, nota-se que a pressão das empresas para atender a essa população exigente aumentou absurdamente, com isso as indústrias para não perderem a competitividade no mercado com suas concorrentes necessitam estarem de acordo com novas atualizações, inovações, técnicas que surgem no mundo atual.

Cita-se por exemplo a automação como um fator muito influente no mundo industrial, por exemplo, em razão que ela trouxe inúmeras vantagens para as empresas, dentre as quais o auxílio em atividades repetitivas e perigosas, melhora e aumento da produção, agilidade nos processos, redução de custos, entre outros. A inserção de robôs industriais também é um fator responsável por melhorar a situação das empresas, podendo substituir ou trabalhar ao lado de operadores em tarefas desgastantes que exigem maior precisão, por exemplo, podendo ser utilizados em diversas áreas de uma indústria, tal como solda, montagem, pintura, separação de materiais, entre outros. Dito isso, o presente projeto focará na elaboração da simulação computacional em um *software* da operação de dois robôs industriais destinados ao processo de soldagem peças em produção serial. Através da montagem da operação de trabalho, será realizado o estudo e pesquisa bibliográfica com o intuito de gerar a modelagem matemática dos robôs utilizados, além aplicar a programação necessária para a realização a simulação dos processos e a análise das trajetórias e posições realizadas pelos robôs.

De modo geral, o projeto visa apresentar a simulação computacional dos parâmetros necessários para a implementação da programação *offline* de robôs, relatando a importância da utilização de uma ferramenta de utilização em computadores para organizar melhor o planejamento da implementação de robôs industriais e ainda pretende-se desenvolver a modelagem matemática adequada ao robô, tal qual a sua programação para a execução das tarefas de trabalho.

1.1 TEMA

Programação de robôs industriais aplicados em um software computacional.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O presente trabalho delimita-se na simulação e programação de um ambiente robótico que baseou no estudo e na análise de uma área industrial de uma empresa localizada no município de Santa Rosa, noroeste do estado do Rio Grande do Sul, que utiliza robôs industriais para soldar suas peças. Para tal projeto, empregou-se dois robôs Motoman GP12, um com uma garra no efetuador final e outro com uma tocha de solda, ambos caracterizados por serem robôs de 6 graus de liberdade. Sendo relevante ainda para a realização do presente trabalho, aspectos como a modelagem matemática, a programação necessária para a execução das tarefas e ainda a análise das trajetórias de ambos robôs pela região de trabalho atuante.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

O elevado crescimento industrial nos últimos anos, permite as grandes empresas que busquem novas tecnologias, novos métodos, ideias de ponta, disponíveis no mercado. Atrelado a isso, o aumento da competitividade entre as próprias grandes indústrias acelerou ainda mais a procura e a exigência das empresas em encontrar e utilizarem as melhores tecnologias e aplicarem as últimas inovações em seu ambiente fabril, com o intuito de qualificarem seus processos produtivos.

A procura das novas tecnologias se deve diretamente a necessidade de atender clientes cada vez mais exigentes, que buscam por produtos variados, com boa qualidade e bom preço, e para chegar a tal resultado de produção as empresas tem cada vez mais inseridos processos automatizados, como por exemplo a utilização de robôs industriais para melhorarem ainda mais seus processos, no intuito de produzir mais e em menor tempo, mas sem perder a qualidade.

Com base no exposto, o problema de pesquisa constitui-se em resolver a seguinte pergunta: Que ferramentas podem auxiliar na automatização de processos robóticos? Por que simular a área de trabalho industrial em um software computacional é vantajoso? Quais resultados ele pode trazer?

1.4 HIPÓTESES

Uma hipótese é uma afirmação que introduz uma questão de pesquisa e propõe um resultado esperado. A hipótese pode ser provada ou refutada como

resultado do projeto. Ela é a suposição de algo que pode (ou não) se concretizar ao final do projeto, correspondente a possibilidades de explicação sobre determinada causa de estudo.

Elas têm aspecto afirmativo, porém duvidoso, que tentam responder ao problema de pesquisa. Essas ideias surgem no início ou no decorrer da pesquisa investigativa, tendo como base os conhecimentos prévios que se têm sobre o tema do projeto a ser desenvolvido.

As seguintes afirmações têm o intuito de supor possíveis ideias de como poderia se chegar à resposta da pergunta proposta no problema de pesquisa, são suposições que podem chegar a se tornar verdadeiras ou não.

- a) Através da modelagem da matemática desse robô será possível prever os movimentos que ele pode fazer e através da programação será possível controlar e mandar o que ele deve fazer.
- b) Programando o robô será possível ter o domínio de toda a mecanização e comandos. Não sendo necessário a modelagem do robô.
- c) Exclusivamente modelando o robô será possível antecipar seus movimentos e realizar a soldagem de rotores. Não sendo necessário uma nova programação.

1.5 JUSTIFICATIVA

Sabe-se que os robôs industriais são extremamente importantes em processos considerados perigoso ou atividades que necessitam de esforços repetitivos, com alta precisão, resistência, rapidez e força. Além disso, eles são máquinas manipuladoras, com graus de liberdade, controlada automaticamente, reprogramável e multifuncional. Robôs industriais podem mover materiais, ferramentas, dispositivos e diversas peças. A escolha de um bom um robô industrial acarretará no futuro da indústria, podendo aumentar a produtividade e reduzir os custos da empresa, se implementado da maneira correta.

A utilização de robôs de solda na produção industrial gera inúmeras vantagens, tais como o aumento significativo, a longo prazo, da produção de componentes, além da redução de custos para operação. A repetibilidade do processo é um cuidado importante que se deve ter, pois através do processo automatizado pelo robô, se torna muito mais confiável sem variações de resultados,

um operador, por exemplo, não precisa ficar o tempo inteiro de olho no robô, se preocupando se ao final do processo a soldagem será feita corretamente, porque se o robô programado corretamente, a peça estará com qualidade boa ao final da tarefa. Outro fator importante é a segurança, que é um benefício do robô de solda, que facilita o dia a dia na fábrica e executa os procedimentos com máxima precisão.

Visando a otimização do processo robótico empregado, a ideia do trabalho é simular tal processo industrial automatizado, apresentando as ferramentas necessárias da sua realização através de um software computacional no intuito de constituir o melhor controle para o processo, possibilitando planejar a melhor programação e melhores trajetórias de deslocamentos para os robôs utilizando, além de estudar e analisar as características de movimento dos robôs com aplicações de cálculos para sua modelagem matemática. Fatores estes, que irão contribuir para pesquisas e estudos futuros referente ao RoboDK, o software utilizado no trabalho, que é uma excelente alternativa para empresas que buscam a utilizarem robôs industriais em seu ambiente fabril, pois este software auxilia na simulação e na montagem da melhor representação da área de trabalho, definindo melhores métodos de planejamento, de programação, trajetórias antes de comprar o robô ideal.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral programar robôs industriais em um software computacional.

1.6.2 Objetivos Específicos

- a) Desenvolver a modelagem matemática dos robôs;
- b) Estudar as melhores trajetórias de deslocamento;
- c) Aplicar e analisar a melhor programação para implementação;
- d) Realizar pesquisas bibliográficas referentes ao assunto;

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

Um marco importante no mundo que ocasionou o avanço de novas tecnologias e da automação industrial foi a Revolução Industrial. Ao contrário do que ocorreu na Idade Média, na qual o artesanato era a principal forma de produção, no século XVIII a necessidade da burguesia inglesa de aumentar o seu volume de produção, porém sem perder os seus lucros e com uma produção de baixo custo, devido ao crescimento populacional no mundo (CAPELLI, 2008).

Ressalta-se que a Revolução Industrial dominou o mundo devido a uma necessidade de maior quantidade e de variedades de produtos, acarretando no avanço tecnológico global, além da urbanização, industrialização dos países, aumento da capacidade produtiva, entre outros.

As máquinas oriundas dessa revolução chegaram para substituir o homem, para automatizar os processos, e devido a competitividade das grandes indústrias em buscar tecnologias de ponta no mercado, o preço do produto final reduziu. Porém, essa revolução exige atualmente de profissionais que sejam capacitados e qualificados para controlar e gerenciar essas máquinas, devido à necessidade das empresas de reduzir os custos de produção, mas sem perder a qualidade do produto (CAPELLI, 2008).

2.2 SURGIMENTO DA ROBÓTICA

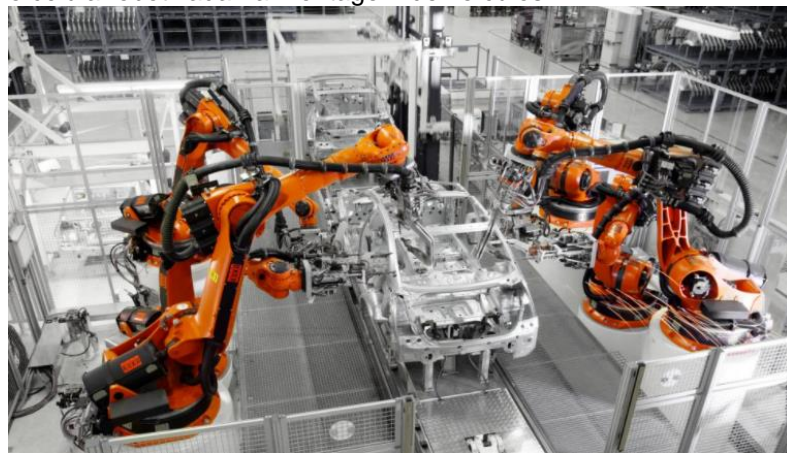
O escritor checo Karel Capek foi o primeiro a introduzir a primeira ideia para robôs, em sua peça teatral (1921), para denominar máquinas criadas para substituir as pessoas, que realizam trabalho escravo e eram de formas semelhantes à humana. O primeiro robô industrial foi o *Unimate*, um braço robótico, desenvolvido por George Devol, instalado numa fábrica da *Ford Motor Company*, em 1961. Nos anos 70, o Japão passou a produzir robôs industriais similares. As primeiras máquinas robóticas eram mais simples e movimentavam apenas algumas articulações do seu corpo (SANTOS, 2015).

Importante ressaltar que antigamente os robôs foram desenvolvidos para executar tarefas comuns do cotidiano, atualmente percebe-se a sua utilização em

indústrias, podendo ser usados nas áreas de montagem, solda, pintura, fundição de materiais, movimentação de peças, leitura de imagem, entre outros.

Segundo Mataric (2014), robô é um sistema autônomo que pode sentir o seu ambiente e atuar sobre, conseguindo sentir o espaço que o cerca por meio de sensores e sendo capaz de se adaptar com eficiência em diferentes setores de uma indústria. A Figura 1 apresenta um exemplo de robôs trabalhando em uma indústria em uma montadora de veículos.

Figura 1 – Exemplo célula robotizada na montagem de veículos



Fonte: Rosario, 2012

Atualmente, as grandes indústrias, principalmente automobilísticas, buscam constantemente o desenvolvimento de melhores máquinas disponíveis no mercado, os robôs estão disponíveis a elas para operarem em situações de insalubridade, risco de vida ou apenas de tarefas repetitivas, ou seja, eles são utilizados com o intuito de melhorar e facilitar o trabalho das indústrias, podendo trabalhar ao lado de outros profissionais.

2.3 CONTROLE DE PROCESSOS

Para o êxito da implementação de robôs industriais é vital o controle e a supervisão desses processos industriais, para isso necessita-se de profissionais qualificados e capacitados que possam programar e adaptar determinado robô ao local de trabalho, sendo essencial a utilização de softwares e equipamentos adequados para tal aplicação (GARCIA, 2017).

Apesar das inúmeras vantagens da automatização dos processos, com a utilização de robôs, algumas indústrias tem algum impasse na hora de seu investimento devido a seu alto custo de compra, instalação e manutenção. Porém, é

um investimento que será justificado a longo prazo, seja por aumento de velocidade de produção, maior flexibilidade de trabalho, além de maior precisão e qualidade de seus produtos.

Figura 2 - Método PDCA



Fonte: Adaptação de Stewart (2015)

Conforme a figura 2, adaptada do método PDCA (*Plan – Do – Check – Act*), representa o planejamento que se necessita para a eficiência no controle de processos:

- **Planejar:** objetivos, metas, estratégias;
- **Desempenhar:** treinar, executar, coletar dados;
- **Checar:** desvios, previsões, informações;
- **Ajustar:** correções, melhorias.

2.4 ROBÔS INDUSTRIAIS

De origem tcheca, a palavra robô significa “trabalho obrigatório”, que justifica-se seu significado pelo fato de que muitos destas máquinas estão inseridos em tarefas repetitivas, exigindo alto grau de precisão e de rigidez, principalmente em indústrias automotivas (MATARIC, 2014).

Algumas condições devem ser consideradas na hora de adoção de robô, tais como: número de empregados substituídos pelo robô; número de turnos de trabalho; custo de projeto; custo manutenção; custo equipamentos extras; impacto produtivo do robô em longo prazo. devido aos lucros obtidos em longo prazo do robô, se fazem viáveis tal investimento automotivo. Uma das principais vantagens com relação ao trabalho humano é que os robôs, por exemplo, não se cansam, trabalham

igualmente no mesmo padrão para frio e calor, não necessitando condições especiais, como silêncio, ar condicionado e luz ambiente de qualidade. Entretanto, assim como qualquer funcionário novo, precisam serem ensinados a operarem nesse local de trabalho, buscando um aprendizado, memória e uma padronização de movimentos.

Outro fator importante é que os robôs não se cansam, trabalham igualmente no mesmo padrão para frio e calor, não necessitando condições especiais, como silêncio, ar condicionado e luz ambiente de qualidade. Entretanto, assim como qualquer funcionário novo, precisam serem ensinados a operarem nesse local de trabalho, buscando um aprendizado, memória e uma padronização de movimentos (SANTOS, 2015).

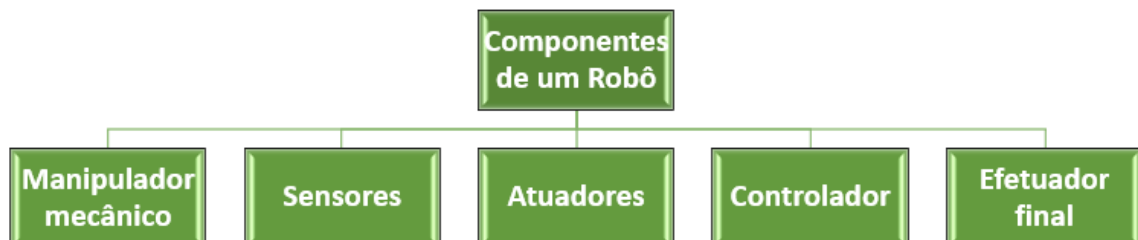
As tarefas de um robô pode ser classificadas por 3 tipos:

- Movimentação - classificação, colocação e retirada de peças;
- Medição – inspeção de objetos, para localização de contornos ou detecção de falhas;
- Manipulação – alteração no material, como soldagem, pintura, em cortes a laser, entre outros.

2.5 ELEMENTOS DE UM ROBÔ

Um robô industrial é composto por vários elementos e sistemas integrados, que juntos proporcionaram os movimentos que foram estabelecidos para executar alguma tarefa, que são: manipuladores mecânicos (base, elos e juntas), sensores, atuadores, controlador e o efetuator final, conforme a Figura 3.

Figura 3 - Componentes de um robô



Fonte: Autor, 2021

2.5.1 Manipuladores Mecânicos

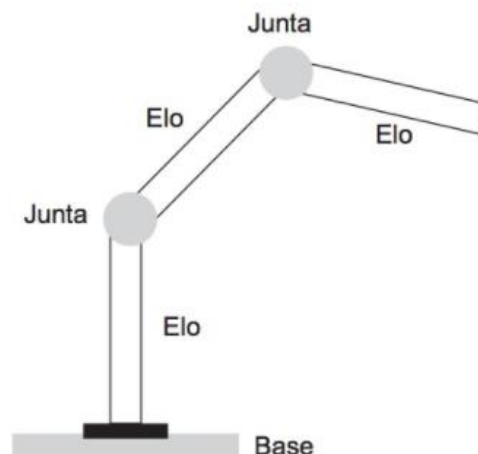
Segundo a RIA (*Robotic Institute of America*), um manipulador é multifuncional, desenvolvido para movimentar objetos, ferramentas ou dispositivos específicos em movimentos variáveis programáveis para a realização de diversas tarefas.

Conforme consta na ISO 8373, “manipuladores mecânicos são reprogramáveis, com multifunções, podendo ser fixo ou móvel, utilizados especificamente em aplicações industriais”.

São dispositivos que buscam se assemelhar os movimentos do braço humano, tecnicamente denominados de braços articulados, ou no ambiente industrial apenas de braço robótico, quando possuem movimentos programáveis e automáticos. Possuindo sensores, atuadores e um controlador eletrônico para seus movimentos (FILHO, 2014).

A estrutura mecânica de um manipulador é formada por uma base, juntas (ou articulações) e elos (ou ligações) e o efetuator final, podendo ser uma garra ou mesmo uma ferramenta. A seguir na Figura 4, apresenta-se a estrutura básica de um manipulador.

Figura 4 - Representação de um manipulador mecânico



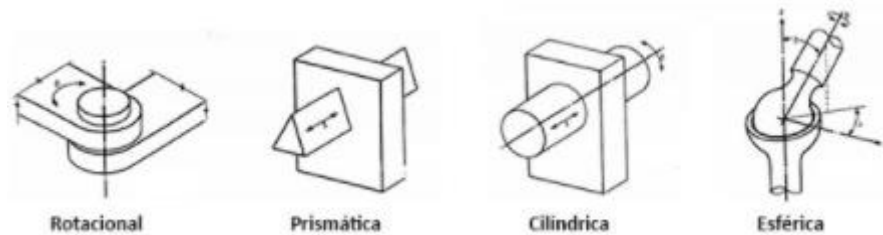
Fonte: Filho, 2014

A base tem por função em dar sustentação a toda estrutura, fixada no chão da fábrica ou em um suporte (SANTOS, 2015).

Os elos são conectados pelas juntas, fornecem rigidez ao manipulador, mas também possuem certo grau de flexibilidade. Comparado a um braço robótico, seriam o braço ou o antebraço de uma pessoa (SANTOS, 2015).

As juntas conectam os elos e são elas que dão liberdade de movimento aos robôs. Comparado a uma pessoa, as juntas representariam o cotovelo ou o ombro. O número total de graus de liberdade para este manipular. Conforme a figura 5, as juntas podem ser do tipo rotacional, prismática, cilíndrica ou esférica.

Figura 5 - Tipos de juntas

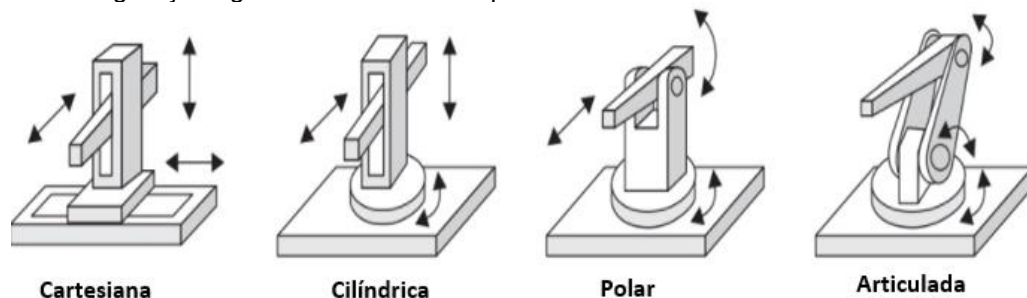


Fonte: Filho, 2014

As dimensões que o manipulador pode se movimentar são chamadas de graus de liberdade (GDL). O número de movimentos individuais das articulações irá constar a versatilidade do robô. A configuração mais complexa é de 6 graus de liberdade, sendo 3 graus para posicionar o efetuador final e 3 para orientá-lo (MATARIC, 2014).

Os manipuladores podem ainda ser classificados de acordo com sua configuração física, que define o seu formato geométrico, representados na Figura 6.

Figura 6 - Configurações geométricas dos manipuladores



Fonte: Filho, 2014

2.5.2 Sensores

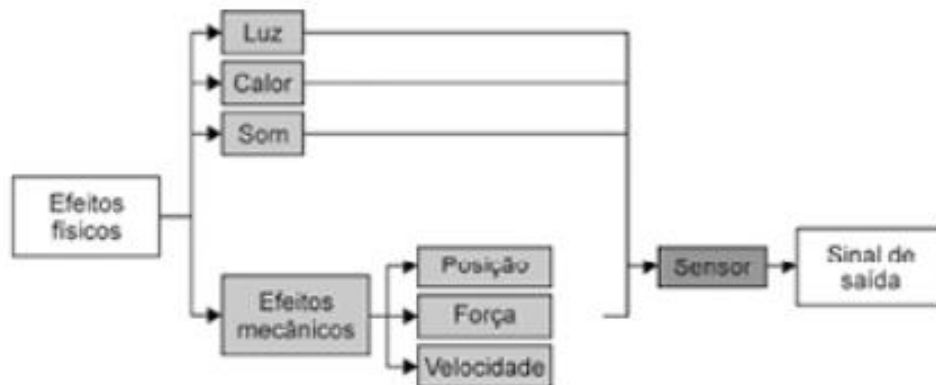
São dispositivos que detectam e geram informações sobre o equipamento e do meio onde estão inseridos, possibilitando o robô a estimar seu deslocamento até

objetos do ambiente, auxiliando a identificar a presença de pessoas e de reconhecer comandos gestuais, vocais, entre outros (ROMERO, 2014).

Os sensores mais utilizados nas indústrias de manufatura são os sensores de presença ou proximidade, para identificar distâncias para objetos ou a ausência do mesmo. Sendo mais destacados os sensores: ópticos, magnéticos, ultrassônicos, capacitativos e indutivos.

A Figura 7 apresenta fatores que influenciam no sinal de saída do sensor, que pode ler informações a respeito de luz, calor, som, entre outros. E para o caso do projeto, para a leitura dos robôs, foram utilizados sensores de posição e velocidade.

Figura 7 - Formas de energia sensor



Fonte: Tomazini, 2011.

2.5.3 Atuadores

São dispositivos que modificam uma variável controlada, tendo a função de converter a energia elétrica, hidráulica ou pneumática, em potência mecânica. Eles recebem sinais provenientes do controlador e atuam no sistema. Como exemplo de atuadores pode-se citar: válvulas, relés, cilindros, motores e solenoides (TOMAZINI, 2011).

2.5.3.1 Acionamento hidráulico

O acionamento hidráulico foi utilizado no robô *Unimate* (primeiro robô industrial do mundo), por isso é considerada primeira forma de acionamento empregada em robôs industriais. Para Santos (2015), no acionamento hidráulico a sua unidade pode ser composta por motor de movimento rotativo ou cilindro para movimento deslizante.

Esse dispositivo compressor faz com que a pressão do fluido hidráulico (normalmente óleo) seja elevada a patamares capazes de produzir movimento nos motores. O controle do movimento se dá através de válvulas que regulam a pressão do óleo em duas extremidades do cilindro, impulsionando o pistão (SANTOS, 2015).

Figura 8 - Robô por acionamento hidráulico



Fonte: Santos, 2015

Entre as principais vantagens do acionamento hidráulico em robôs, pode-se citar: maior disponibilidade de força/torque; mantém a mesma força para uma grande faixa de variação de velocidade e média precisão de posicionamento. Porém, há algumas desvantagens desse acionamento, tais como: requer fonte de energia mais cara; constante manutenção; sujeita a vazamento de óleo (potencialmente poluente) (SANTOS, 2015).

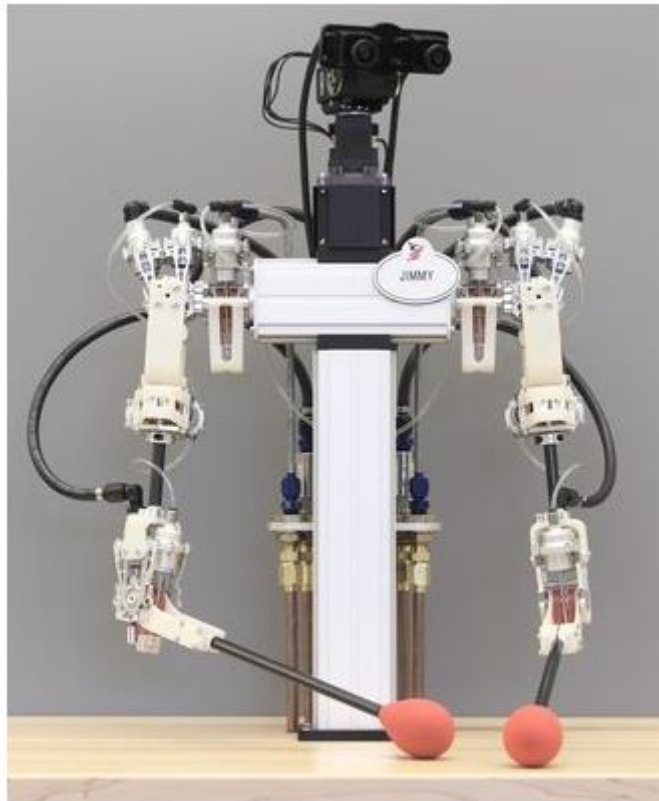
2.5.3.2 Acionamento pneumático

Esse tipo de acionamento é similar ao hidráulico, diferindo-se ao meio fluídico na transmissão de pressão, que, no caso, é o ar no lugar do óleo. Segundo Santos (2015), esse acionamento é composto por motores pneumáticos de movimento rotativos ou por cilindros pneumáticos deslizante, sendo possível obter alto grau de precisão nas paradas.

A utilização desse tipo de acionamento é mais comum em sistemas robóticos simples, sem grandes exigências dinâmicas. Constantemente aplicado nos

movimentos do efetuator final, como abrir e fechar garras, por exemplo (SANTOS, 2015).

Figura 9 - Robô por acionamento pneumático



Fonte: Inovação Tecnológica, 2016

As principais vantagens do acionamento pneumático são: podem operar em velocidades altas; custo baixo; fácil manutenção e podem manter força constante por longos períodos de tempo. Suas principais desvantagens são: menor precisão de posicionamento; sujeito a vibrações quando motor ou cilindro para (SANTOS, 2015).

2.5.3.3 Acionamento elétrico

O acionamento elétrico é caracterizado pela utilização de motores elétricos, que podem ser motores de corrente contínua, motores de passo ou ainda motores de corrente alternada. Há muito robôs disponíveis no mercado que utilizam acionamento elétrico, devido à sua grande variedade de torque e velocidade

permitidas. Comparadas a outros acionamentos, o acionamento elétrico possui maior controle. (SANTOS, 2015).

Figura 10 - Robô por acionamento elétrico



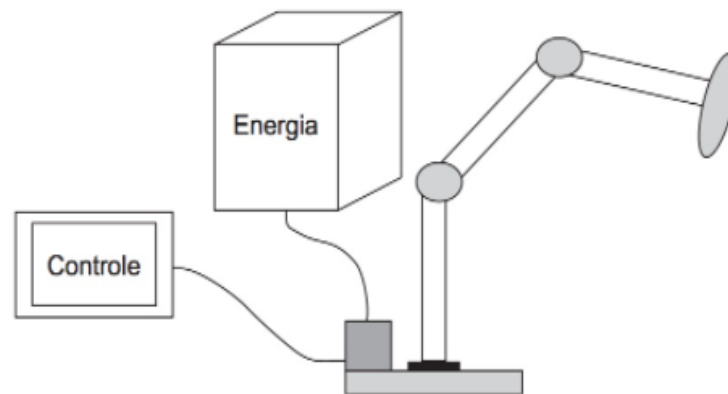
Fonte: ABB, 2021

As maiores vantagens do acionamento elétrico, pode-se destacar: eficiência e controle preciso; estrutura simples; fácil manutenção e fonte de energia com custo baixo. Já as principais desvantagens desse acionamento, cita-se: não possui torque constante nas variações de velocidade de rotação e está sujeito a danos, quando cargas elevadas bloqueiam o motor (SANTOS, 2015).

2.5.4 Controlador

Caracterizado por ser o cérebro do robô, de todo sistema, na qual se deve comandar e controlar os movimentos dos atuadores, coordenar todas as atividades, adquirir e processar os sinais dos sensores, tomar decisões lógicas, armazenar dados, fazer a interação e sincronização com outras máquinas, comunicar-se com outros sistemas computadorizados e manter uma interface com o usuário. Para a execução de todas essas funções, é preciso que o controlador seja programado. Baseia-se por softwares que se adaptem ao robô (FILHO, 2014). A Figura 11 demonstra a fonte de controle e de energia a fim de sustentar o manipulador.

Figura 11 - Controlador de um robô

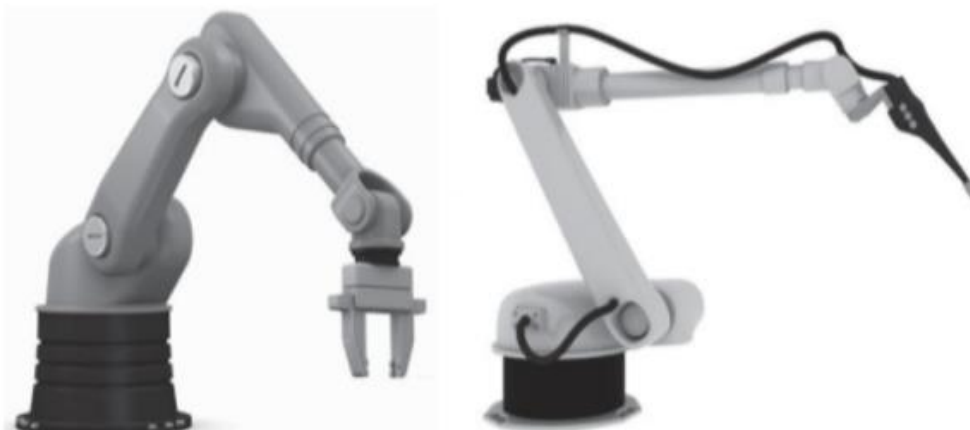


Fonte: Filho, 2014

2.5.5 Efetuador final

Segundo Mataric (2014), os efetadores são órgãos terminais ou ferramentas dos robôs, que permitem a ele a atuar e interagir com objetos, instalado logo após o punho, como por exemplo, uma tocha de soldagem, uma garra, entre outros. Surgindo da necessidade do robô em realizar diferentes operações para executar uma tarefa. A Figura 12 demonstra robôs com diferentes efetadores finais.

Figura 12 - Efetadores finais de um robô



Fonte: Santos, 2015

São componentes que promovem a interação da extremidade terminal do manipulador com o objeto em que ele irá atuar, no local mais afastado da base do robô. É necessário que o efetuador seja adequado para cada ambiente de trabalho, evitando o risco de falhas de operação, sendo essencial o estudo da melhor garra/ferramenta para os robôs (SANTOS, 2015).

Os robôs industriais não são vendidos com os efetuadores, estes efetuadores são desenvolvidos pela equipe de engenharia responsável pela instalação do robô, exigindo alto grau de experiência e conhecimento dos mesmos.

2.5.5.1 Garras

Conforme Santos (2015), a função principal da garra é segurar objetos e movê-los no meio. Ela é muito eficiente para segurar objetos de vários tamanhos e não necessitam de grande precisão no posicionamento, podendo se adaptar ao ambiente.

Porém, devido a uma variedade grande de objetos que ela pode atuar, existem alguns tipos de garras, como:

- Garra de dois dedos (mais comum);
- Garra de três dedos (maior segurança para segurar objetos);
- Garra para objetos cilíndricos (permite pegar objetos cilíndricos de diversos tamanhos);
- Garra para objetos frágeis (força controlada, sem causar dano ao objeto);
- Garra eletromagnética (pegar objetos metálicos);
- Garra a vácuo (pegar objetos lisos através do vácuo criado nas ventosas).

A Figura 13 apresenta um exemplo de utilização da garra robótica, a garra de dois dedos.

Figura 13 - Garra de dois dedos



Fonte: *Universal Robots, 2020*

2.5.5.2 Ferramentas

São componentes utilizados em tarefas especiais, podendo ser de alguns tipos: pistola de solda; pistola de pintura; brocas para furos; serras circulares para corte; maçarico; pistola de aspersão; entre outros. As ferramentas são utilizadas para se adaptarem a tarefa exigida no processo (FILHO, 2014). A Figura 14 apresenta uma aplicação de robôs utilizando uma ferramenta para solda.

Figura 14 - Tocha de solda



Fonte: ABB, 2021

2.6 PRECISÃO E REPETITIVIDADE

2.6.1 Precisão

Conforme Lamb (2015), precisão de um robô é a medida (erro) se locomoverá até uma posição programada ou comanda, em seu espaço de trabalho. Podendo ser afetada por: erros de computação; imprecisões mecânicas de fabricação dos robôs; folgas de engrenagens e flexibilidade de objetos, representado na Figura 15.

Figura 15 - Precisão para um robô



Fonte: Autor, 2021

2.6.2 Repetitividade

Refere-se a medida de quão bem o robô retornará para a mesma posição programada, influenciado essencialmente pelo controlador e/ou sensor, conforme apresentado na Figura 16.

Figura 16 - Repetibilidade para um robô



Fonte: Autor, 2021

O ideal na programação de robôs industriais é de apresentarem uma precisão alta, para executarem adequadamente a tarefa solicitada e uma repetibilidade alta para executar essa mesma tarefa várias vezes, podendo retornarem constantemente a mesma posição programada.

2.7 AMBIENTE DE TRABALHO

O ambiente da fábri se mostrou eficiente para a produção em massa durante a Revolução Industrial. Nesta época, as fábricas serviam como edifícios onde os trabalhadores se reuniam para fabricar produtos usando ferramentas simples e máquinas. Os avanços na agricultura e nas tecnologias de fabricação de têxteis e metais aliados à mão de obra barata resultaram no aumento da produção, na eficiência e no lucro dos proprietários das fábricas (LAMB, 2015).

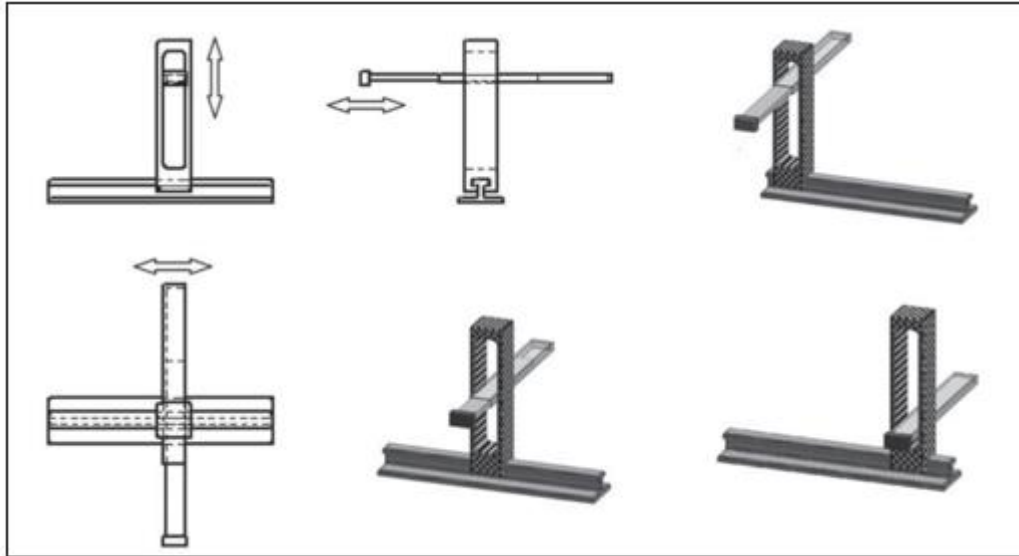
O ambiente ou o local de trabalho para um robô industrial é toda aquela região na qual o robô pode alcançar para realizar a tarefa, podendo ser uma área grande ou pequena, dependendo do tamanho do braço do robô. Ou seja, é o volume total que o efetuator final poderá percorrer, dentre todas as possibilidades de execução, sendo limitado pela geometria do manipulador, impostas pelas restrições físicas das juntas.

2.8 TIPOS DE ROBÔ

2.8.1 Robôs cartesianos

Também conhecido como robô linear ou robô *Gantry*, esses robôs possuem 3 eixos lineares de controle nas direções X, Y e Z, ou seja, sua base, elos e juntas são fixas. Uma aplicação popular dos robôs cartesianos é a máquina de Comando Numérico Computadorizado (CNC). Essa máquina é muito usada na indústria para a usinagem automatizada de peças de metal (LAMB, 2015)

Figura 17 - Representação robôs cartesianos



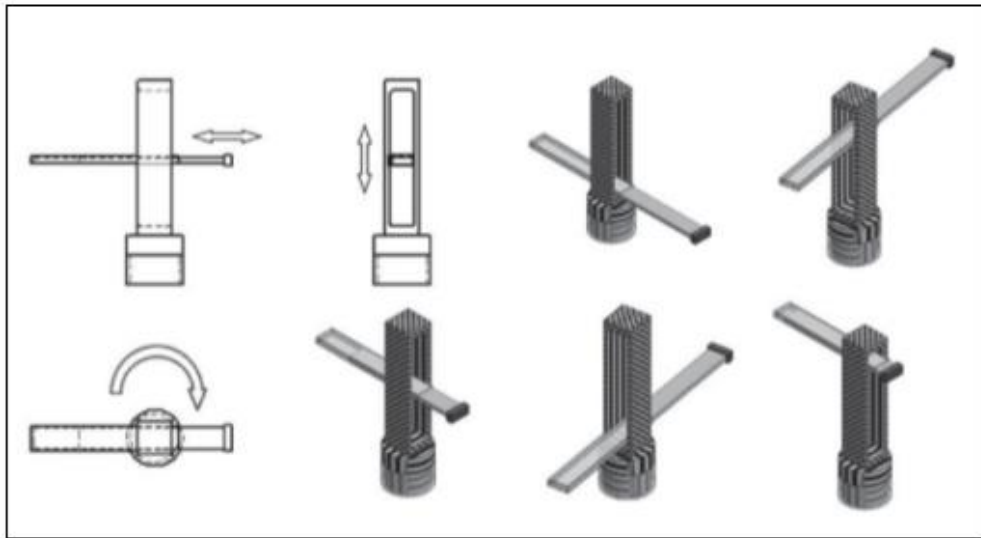
Fonte: Santos, 2015.

Apresentado na Figura 17, os dos robôs cartesianos realizam seus movimentos lineares em 3D e podem ser utilizados atuadores pneumáticos de baixo custo. Entretanto, eles precisam de grande espaço para operarem e seu espaço é pequeno, e por vezes assim não conseguem atingir regiões sob objetos (SANTOS, 2015).

2.8.2 Robôs cilíndricos

Os robôs cilíndricos podem se diferem dos cartesianos, pelo fato de que sua base pode girar no sentido horário e anti-horário, seus braços movimentam-se na horizontal e na vertical, permitindo alcançar qualquer região no interior do cilindro. São caracterizados por apresentarem estrutura rígida, mas uma mecânica satisfatória (FILHO, 2014). A seguir na Figura 18 é apresentado alguns exemplos.

Figura 18 - Representação robôs cilíndricos



Fonte: Santos, 2015.

Conforme Santos (2015), um robô cilíndrico é aplicado em situações que se deseja alcançar cavidades horizontais, através de um acionamento hidráulico, até porque necessita dispor de torques elevados na movimentação de carga. É um modelo cinemático simples, com bom acesso a cavidades, porém é um espaço de trabalho limitado.

2.8.3 Robô esférico

Nos robôs esféricos ou polares, sua base gira em horário e anti-horário, possuindo um eixo de articulação central e um braço giratório, logo, um movimento de translação e dois de rotação. Possuem menor resolução de posicionamento ao longo do eixo do robô, além de possuírem menor rigidez mecânica (LAMB, 2015).

Figura 19 - Representação robôs esféricos



Fonte: Santos, 2015

Conforme apresentado na Figura 19, os robôs esféricos são vastamente utilizados em operações de alimentação de centros de usinagem, em razão da sua habilidade de levar e trazer objetos a locais definidos. Sua modelagem é complexa, todavia sua área de trabalho é grande, podendo ainda se inclinar para pegar objetos do chão (SANTOS, 2015).

2.8.4 Robô articulado

Os robôs articulados, são os que mais se aproximam a um braço humano, pois todos seus membros podem girar, ou seja, as 3 juntas são de rotação, permitindo alta mobilidade aos robôs. Necessitam de maior habilidade para posicionamento e orientação do robô, devido a sua alta complexidade e menor rigidez mecânica (FILHO, 2014). A Figura 20 apresenta alguns exemplos.

Figura 20 - Representação robôs articulados



Fonte: Santos, 2015.

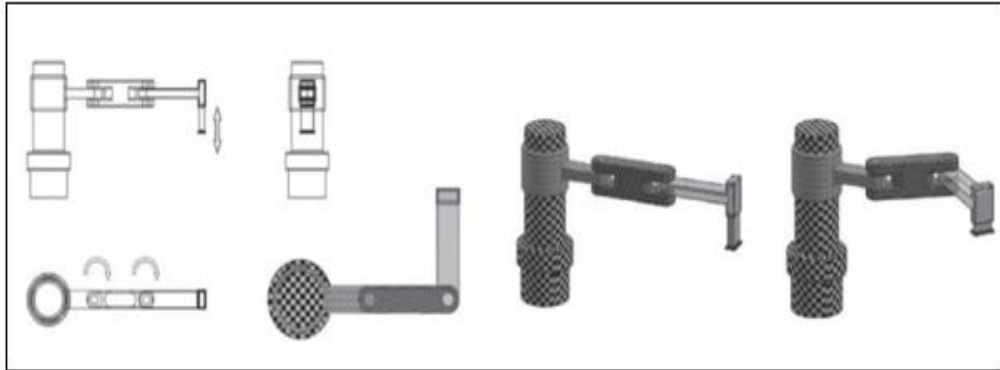
Podem ser utilizados tanto na movimentação, manipulação e na medição de objetos, já que tem uma grande complexidade e mobilidade do robô. Na maioria destes manipuladores, são utilizados acionamentos elétricos. Como vantagens, destaca-se sua alta flexibilidade, alcançando um espaço grande de trabalho, porém é uma cinemática complexa, com difícil controle de movimentos lineares (SANTOS, 2015).

2.8.5 Robô SCARA

Nos robôs SCARA, conforme a Figura 21, a principal característica é apresentar duas juntas rotativas em parêlo, se movimento em um plano e uma

outra junta perpendicular a este plano, uma translação e duas rotações. Apresenta alta rigidez dinâmica em movimentos verticais e em movimentos horizontais sua rigidez é baixa (SANTOS, 2015)

Figura 21 - Representação robôs articulados



Fonte: Santos, 2015

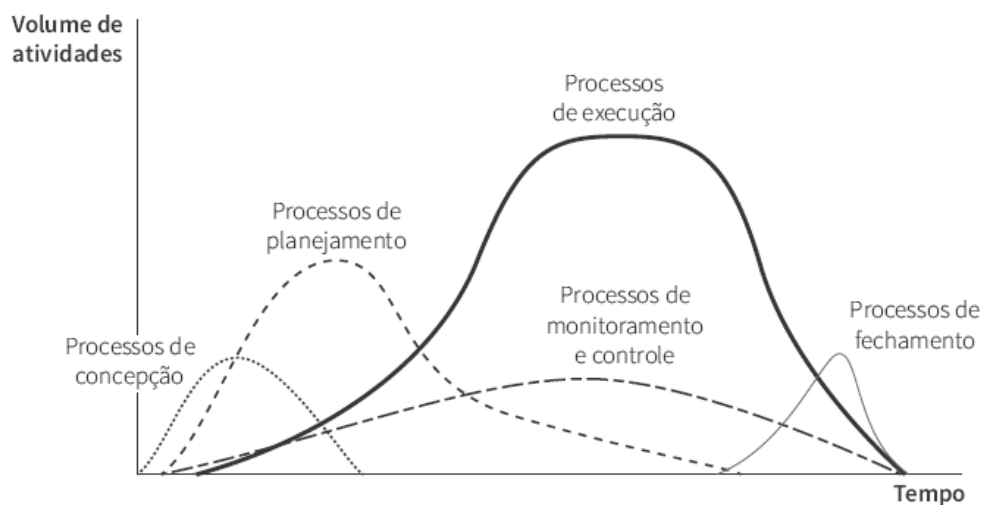
Segundo Lamb (2015), os robôs SCARA são mais baratos comparados a outros robôs de mesmo tamanho, sendo mais rápidos e compactos. Utilizados normalmente para manipular pequenos objetos, com acionamentos, na sua maioria, elétrica.

3 METODOLOGIA

3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

Segundo Menezes (2018), a procura por informações, soluções e desenvolvimento de projetos não segue uma linha contínua, algumas etapas necessitam de mais atividades e mais tempo, como podemos ver na Figura 22. Todas ações deste o começo projeto, a elaboração do projeto e o resultado do projeto é denominado Ciclo de Vida do Projeto.

Figura 22 - Ciclo de Vida do Projeto de Menezes



Fonte: Adaptado de Menezes, 2018.

O presente trabalho baseou-se em uma revisão bibliográfica, dando ênfase aos conceitos de robótica, projetos, modelagem matemática, além de programação e soldagem de robôs.

A abordagem da pesquisa é fundamentada nos estudos da área da robótica industrial, e a partir deste estudo o encaminhamento será para o projeto de uns dois robôs industriais operam em uma célula de fábrica. A utilização de referências teóricas para o projeto será na análise de principais trajetórias de robôs industriais, sendo essencial essa investigação para buscar os melhores componentes adequados na elaboração do projeto.

3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Desta forma será utilizado a ferramenta RoboDK com o intuito de auxiliar no desenvolvimento do projeto, simulando uma área industrial de uma fábrica com a presença de robôs, avaliando o funcionamento e interferências com demais componentes.

O RoboDK é uma ferramenta de simulação industrial com a implementação de robôs em 3D, muito utilizada por engenheiros, projetistas e outros demais da área, com o objetivo de criar e simular áreas automotivas com intuito de eliminar tempo de inatividade da produção, além de identificar problemas antes da aplicação de robôs industriais no ambiente de trabalho.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO ESPAÇO INDUSTRIAL

4.1.1 Robôs Motoman

4.1.1.1 Aspectos

Os robôs definidos para implementação do projeto foram os robôs Motoman, devido a sua alta flexibilidade para adaptarem em áreas industriais, utilizados em grande abundância na soldagem de materiais pela elevada qualidade, força, estabilidade e robustez na manipulação de materiais.

A Motoman Yaskawa é uma grande marca japonesa, fundada em 1915, fabricante de componentes eletrônicos automatizados. Seu sistema operacional é manejável, com braços estruturados para oferecer qualidade e precisão em tarefas industriais, principalmente em sistemas de soldagem.

Para a implementação do projeto, os robôs escolhidos tanto para pegar objetos tanto para realizar a soldagem do material é o Motoman GP12, devido a sua grande multifuncionalidade acompanhado com uma alta velocidade de performance e rendimento, que são essenciais para se adaptar em diferentes tarefas, que é visto na Figura 23.

Figura 23 - Robô Motoman GP12



Fonte: Adaptado de Motoman, 2021

De acordo com a Motoman (2021), os Robôs GP12 oferecem controle aprimorado de aceleração/desaceleração para todas as posições do robô, resultando em uma produtividade alta. O design do braço minimiza a interferência

com dispositivos periféricos. Sua instalação em uma área industrial é eficiente e simples, necessitando de um único cabo apenas para conectar o manipulador ao controlador, além de uma fácil configuração e baixa redução de despesas com manutenção o que é muito vantajoso para grandes indústrias. No quadro 1 é possível observar algumas de suas características.

Quadro 1 - Especificações robô Motoman

Tópico	Unidade	GP12
Nº de eixos	-	6
Máximo de carga	kg	12
Alcance horizontal	mm	1440
Alcance vertical	mm	2511
Peso	kg	150
Controlador	-	YRC1000 / YR1000micro
Requisitos de energia YRC1000 YRC1000micro		Trifásico 380V/480V 50/60 Hz Trifásico 200V/230V 50/60Hz
Potência	kVA	1.5

Fonte: Adaptado de Motoman

Ressalta-se que os robôs Motoman GP12 possuem uma estrutura reduzida, seu braço, por exemplo, elimina a interferência de cabos, justamente para poderem se alocar facilmente na área industrial, adaptando-se ao ambiente ou ainda possibilitando trabalhar ao lado de outros robôs.

Dispõe de um alcance suficiente tanto em distâncias horizontais quanto verticais, que acaba englobando uma grande área de atuação, o aumento do peso de carga permite uma variedade maior de ferramentas para a conexão no efetuador final, viabilizando sua aplicação em áreas de montagem, solda, em locais para embalagens de materiais, entre outros.

4.1.1.2 Robô com garra

Como já citado anteriormente, a principal função de uma garra robótica é de pegar e mover objetos no meio de atuação, que pode segurar peças de diferentes tamanhos sem necessitar de grande precisão de posicionamento. Sua utilização na

área industrial, permitirá as empresas uma maior produtividade, redução de perdas e otimização do processo sem perder a qualidade do trabalho.

A garra utilizada no presente projeto é uma garra de dois dedos, como visto na Figura 24. Conforme Santos (2015), as garras de dois dedos são a mais comum na robótica, por serem mais facilmente adaptáveis a diferentes peças, pois podem ser se movimentar de maneira paralela ou rotatória. Em objetos maiores recomenda-se garras maiores, até porque possuem uma abertura maior, ao contrário das garras de dois dedos que tem limitação de abertura.

Figura 24 - Garra de dois dedos



Fonte: Autor, 2021

A garra selecionada para o projeto é da marca *ROBOTIQ*, com uma abertura máxima de 85mm, que pode incluir objetos de diferentes tamanhos e formas. Possuem um rápido tempo de produção, sem necessidade de experiência em robótica, bem como uma alta força de aperto e carga útil, oferecendo uma boa confiabilidade e precisão na hora de pegar objetos. O quadro 2 apresenta algumas propriedades desta garra.

Quadro 2 - Dados técnicos da Garra de 2 dedos

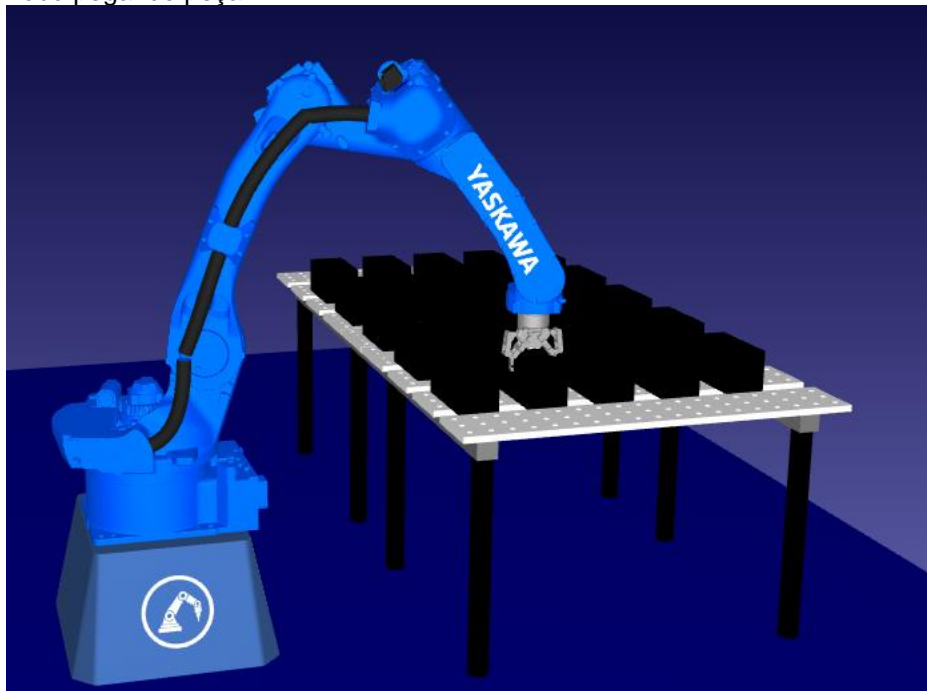
Propriedade	Garra 2 dedos - 85
Abertura total	85 mm
Força de prensa	20 a 235N
Carga útil no punho	5 kg
Peso da garra	0,9 kg
Velocidade de fechamento	20 a 150 mm/s
Marca	ROBOTIQ

Fonte: Adaptado de *Robotiq*, 2021

No presente projeto, a garra quando acoplada no robô tem a função de ir até objetos que estão dispostas em uma bancada, pegar, movimentar e posiciona-los em cima do conjunto principal, com intuito de serem soldados por outro robô que está ao seu lado, que está representado na Figura 25.

A ideia aplicada ao processo é para as peças serem transportadas de dois em dois por um robô e podendo buscar os próximos apenas após o outro robô realizar a soldagem das peças antes levadas. Essa técnica utilizada busca padronizar e otimizar o processo, evitando também que um robô colida ou atrapalhe o outro.

Figura 25 - Robô pegando peça



Fonte: Autor, 2021

4.1.1.3 Robô de solda

Após o primeiro robô realizar o *pick* e posicionamento de objetos, o comando seguinte acionará um segundo robô, que nele está acoplado uma tocha de solda. Este robô de soldagem é principal componente da célula de trabalho, pois ele unificará os materiais em um só conjunto, que é o objetivo principal do processo.

A aplicação do robô de solda exige um estudo prévio de avaliação do produto a ser soldado, podendo observar as características do material, para definir o melhor tipo de solda na peça, bem como melhores movimentos em torno da peça, a fim de possuir melhor qualidade de solda sem danificar os materiais. A Figura 26, apresenta a tocha de solda utilizada no projeto.

Figura 26 - Tocha de solda



Fonte: Autor, 2021.

Para a soldagem dos componentes do projeto será utilizado a tocha de solda *Abicor Binzel 45°*, possuindo uma precisão consistente, com manuseio acessível, fácil manutenção, além de alta estabilidade e reprodutibilidade, ou seja, é uma tocha simples e eficaz. A seguir na Tabela 1 é apresentado algumas especificações da tocha utilizada no projeto.

Tabela 1 - Dados técnicos da tocha

Dados	Característica
Arrefecimento	refrigerado a ar
Inclinação	45°
Fio-Ø	14 mm
Ciclo de trabalho	100%
Classificação	360 A CO2 290 A Gases mistos
Marca	ABICOR BINZEL

Fonte: Adaptado *Abicor Binzel*, 2021

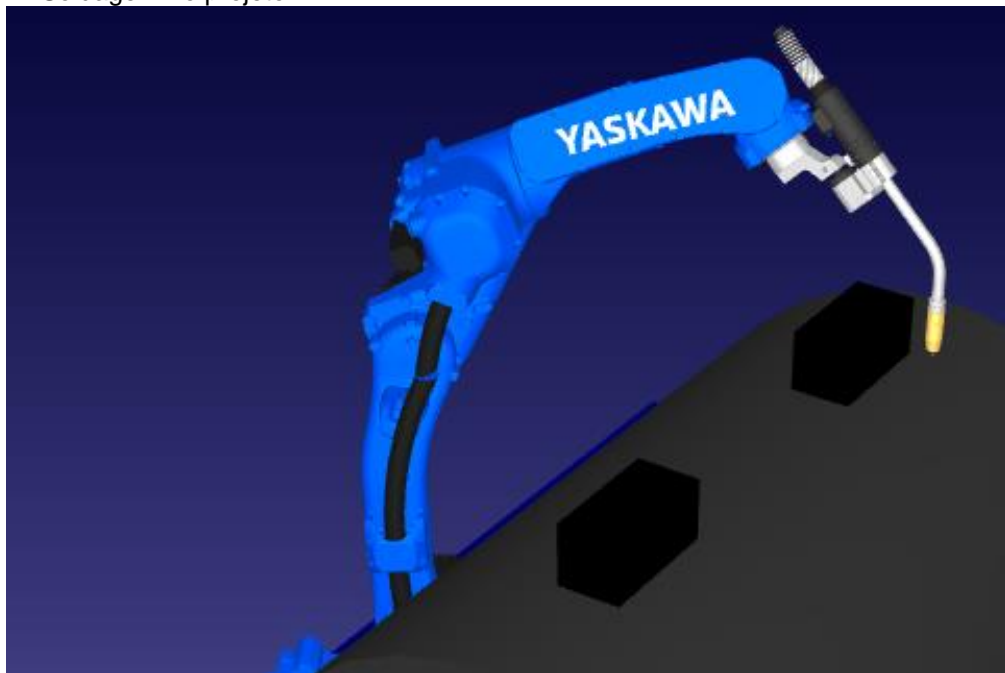
A tocha refrigerada, além de possuir um custo menor, é recomenda para esse processo pois o material é de baixo ciclo de trabalho, necessitando de baixa intensidade de corrente elétrica, comparada as tochas refrigeradas a água. Mais uma vantagem possível de observar da tocha 360A é que seu TPC (*Tool Center Point*), ou seja, o centro da ferramenta permanece o mesmo ainda que haja mudança na configuração de seus cabos.

Outra característica importante do projeto é que será uma solda em arco, isto é, a unificação dos materiais será por um cordão de solda contínuo em torno da peça, na qual ambos as partes do metal serão aquecidas, ao esfriar-se o metal fundido se solidifica, provocando a combinação dos materiais.

A solda em arco exige algumas características do robô envolvido nesse processo, tais como:

- Possuir 5 ou 6 graus de liberdade;
- Velocidade constante na trajetória durante a soldagem, para manter uma boa precisão e qualidade;
- Alta Repetibilidade;
- Transmitir sinais para causar a dispersão do gás e aplicação ao eletrodo.

Figura 27 - Soldagem no projeto



Fonte: Autor, 2021.

Em suma, a soldagem dos materiais no projeto, visto na Figura 27, iniciará após o primeiro robô levar duas peças, então o segundo robô será acionado com a missão de unir essas peças a um conjunto maior. Após isso um “robô” por meio de sensores irá girar, liberando novos locais para serem dispostas novas peças, retomando o ciclo do processo.

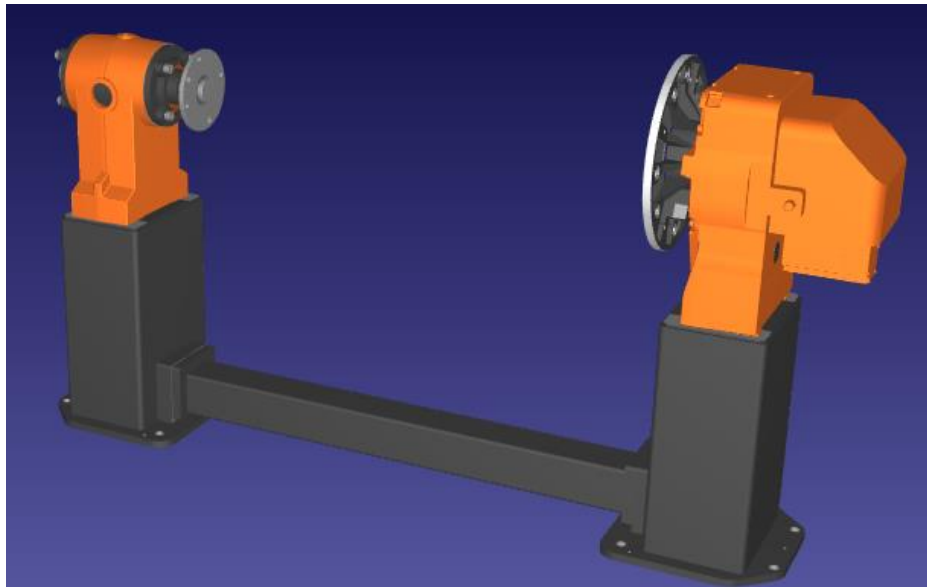
Salienta-se ainda que a aplicação de robôs em solda em arco para esse conjunto ou para outros casos, reduzirá a horas de trabalho, pois a solda é feita em uma curta trajetória; obviamente reduzirá os custos, pois nesse processo haverá pouca utilização de mão de obra, apenas de caráter de supervisão/controle; proporcionará o trabalho contínuo, até porque operadores de trabalho descansam e não trabalham o dia inteiro; por conseguinte irá melhorar as condições de trabalho

dos funcionários, que podem ser deslocados a outras atividades, que não exigem condições de trabalho para altas temperaturas.

4.1.2 Posicionador ABB

Outro componente importante no presente projeto é o posicionador. Sua função é de sustentar, mover e girar o conjunto posicionado, isso beneficia os robôs que para que não realizem movimentos distintos para posicionar objetos e soldar esses objetos nos conjuntos, pois a configuração será na mesma posição, pela ação de giro que o posicionador fará, evitando menos posições de programação para os robôs.

Figura 28 - Posicionador ABB



Fonte: Autor, 2021.

O posicionador utilizado no projeto, visto na figura 28, é o IRBP L 1000, como apresentado na Figura 28, ele é ideal para conjuntos que necessitam de soldagem a arco, com todos os eixos podendo ser coordenado com o robô durante sua operação e programação. Além de ser eficiente para conjuntos que exigem rotação para localizar outras posições específicas. Sendo capaz de lidar com conjuntos com até 5T, *design* robusto, de fácil manutenção, além de garantir estabilidade para todo conjunto sustentado. Sua modelagem permite aceleração rápida e ainda reorientação para que os tempos de ciclo sejam reduzidos.

A seguir na Tabela 2 é apresentado algumas especificações deste do posicionador IRBP L 1000.

Tabela 2 - Especificações IRBP L 1000

Tópico	Característica
Denominação	IRBP L-1000
Capacidade de trabalho	1000 kg
Torque máximo contínuo	900 Nm
Flexão máxima	5000 Nm
Precisão repetitiva	± 0,05
Velocidade máxima de rotação	150 °/ s

Fonte: Adaptado de New ABB

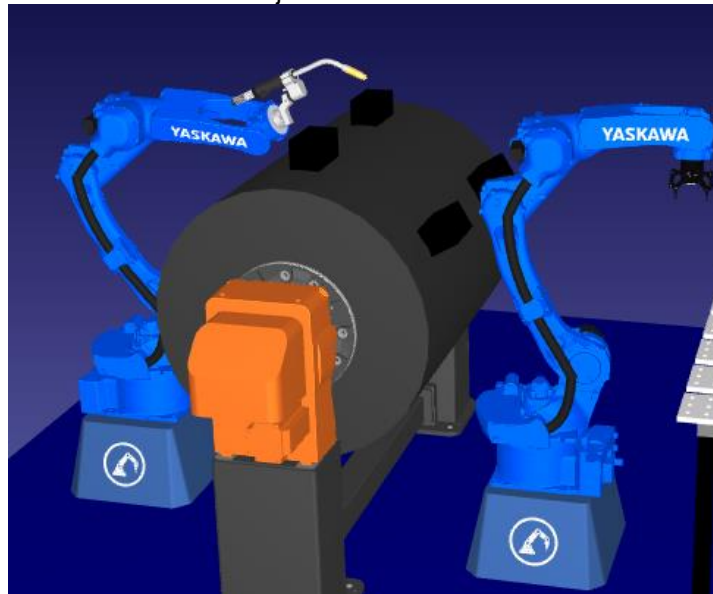
Além poderem ser combinados com qualquer robô de 6 eixos, ressalta-se ainda outras vantagens do posicionador IRBLP L 100:

- Redução do esforço;
- Maior qualidade de soldagem;
- Menor necessidade de supervisão, devido a sua automatização;
- Suporta cargas de grande capacidade;
- Maior automatização e padronização do processo.

A utilização do posicionador tem o intuito de melhorar a padronização do trabalho, a fim de facilitar a programação dos robôs, que não necessitam assim se deslocar para várias posições durante processo. A automatização do posicionador é semelhante dos robôs, seguirá uma sequência uniforme de programação, no intuito de evitar falhas e erros.

O posicionador estará sustentando o conjunto principal do processo, visto na Figura 29, então a ideia é de que logo após a soldagem dos de duas peças no conjunto principal, o posicionador gire em 60° para permitir que os robôs posicionem e soldem novos componentes neste conjunto em regiões, que sem o posicionador seriam de difícil acesso para os robôs. Portanto, o posicionador fará 5 giros de 60° ordenadamente, com propósito de preencher toda rotação do conjunto com as devidas peças soldadas necessárias.

Figura 29 - Posicionador sustentando o conjunto



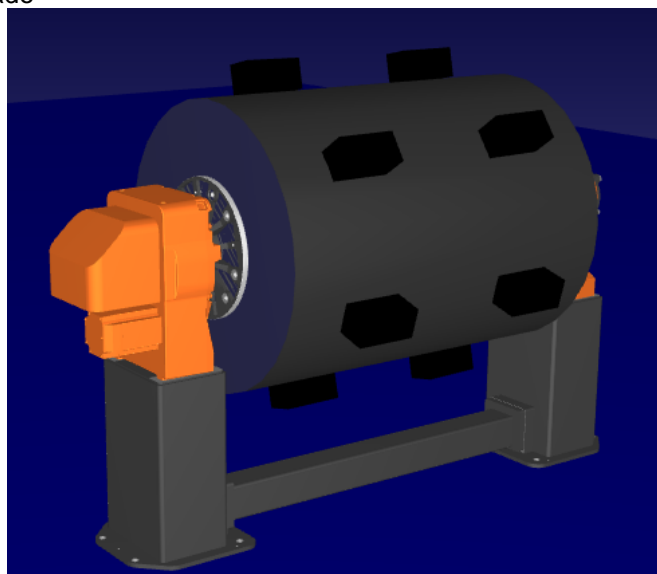
Fonte: Autor, 2021

4.1.3 Demais componentes do ambiente de trabalho

4.1.3.1 Conjunto

O conjunto final definido para o projeto é um cilindro, envolto por outras peças, semelhante a um rotor, representado a seguir na Figura 30. Para que o produto tenha a qualidade desejada é necessário primeiramente o monitoramento do trabalho dos robôs durante o processo, uma vez acompanhado e apurado que possui êxito, todo procedimento de trabalho agregará confiança para repetir novas soldagens para o mesmo produto.

Figura 30 - Conjunto Soldado



Fonte: Autor, 2021

4.1.3.2 Pedestal

Utilizou-se também, um pedestal de apoio para cada robô, conforme Figura 31. A opção da escolha pelos pedestais se deve ao benefício de que eles aumentam o espaço de trabalho dos robôs, aumentando seu alcance. Possuem uma base segura, podendo ser fixa ou móvel (no caso do projeto é fixa), dispostas no chão que auxiliam na sistematização e na estruturação do ambiente de trabalho, deixando-o mais organizado e com mais espaço de circulação de movimentos para os robôs de trabalho.

Figura 31 - Pedestal para os robôs

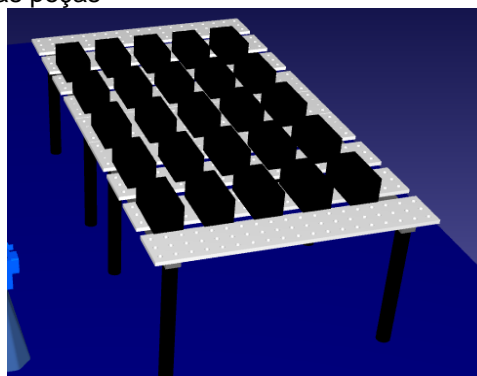


Fonte: Autor, 2021

4.1.3.3 Mesa de apoio

Por fim, empregou-se ainda no projeto uma bancada de apoio para as peças a serem soldadas no conjunto, conforme a Figura 32, com intuito de facilitar a movimentação e programação do robô para pegar essas peças e colocamos no conjunto.

Figura 32 - Mesa para apoiar as peças



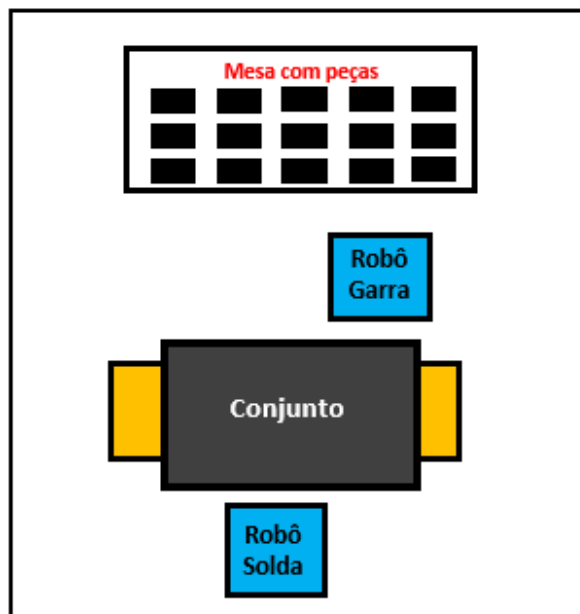
Fonte: Autor, 2021

4.1.4 Determinação do Espaço de trabalho

Conforme já citado anteriormente no projeto, ambiente de trabalho de um robô industrial é a região que o robô pode atingir para realizar seus movimentos, dentre todas possibilidades de execução, sendo limitado por sua geometria e restrições físicas.

Ressalta-se então que é fundamental o estudo do ambiente de trabalho de manipulador, a fim do operador definir as melhores trajetórias possíveis para a tarefa. A seguir na Figura 33, está representado o *layout* da célula de trabalho dos robôs para a soldagem do conjunto no projeto.

Figura 33 - *Layout* do projeto



Fonte: Autor, 2021

O estudo e a organização do *layout* proporcionam inúmeras vantagens para as empresas. Segundo Ambrose (2012), *layout* é uma ferramenta de arranjo de componentes de um design em relação ao espaço ocupado e em conformidade a um esquema estético, apresentando elementos textuais e visuais de tal maneira que o leitor receba com mínimo de esforço, abordando aspectos práticos e estéticos de um projeto.

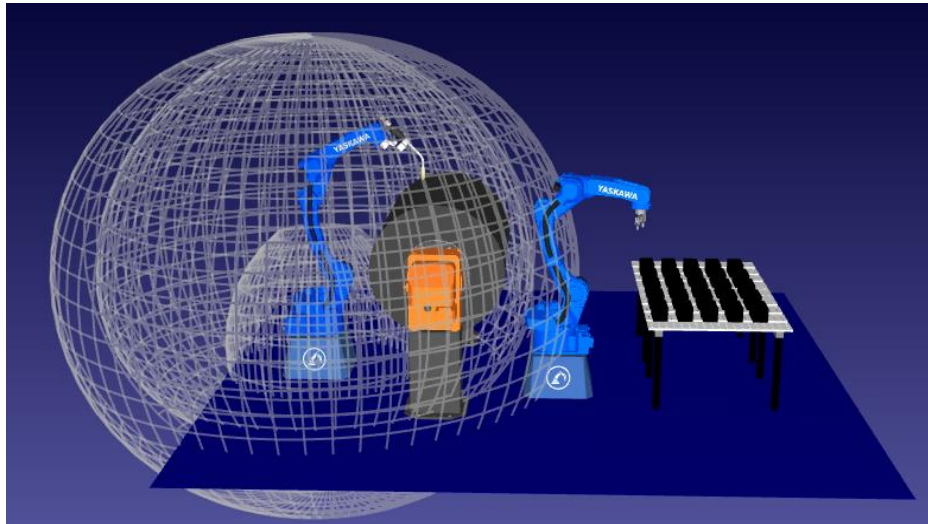
A aplicação correta do *layout* em uma área de trabalho garante um melhor fluxo de comunicação entre as atividades, mais eficaz e eficiente, com melhor utilização do espaço disponível, além de facilitar a gestão de seus processos, sendo mais acessível a correção de possíveis não conformidades, podendo deslocar

componentes do espaço para outros locais para uma melhor controle e rentabilidade das tarefas.

Para melhor otimização e gestão dos processos, a alocação dos componentes do projeto, tal como os robôs, preocupou-se em posicioná-los em locais mais adequados para facilitar na realização de soldagem e pega das peças. Por exemplo, o robô Motoman com a garra, não poderia ficar longe da bancada com os objetos para posicionar no conjunto, pois tem áreas que esse robô não alcança, ou seja, o melhor estudo e organização da área de trabalho é fundamental para uma produção industrial mais eficiente.

A ilustração da Figura 34, apresenta o alcance máximos possível para o robô de solda, por exemplo, um recurso do software que permite visualizar o quão distante pode se deslocar o robô Motoman e utilizar ferramenta de solda.

Figura 34 - Alcance máximo do robô de solda



Fonte: Autor, 2021

Para montagem do projeto utilizou-se ainda algumas ideias da soldagem industrial robótica de uma indústria de Santa Rosa. A figura 35 apresenta dois robôs industriais trabalhando simultaneamente na mesma área de trabalho, o primeiro pega e posiciona objetos sob um conjunto e o segundo solda essas peças neste conjunto, com o objetivo de unificação do material.

Figura 35 - Soldagem industrial com robôs



Fonte: Autor, 2021.

4.2 MODELAGEM MATEMÁTICA

A aplicação do estudo da modelagem matemática é extremamente importante pois essa ferramenta auxilia a prever movimentos do efetuador final, além de beneficiar na resolução de problemas da trajetória do robô. Para Santos (2015) a modelagem matemática permite que os movimentos de um robô sejam calculados precisamente para controle e na geração de sua trajetória.

A modelagem matemática é a área do conhecimento que estuda a simulação de sistemas reais a fim de prever o comportamento dos mesmos, sendo empregada em diversos campos de estudo, tais como física, química, biologia, economia e engenharia (BEHNEN, 2017). A utilização da modelagem matemática facilita a aprendizagem de dados reais em modelos matemáticos.

4.2.1 Modelagem Cinemática do Robô

No presente projeto, apresenta-se a modelagem cinemática de um robô antropomórfico com seis graus de liberdade. Para Romero (2014) a cinemática permite o estudo do movimento, velocidades e acelerações. A cinemática é a descrição matemática das posições das juntas do robô com a localização do

efetuador final no plano cartesiano, o estudo cinemático dos manipuladores refere-se a todas as propriedades geométricas e às propriedades do movimento dependentes do tempo. A seguir serão descritos a escolha do sistema de referência dos elos, os parâmetros de Denavit-Hatenberg (D-H), e o cálculo das matrizes de transformação homogênea do robô.

4.2.2 Escolha dos sistemas de referência dos elos por Denavit-Hatenberg

Para a atribuição dos sistemas de coordenadas da base, deve-se estabelecer o sistema de referência (X_0, Y_0, Z_0) na base de apoio. Para estabelecer o sistema de coordenadas das juntas, é necessário primeiramente colocar Z_{i-1} ao longo do eixo de movimentação da junta “i”, em seguida o eixo X_i é representado na normal ao eixo Z_{i-1} e aponta para fora dele. Para a determinação do eixo Y_i , que completa o sistema deve-se observar a regra da mão direita. Assim a figura 18 representa o sistema de coordenadas das juntas, bem como os parâmetros de Denavit-Hatenberg, em uma vista lateral do mecanismo do manipulador conforme descrito em Sciavicco & Siciliano (1996) e Rosário (2005) para o robô em estudo.

Conforme Rosário (2005), as regras de determinação das coordenadas nas juntas permitem observar que como a escolha do sistema de coordenadas é livre, elas podem ser colocadas em qualquer parte da base de suporte, já a posição do eixo Z_0 deve ser a do eixo de movimento da primeira junta; outra observação é o “n-éssimo” sistema de pode ser colocado em qualquer parte do elemento terminal, enquanto o eixo X_0 é normal ao eixo Z_{i-1} .

4.2.3 Parâmetros de Denavit-Hartenberg

Uma vez que os sistemas de coordenadas dos elos estejam estabelecidos, a posição e a orientação do sistema “i” com respeito ao sistema “i-1” são especificadas pelos seguintes parâmetros, conforme descritos em Sciavicco e Siciliano (1996). Conforme a descrição dos seguintes passos.

Primeiro passo: entender o robô, identificando elos e juntas.

Segundo passo: definir os sistemas de coordenadas de referência dos elos de acordo com a convenção de Denavit-Hartenberg (D-H):

- O eixo Z_{i-1} deve ser no eixo da junta i ;

- O eixo X_i deve ser na normal comum entre os eixos Z_{i-1} e Z_i , no sentido de Z_{i-1} para Z_i ;

- O eixo Y_i é definido pela regra da mão direita.

Terceiro passo: determinação dos parâmetros de Denavit-Hartenberg:

- θ_i : é o ângulo entre o eixo X_{i-1} e o eixo X_i , medido em torno do eixo Z_{i-1} ;

- a_i : é a distância entre Z_{i-1} e Z_i ;

- α_i : é o ângulo entre o eixo Z_{i-1} e o eixo Z_i medido em torno do eixo X_i ;

- d_i : é a posição da coordenada ao longo do eixo Z_{i-1} que localiza o eixo X_i em relação ao eixo X_{i-1} .

Após a representação dos sistemas de referência dos elos, determinam-se os parâmetros de Denavit-Hartenberg (D-H), conforme tabela 1, de acordo com Sciavicco e Siciliano (1996).

Tabela 3 – Parâmetros D-H para robôs com 6 GDL

Elo _i	θ_i	a_i	d_i	α_i
Elo 1	θ_1	a_1	d_1	α_1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Elo "n"	θ_n	a_n	d_n	α_n

Fonte: Adaptado de Sciavicco e Siciliano, 1996

Quarto passo: Cálculo das matrizes de Transformação Homogênea: relaciona o movimento de um elo i ao anterior $i-1$, conforme Equação [1]:

Equação 1 - Matriz de Transformação Homogênea -DH

$$A_i^{i-1} = \begin{bmatrix} C\theta_i & -S\theta_i C a_i & S\theta_i S a_i & a_1 C\theta_i \\ S\theta_i & C\theta_i C a_i & -C\theta_i S a_i & a_1 S\theta_i \\ 0 & S a_i & C a_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad [1]$$

Fonte: Adaptado de Sciavicco e Siciliano, 1996

Quinto passo: Cálculo da Matriz de Transformação Homogênea, que relaciona o efetuador final com o elo zero do robô, conforme Equação [2]:

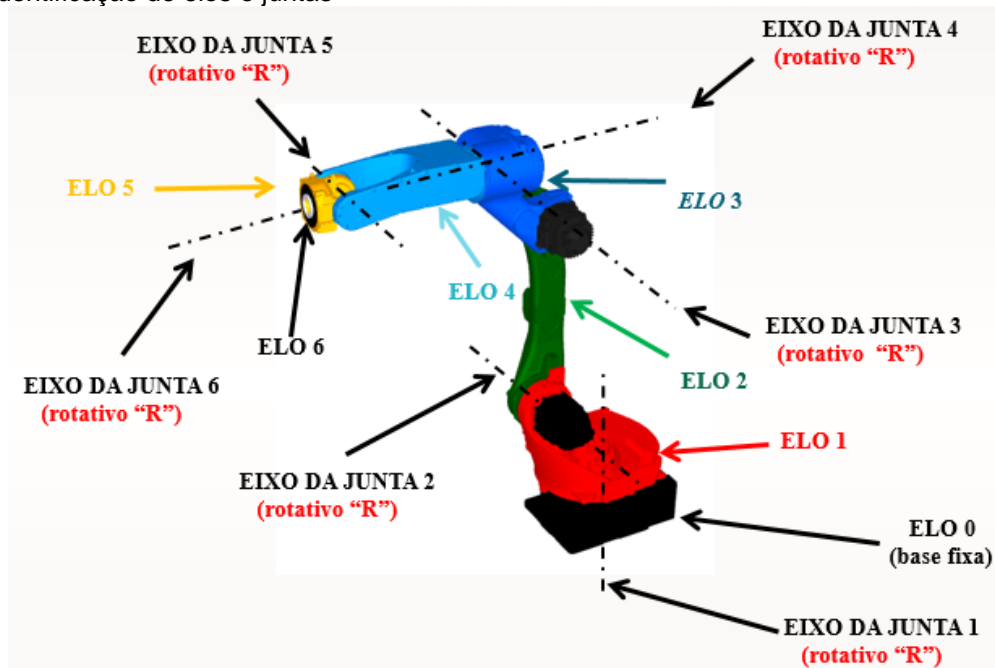
$$T_n^0 = A_1^0 \dots A_n^{n-1} \quad [2]$$

4.2.4 Cálculo da posição

Para o correto dimensionamento do motor a ser utilizado na estrutura, foram desenvolvidos os cálculos fundamentais para encontrar o torque necessário para o acionamento do braço robótico.

Conforme citado no capítulo anterior, para o cálculo da posição da estrutura em determinado momento, é preciso, primeiramente, definir os elos e juntas e também os parâmetros de D-H. A Figura 36 apresenta a ilustração referente aos elos e juntas do robô que foi utilizado durante simulações computacionais.

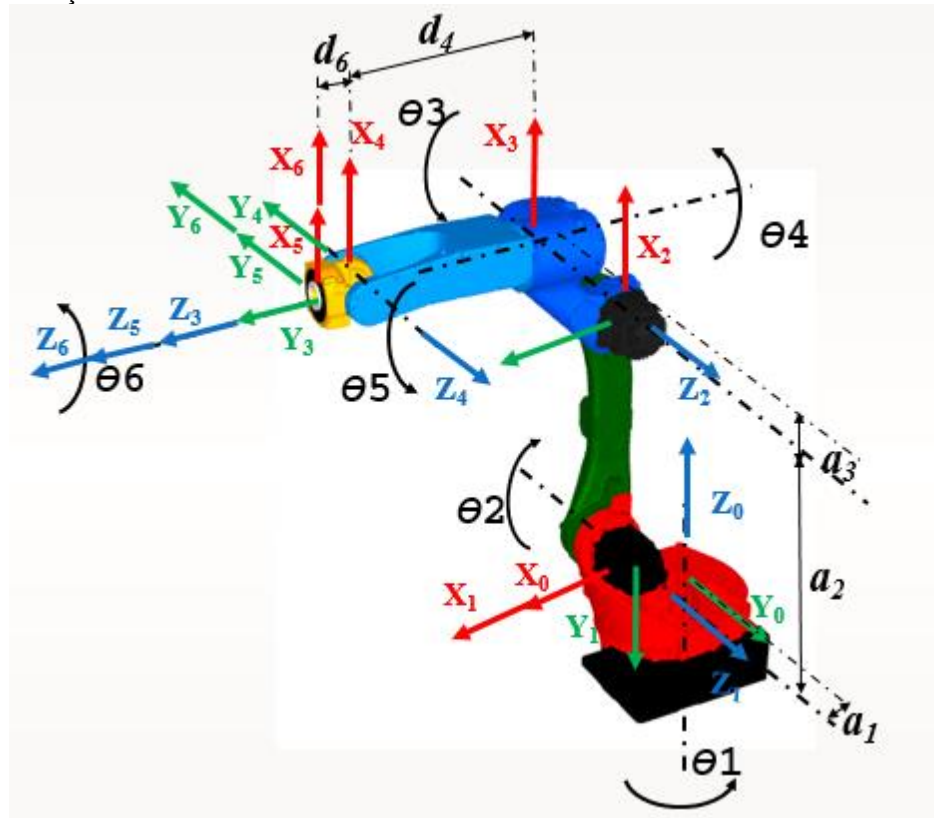
Figura 36 - Identificação de elos e juntas



Fonte: Autor, 2021.

A Figura 37 ilustra a identificação das coordenadas de referência do robô em acordo com as definições propostas por D-H.

Figura 37 - identificação das coordenadas de referência do robô.



Fonte: Autor, 2021.

Conforme Tabela 2 que representa os parâmetros de D-H, analisando as variáveis a partir das Figuras 36 e 37, podemos concluir que:

Tabela 4 - Parâmetros D-H para robôs com 6 GDL

Elo _i	θ_i	a_i	d_i	α_i
Elo ₁	0°	0,155	0	-90°
Elo ₂	-90°	0,614	0	0°
Elo ₃	0°	0,2	0	-90°
Elo ₄	0°	0	0,640	90°
Elo ₅	0°	0	0	-90°
Elo ₆	0°	0	0,1	0°

Fonte: Adaptado de Sciavicco e Siciliano, 1996

Para encontrar a equação da posição, utilizaremos as variáveis, e não valores inteiros para as variáveis na qual seu valor difere de 0. Aplicando os valores dos parâmetros da Tabela 2 na Equação [1], teremos os valores para cada elo.

Para o Elo₁ temos a matriz de posição e orientação primeiro eixo:

$$A_0^1 = \begin{bmatrix} C\theta_1 & -S\theta_1 C\theta_1 & S\theta_1 S\theta_1 & l_1 C\theta_1 \\ S\theta_1 & C\theta_1 C\theta_1 & -C\theta_1 S\theta_1 & l_1 S\theta_1 \\ 0 & S\theta_1 & C\theta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 2]$$

Substituindo e resolvendo a Equação [2], temos:

$$A_0^1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 155 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 3]$$

Para o Elo₂ temos a matriz de posição e orientação segundo eixo:

$$A_1^2 = \begin{bmatrix} C\theta_2 & -S\theta_2 C\theta_1 & S\theta_2 S\theta_2 & l_2 C\theta_2 \\ S\theta_2 & C\theta_2 C\theta_1 & -C\theta_2 S\theta_2 & l_2 S\theta_2 \\ 0 & S\theta_2 & C\theta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 4]$$

Substituindo e resolvendo a Equação [4], temos:

$$A_1^2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & -614 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 5]$$

Para o Elo₃ temos a matriz de posição e orientação terceiro eixo:

$$A_2^3 = \begin{bmatrix} C\theta_3 & -S\theta_3 C\theta_3 & S\theta_3 S\theta_3 & l_3 C\theta_3 \\ S\theta_3 & C\theta_3 C\theta_3 & -C\theta_3 S\theta_3 & l_3 S\theta_3 \\ 0 & S\theta_3 & C\theta_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 6]$$

Substituindo e resolvendo a Equação [6], temos:

$$A_2^3 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 200 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 7]$$

Para o Elo₄ temos a matriz de posição e orientação quarto eixo:

$$A_3^4 = \begin{bmatrix} C\theta 4 & -S\theta 4C\theta 4 & S\theta 4S\theta 4 & l_4C\theta 4 \\ S\theta 4 & C\theta 4C\theta 4 & -C\theta 4S\theta 4 & l_4S\theta 4 \\ 0 & S\theta 4 & C\theta 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 8]$$

Substituindo e resolvendo a Equação [8], temos:

$$A_3^4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 640 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 9]$$

Para o Elo₅ temos a matriz de posição e orientação quinto eixo:

$$A_4^5 = \begin{bmatrix} C\theta 5 & -S\theta 5C\theta 5 & S\theta 5S\theta 5 & l_5C\theta 5 \\ S\theta 5 & C\theta 5C\theta 5 & -C\theta 5S\theta 5 & l_5S\theta 5 \\ 0 & S\theta 5 & C\theta 5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 10]$$

Substituindo e resolvendo a Equação [10], temos:

$$A_4^5 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 11]$$

Para o Elo₆ temos a matriz de posição e orientação sexto eixo:

$$A_5^6 = \begin{bmatrix} C\theta 6 & -S\theta 6C\theta 6 & S\theta 6S\theta 6 & l_6C\theta 6 \\ S\theta 6 & C\theta 6C\theta 6 & -C\theta 6S\theta 6 & l_6S\theta 6 \\ 0 & S\theta 6 & C\theta 6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 12]$$

Substituindo e resolvendo a Equação [12], temos:

$$A_5^6 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 100 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 13]$$

Como quinto passo, calcula-se a matriz de transformação homogênea que relaciona o sistema de coordenadas do efetuador final com o sistema de coordenadas do elo zero (base fixa). Assim, tem-se as Equações [14] e [15].

$$T_6^0 = A_1^0 \cdot A_2^1 \cdot A_3^2 \cdot A_4^3 \cdot A_5^4 \cdot A_6^5 \quad 14]$$

$$A_6^5 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 895 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 814 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 15]$$

E finalmente o sexto passo, determinam-se as equações da cinemática direta a partir da matriz T_6^0 , tem-se assim a Equação (17), em que esta determina a posição do efetuador final. Temos então, como resultado para a equação da posição do braço robótico:

$$Px = 0,895 \text{ m}$$

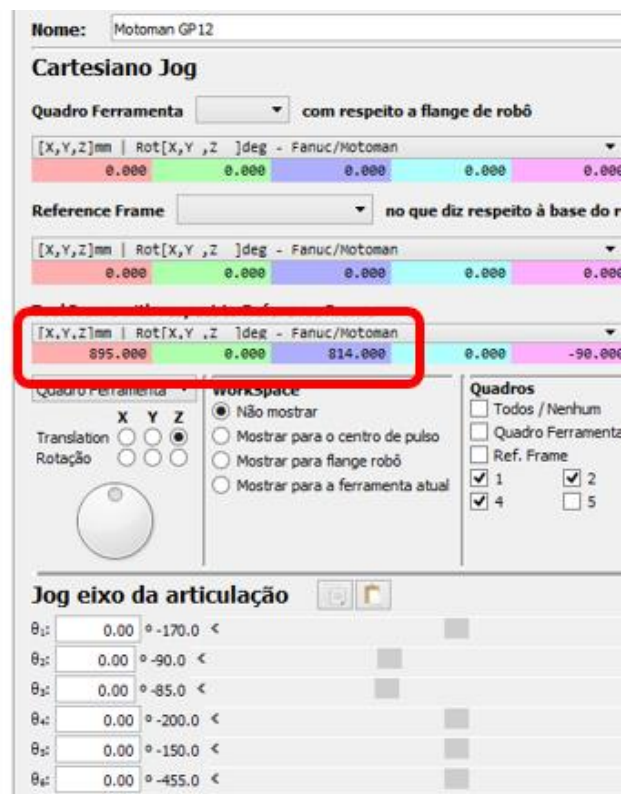
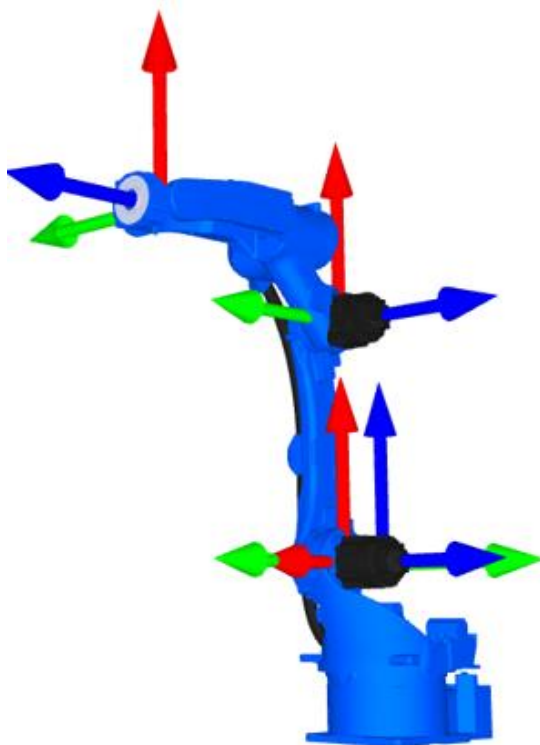
$$Py = 0 \text{ m}$$

$$Pz = 0,814 \text{ m}$$

17]

A validação dos resultados obtidos pode ser verificada na figura 38, na qual apresenta a tela de interface no *software* RoboDK, os parâmetros de posições iniciais do robô Motoman nas coordenadas X, Y e Z.

Figura 38 - Posições de X, Y e Z no RoboDK



Fonte: Autor. 2021.

4.3 FUNCIONAMENTO

4.3.1 Planejamento das trajetórias

Para a eficácia das trajetórias de um robô, ela necessita levá-lo para o local desejado, seguindo um caminho específico, se precavendo a contornar eventuais obstáculos ou elementos da região de trabalho, além de não permitir que os atuadores tenham elevados esforços para chegar a determinado local, para não colocar em risco a integridade mecânica do robô durante seu deslocamento. Segundo Mataric (2014), o planejamento de uma trajetória robótica, envolve a técnica e análise dos movimentos possíveis com o intuito de buscar a trajetória mais satisfatória, isto é, a mais curta, a e mais eficiente, levando em conta a geometria e o seu mecanismo de orientação.

Além dos fatores citados anteriormente, se faz o necessário o controle da posição da trajetória a qual um algoritmo de controle aplicado determina e garante que o robô chegará a um local desejado se programado de maneira eficiente. Outro aspecto importante é o controle da força na ação da garra e da tocha de solda, sobre a superfície do objeto em que ele atua, até porque necessita de uma limitação mínima e máxima de força aplicada, por exemplo, a garra robótica necessita de determinado esforço mínimo para pegar objetos e de um esforço máximo para evitar possíveis danos a peça durante a operação.

4.3.1.1 Trajetória para a garra

No presente projeto, a geração da trajetória para pegar os objetos sob bancada preocupou-se em criar (ensinar) posições para o robô reconhecer possíveis deslocamentos e movimentos para chegar a um determinado local. A tabela 4 apresenta um exemplo de parâmetros que foi aplicado para ensinar o robô a realizar suas trajetórias.

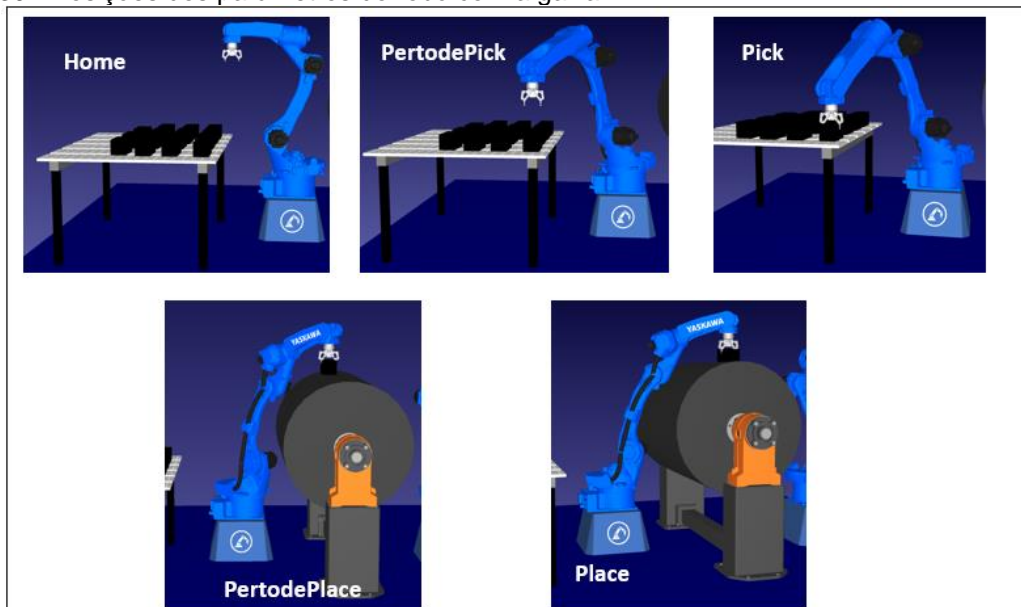
Tabela 5 - Parâmetros trajetória robô com garra

Parâmetro	Definição
Home	posição inicial/final do robô
PertodePick	posição próxima ao objeto sob
Pick	posição para pegar objeto
PertodePlace	posição próxima ao conjunto
Place	posição ideal para colocar o objeto sob o conjunto

Fonte: Autor, 2021

Com a definição desses parâmetros foi possível mover o robô para posições desejadas sem comprometer os espaços de trabalho, isto é, evitando o choque com o robô de solda, com o posicionador, entre outros. Os nomes dos parâmetros foram de escolha do autor, utilizando denominações como “*Pick*” e “*Place*”, traduzidos do inglês para pegar e lugar respectivamente, com o objetivo de destacar os principais locais que o robô precisa chegar para realizar a tarefa de maneira eficaz. A figura 39 a seguir representa um exemplo da utilização dos parâmetros de trajetória do robô, aplicados na tarefa de pegar e posicionar no local desejado da primeira peça.

Figura 39 - Posições dos parâmetros do robô com a garra



Fonte: Autor,2021

Vale destacar que os parâmetros “*PertodePick*” e “*PertodePlace*” não estão em locais desejados, sob objetos, porém são parâmetros necessários na trajetória do robô, uma vez que evitam que o mesmo se movimente de maneira brusca e acelerada, o que poderia causar dano ou falha em sua estrutura mecânica. Com a utilização desses parâmetros, quando o robô chegar nessas posições ele percorrerá poucas distâncias antes de pegar a peça e antes de posiciona-la sob o conjunto para ser soldado, isso acarretará em um maior controle de sua trajetória, de maneira menos acelerada e bem eficiente.

4.3.1.2 Trajetória para a pistola de solda

Na definição das trajetórias para na soldagem das peças concentrou-se em realizar a solda em arco, a qual a unificação dos materiais envolvidos se caracteriza

por um cordão de solda contínua. As trajetórias para essa tarefa se dividiram em duas partes, uma para os objetos que ficavam no lado esquerdo e outra trajetória para os objetos que devem ser soldados no lado direito do conjunto. A tabela 5 apresenta os parâmetros utilizado para as trajetórias de soldagem.

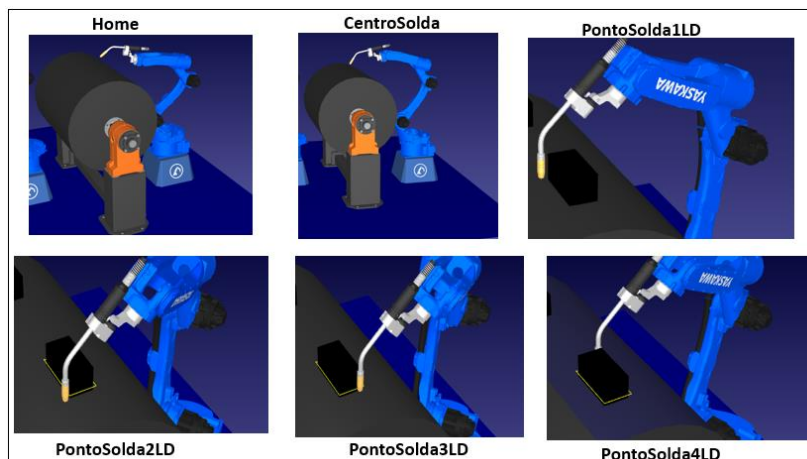
Tabela 6 - Parâmetros trajetória robô de solda

Parâmetro	Definição
Home	posição inicial/final do robô
Centro Solda	posição próxima ao objeto a ser soldado
PontoSolda1LD/LE	1 ^a posição de solda em torno da peça
PontoSolda2LD/LE	2 ^a posição de solda em torno da peça
PontoSolda3LD/LE	3 ^a posição de solda em torno da peça
PontoSolda4LD/LE	4 ^a posição de solda em torno da peça

Fonte: Autor, 2021

Para os parâmetros de “PontoSolda” foram definidas quatro posições, exatamente nas extremidades do objeto, para que assim as trajetórias sejam contínuas e retilíneas caracterizando a solda em arco. Foram divididas em lado direito (LD) e lado esquerdo(LE) para demonstrar que tem a mesma função: posições em torno da peça para a solda em arco, porém não parâmetros com os mesmos valores, pois alguns objetos serão soldados no lado direito do conjunto e outros objetos serão soldados no lado esquerdo do conjunto. A figura 40 apresenta um exemplo da utilização dos parâmetros de trajetória do robô, aplicado na soldagem de dois componentes de solda.

Figura 40 - Posições dos parâmetros do robô de solda



Fonte: Autor, 2021

Assim como os parâmetros utilizados para o robô com garra, os parâmetros do robô de solda também utilizaram posições para se aproximar da peça antes e depois de sua soldagem, para isso utilizou-se o parâmetro “CentroSolda”, podendo ser utilizado para a centralização da ferramenta antes de começar a tarefa e no seu fim voltará para essa posição. Igualmente as trajetórias para pegar objetos, as trajetórias para soldar os componentes também precisam ser com um deslocamento controlado, sem movimentos bruscos e acelerados para não causar nenhum problema na estrutura mecânica do robô. Provocando movimentos com poucas distâncias e mais pausados antes e depois da soldagem.

4.3.2 Programação dos Robôs Industriais

Na programação de robôs industriais são as definições das sequências de ações realizadas pelo robô ao longo da tarefa, podendo ser apenas deslocamentos ou operações com objeto, como pegar e soltar um objeto, tarefas as quais necessitam serem previamente planejadas pelo programador responsável. Conforme Lamb (2014), a automatização dos processos se baseia no uso de comandos lógicos programáveis e de equipamentos mecanizados como formas de substituição das atividades manuais que envolvem tomadas de decisão e comandos-resposta de seres humanos.

Extremamente importante para a aplicação da automação industrial, a programação garante a realização de tarefas conforme o esperado para a área, sendo desenvolvido por profissionais especializados e experientes, com a função de obter resultados precisos para atender de maneira satisfatória a exigência da produção, isto é, a programação só será aplicada em indústria se ela realmente trazer diferenças significativas em relação a operação humana, gerando um custo de programação e produção menores.

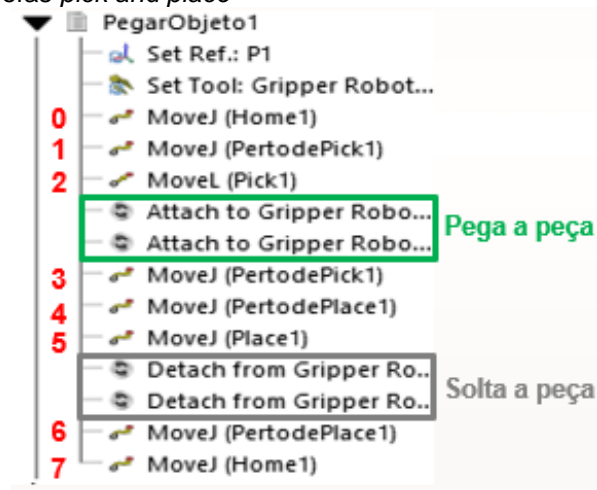
Há dois tipos de programação utilizados na automação industrial: a programação *on-line* e a programação *off-line*. A programação *on-line* se baseia no conceito de que o programador conduz o braço do manipulador de tal forma a realizar os deslocamentos necessários para a execução das tarefas esperadas, a fim de gravar as posições desejadas ao processo. Por sua vez, a programação *off-line* consiste na indicação da tarefa desejada para o robô através de uma linguagem de programação, evitando a exposição do programador no ambiente de operação,

porém pode apresentar por vezes métodos imprecisos e geralmente levam mais tempo do que uma programação *on-line*.

Para o projeto foi aplicado a programação *on-line*, na qual através do deslocamento do manipulador foram gravadas posições para sustentar o movimento dos robôs e que após se fez necessário padronizar todas as posições gravadas e sequenciá-las a fim de percorrer um caminho correto de todas etapas da produção.

Ensinar as posições desejadas ao robô é importante para que ele realize suas trajetórias corretamente, pois necessita-lhe pegar e posicionar a peça de maneira eficaz. As trajetórias foram organizadas e inseridas em um programa para chamar todas as trajetórias, bem como as funções para pegar e posicionar a peça sob o conjunto.

Figura 41 - Sequência tarefas *pick and place*



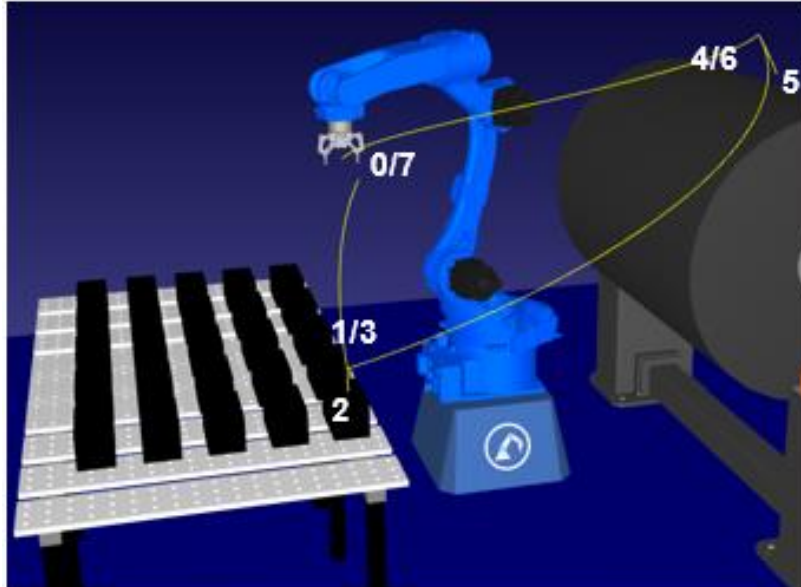
Fonte: Autor, 2021.

Conforme representado na figura 41, foram acrescentados programas extras como “*Attach to Gripper*” e “*Detach from Gripper*”, que do inglês significam “prender na garra” e “desprender da garra”, respectivamente. Percebe-se que a função *attach* é acionada logo após o robô chegar na posição *pick1* que será sob a peça na mesa e a função *dettach* é chamada justamente após o robô chegar na posição *place* que é a região sob conjunto, onde a peça deve ficar, de acordo citado anteriormente.

Os números ao lado esquerdo da figura anterior, podem ser compreendidos mais adequadamente na figura 42, pois mostram cada posição na área de trabalho para cada descrição do parâmetro. Nela está representada o deslocamento do robô

com garra com todas posições que ele encontra, posições estas necessárias com objetivo de pegar e posicionar a primeira peça sob o conjunto.

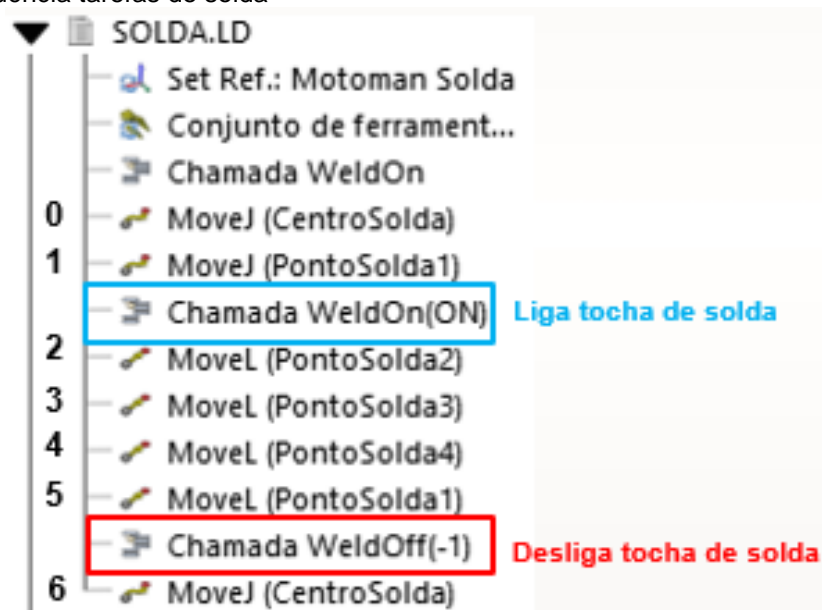
Figura 42 - Trajetórias robô com garra



Fonte: Autor, 2021

A obtenção das trajetórias do robô de solda também foi através de gravações de posições para o robô, determinadas e sequenciadas nos seguintes passos, previstos na figura 43.

Figura 43 - Sequência tarefas de solda

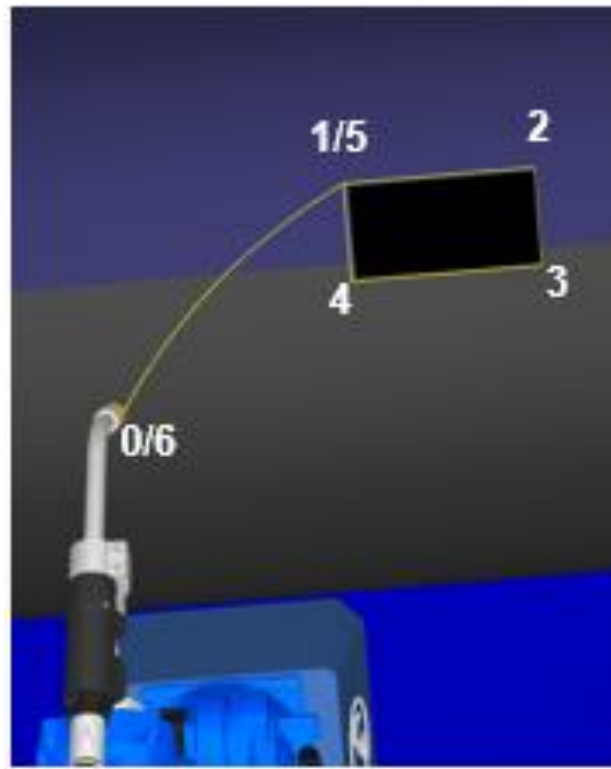


Fonte: Autor, 2021

Na figura anterior está representado o programa para determinar comandos para a realização da soldagem das peças. Nela está destacado dois comandos importantes que foram aplicados na solda dos componentes: “*WeldOn*” e “*WeldOff*”, que tem sua definição por “ligar solda” e “desligar solda”, respectivamente. Nota-se através da programação, que a função “*WeldOn*” vem após a posição “PontoSolda1LD”, que é a primeira região que a tocha de solda irá chegar para fazer a soldagem e partir para demais locais. A última posição será “PontoSolda1LD” pois a ferramenta precisa completar o entorno da peça, logo quando chegar nessa posição novamente a ferramenta será desativa pela função *WeldOf* que está aplicada ao código “-1” para representar o desliga em programação.

Os números em destaque em preto na figura anterior, podem ser compreendidos mais adequadamente na figura 44, pois mostram cada posição na área de trabalho para cada descrição do parâmetro. Nela está representada o deslocamento do robô de solda com todas posições que ele encontra, posições estas necessárias com objetivo soldar as peças junto ao conjunto, a fim de unificar o material.

Figura 44 - Trajetória robô de solda



Fonte: Autor, 2021

Outra programação importante foi a operação do giro do posicionador. A ideia do projeto é soldar 12 peças ao todo no conjunto e para isso se fez necessário programar o posicionador para rotacionar o conjunto durante o processo, para facilitar o trabalho dos robôs, então foram 12 peças distribuídas duas a duas, separadas uma mais na extremidade direita e outra na extremidade esquerda do conjunto, logo para atingir a solda estipulada o posicionador teve que realizar pequenos giros de 60° separadas por cada tarefa de *pick/place* e soldagem.

Tabela 7 - Programação giro posicionador

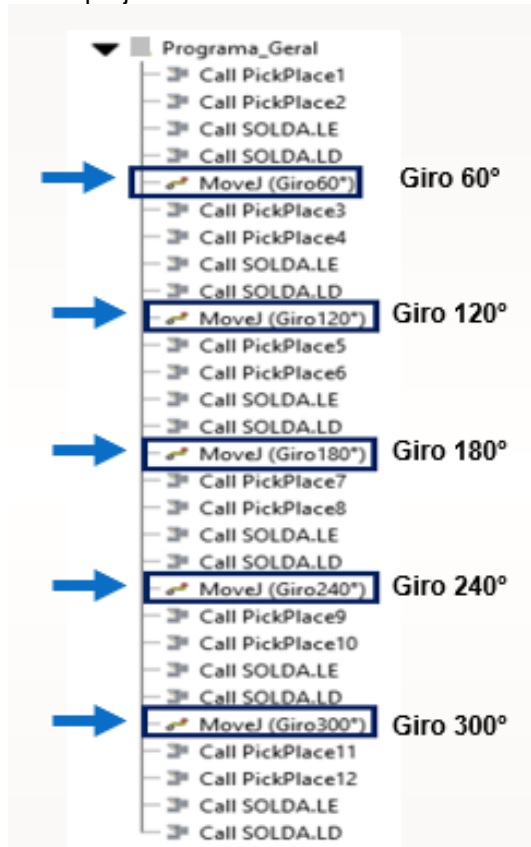
N° Giro	Rotação total	Peças Inseridas
Giro 0	0°	1 e 2
Giro 1	60°	3 e 4
Giro 2	120°	5 e 6
Giro 3°	180°	7 e 8
Giro 4°	240°	9 e 10
Giro 5°	300°	11 e 12

Fonte: Autor, 2021

A tabela 6 apresenta as características da programação que foram consideradas no posicionador, ressaltando que o posicionador só gira após as peças serem soldadas no conjunto. Para englobar todas os deslocamentos e operações do robô com a garra, robô de solda e com a rotação do conjunto, foi aplicado uma programação geral, na qual o objetivo era realizar todas as tarefas gerais do processo de maneira ordenada e sem interrupções.

Na figura 45, está representado a programação final que foi realizada no software RoboDK, para execução do projeto, na qual engloba e chama todas operações necessárias em apenas um único programa, tanto para as atividades de pegar e posicionar as peças, tanto quanto para soldar as peças. Destacado na figura está exatamente fazendo referência ao movimento posicionador, que tem objetivo de rotacionar em 60° para vagar espaços novos para os robôs poderem trabalhar. Nota-se que a utilização dos giros do posicionador apenas está presente após o término de uma operação de solda e sempre antes de novas operações de *pick* e *place* de objetos.

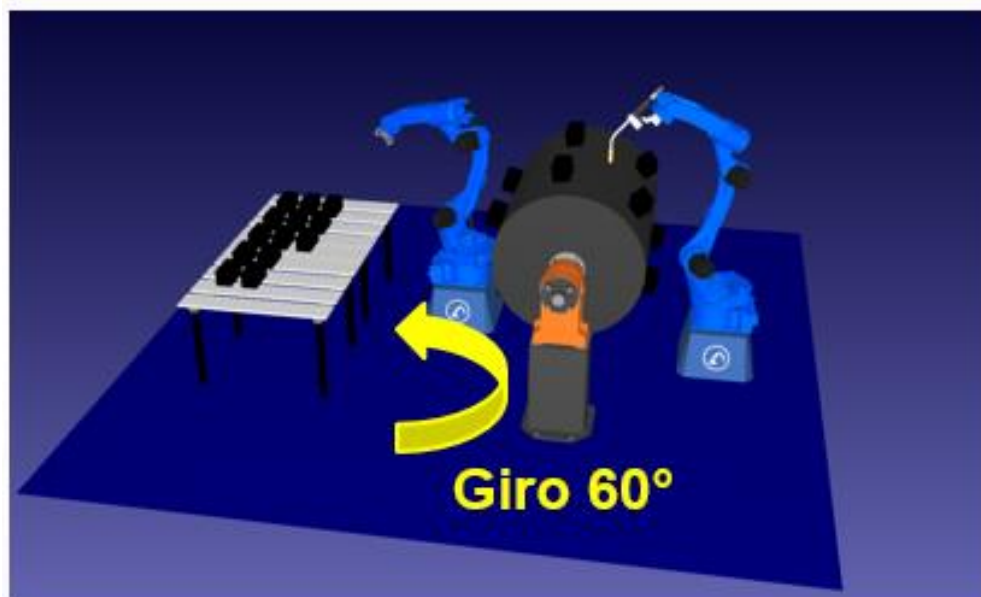
Figura 45 - Programação Geral do projeto



Fonte: Autor, 2021

Uma representação mais compreensível da rotação do posicionador durante a programação está representado na figura 46, na qual apresenta ainda o conjunto finalizado com todas as peças devidamente posicionadas e soldadas no conjunto.

Figura 46 - Rotação posicionador



Fonte: Autor, 2021

O planejamento e a execução adequada da programação das operações industriais, só é possível devido a programação online empregada no processo. Com ela, houve uma facilidade maior de salvar as posições do robô de maneira mais precisa e mais rápida e juntamente com a análise de suas trajetórias e as devidas correções necessárias, bastou apenas sequenciar e organizar todos os parâmetros e deslocamentos de maneira ordenada, a qual nesse programa há movimento de dois robôs industriais e ainda o giro de um posicionador.

Ressalta-se a importância de planejar e estudar antes de executar, pois assim os erros são muito menores e bem mais evitáveis. O software RoboDK é uma boa ferramenta de auxílio para indústrias que pretendem instalar robôs industriais em sua fábrica, em razão de que esse é um software muito completo, permitindo simular qualquer ambiente fabril de sua escolha e que pode melhorar e facilitar ainda mais nos processos produtivos industriais.

5 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho consistia em apresentar a programação e a simulação de um processo industrial robotizado, obtendo êxito em sua realização uma vez que os robôs foram capazes de cumprir as tarefas estabelecidas. Bem como o desenvolvimento da modelagem matemática desenvolvido por meio de cálculos, o estudo das trajetórias, definindo melhores rotas de movimentação e ainda a escolha da programação online para os robôs, na qual foi ensinado posições a ele e em seguida gravado em sua memória determinados locais de atuação.

Vale ressaltar ainda que algumas hipóteses não foram assertivas, tal qual refere-se que a modelagem não era essencial na realização da simulação, o que não se confirma. Portanto, através da realização da programação no software presente projeto, pretende-se contribuir para novas pesquisas e estudos referentes ao assunto, tanto para estudantes quanto para empresas que optem por implementarem robôs na indústria. O RoboDK, o software utilizado no projeto, é muito eficiente para montagens de protótipos e ideias de ambientes robóticas, facilitando na gestão, controle e padronização, muito útil para realização de testes e estudos antes de implementação do robô físico na área industrial.

REFERÊNCIAS

- AMBROSE, G.; HARRIS, P. **Layout**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.
- ABICOR BINZEL. **Tochas de Soldagem Robô**. 2021. Disponível em: <<https://www.binzel-abicor.com/BR/por/produtos/robotic-systems/tochas-de-soldagem-robo/>>. Acesso em: 29 abr. 2021.
- BEHNEN, Vânia Luisa. **Modelagem matemática de um robô SCARA com acionamento pneumático e identificação experimental das principais não linearidades**. 2017. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2017. Disponível em: <<https://bibliodigital.unijui.edu.br>>. Acesso em: 05 mar. 2021.
- CAPELLI, Alexandre. **Automação Industrial**. 2008.
- FILHO, G. F. **Automação de processos e de sistemas**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2014.
- GARCIA, Claudio. **Controle de processos industriais**. 1 ed. São Paulo: Blucher, 2017.
- INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. **Acionamento hidrostático dá força e precisão a robôs**. 30 mai. 2016. Disponível em: <<https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=acionamento-hidrostatico-forca-precisao-robos>>. Acesso em: 09 mai. 2021.
- ISO. **ISO 8373. Standard 8373 - Robots and robotic devices - Vocabulary**. 2012.
- JUNIOR, Carlos. **Ciclo PDCA: uma ferramenta imprescindível ao gerente de projetos**. Project Builder, 17 jun. 2021. Disponível em: <<https://www.projectbuilder.com.br/blog/ciclo-pdca-uma-ferramenta-imprescindivel-ao-gerente-de-projetos>>. Acesso em: 21 mai. 2021.
- LAMB, Frank. **Automação Industrial**. 1. ed. São Paulo: AMGH, 2015.
- MATARIC, Maja J. **Introdução à robótica**. São Paulo: Unesp, 2014.
- MENEZES, L. C. de M. **Gestão de Projetos**. 4 ed. São Paulo: Atlas Ltda, 2018.
- MOTOMAN. **GP12 – Robô multiuso de alta velocidade**. Disponível em: <<https://www.motoman.com/pt-br/products/robots/industrial/assembly/gp-series/gp12>>. Acesso em: 12 abr. 2021.
- NEW ABB. **Robótica ABB**. 2021 Disponível em: <<https://new.abb.com/products/robotics/pt>>. Acesso em: 11 mar. 2021.
- ROBOTIC. **Adaptive Robot Gripper**. Disponível em: <<https://robotiq.com/products/2f85-140-adaptive-robot-grippert>>. Acesso em: 11 mar. 2021.

ROMERO, R. A. F.; PRESTES, E.; OSÓRIO, F.; WOLF, D. **Robótica Movél**. 1 ed. São Paulo: LTC, 2014.

ROSÁRIO, J. M. **Robótica Industrial I – Modelagem, Utilização e Programação**. São Paulo: Baraúna, 2012.

SANTOS, W. E. dos.; JUNIOR, J. H. C. G. **Robótica Industrial: Fundamentos, Tecnologias, Programação e Simulação**. São Paulo: Saraiva, 2015.

SICILLIANO, Bruno; SCIAVICCO, Lorenzo; VILLANI, Luigi; ORIOLO, Giuseppe. **Robotics: Modelling, Planning and Control**. 1 ed. Itália: Springer, 1996.

STEVAN JR., S. L.; SILVA, R. A. **Automação e Instrumentação Industrial com Arduino: teoria e projetos**. 1. ed. *E-book*. São Paulo: Érica/Saraiva, 2015.

TOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. de. **Sensores industriais fundamentos e aplicações**. 9. ed. São Paulo: Érica, 2011.

UNIVERSAL ROBOTS. **O que são garras robóticas?** 18 nov.2020. Disponível em: <<https://www.universal-robots.com/br/blog/o-que-s%C3%A3o-garras-rob%C3%B3ticas/U>>. Acesso em: 10 jun. 2021.

APÊNCIDE A – CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO PARA PEGAR E POSICIONAR

```
PegarObj.JBI x
1  /JOB
2  //NAME PegarOb
3  //POS
4  ///NPOS 7,0,0,0,0,0
5  ///TOOL 85
6  ///POSTYPE PULSE
7  ///PULSE
8  C00000=-104,-82,1,-3,-173,-47
9  C00001=-128,19,-4,0,-66,-52
10 C00002=-128,25,-17,0,-48,-52
11 C00003=-43,15,38,0,-112,28
12 C00004=-34,19,37,0,-108,34
13 C00005=-43,15,38,0,-112,28
14 C00006=-104,-82,1,-3,-173,-47
15 //INST
16 ///DATE 2021/06/20 19:02
17 ///COMM Generated using RoboDK
18 ///ATTR SC,RW
19 ///GROUP1 R81
20 NOP
21 'Program generated by RoboDK v
22 '5.2.3 for Motoman GP12 on 20/
23 '06/2021 19:02:06
24 'Using nominal kinematics.
25 'Using P1 (targets wrt base):
26 '-630.0,-860.0,23.5,0.0,0.0,0.0.
27 '0
28 'Tool 85 (Gripper Robotiq 85 0
29 'pened) should be close to:
30 '0.0,0.0,130.0,0.0,0.0,0.0
31 MOVJ C00000 VJ=50.00
32 MOVJ C00001 VJ=50.00
33 MOVL C00002 V=100.0
34 'Attach to Gripper Robotiq 85
35 'Opened
36 'Attach to Gripper Robotiq 85
37 'Opened
38 MOVJ C00003 VJ=50.00
39 MOVJ C00004 VJ=50.00
40 'Detach from Gripper Robotiq 8
41 '5 Opened
42 'Detach from Gripper Robotiq 8
43 '5 Opened
44 MOVJ C00005 VJ=50.00
45 MOVJ C00006 VJ=50.00
46 CMD
```


APÊNCIDE B – CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO PARA SOLDAR

```
SOLDAJBI - VSCodium
File Edit Selection View Go Debug Terminal Help

SOLDAJBI x
1  JOB
2  //NAME SOLDA
3  //POS
4  ///NPOS 6,0,0,0,0,0
5  ///TOOL 9
6  ///POSTYPE PULSE
7  ///PULSE
8  C00000-16,-11,10,-168,68,-16
9  C00001-34,-3,17,25,-72,-214
10 C00002-41,-11,10,28,-76,-219
11 C00003-20,-19,4,14,-71,-199
12 C00004-16,-11,10,-168,68,-16
13 C00005--44,-39,-26,-74,-42,-107
14 //INST
15 ///DATE 2021/06/20 19:06
16 ///COMM Generated using RoboDK
17 ///ATTR SC,RW
18 ///GROUP1 R81
19 NOP
20 'Program generated by RoboDK v
21 '5.2.3 for Motoman GP12 on 20/
22 '06/2021 19:06:11
23 'Using nominal kinematics.
24 'Using Motoman GP12 Solde (tar
25 'gets wrt base):
26 '0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0
27 'Tool Weld Torch Abicor Binzel
28 ' 45deg should be close to:
29 '-4.0,0.0,371.3,-5.0,45.0,0.0
30 MOVJ C00000 VJ=50.00
31 CALL JOB:WeldOn0
32 MOVL C00001 V=100.0
33 CALL JOB:WeldOn0
34 MOVL C00002 V=100.0
35 CALL JOB:WeldOn0
36 MOVL C00003 V=100.0
37 CALL JOB:WeldOn0
38 MOVL C00004 V=100.0
39 CALL JOB:WeldOff
40 MOVJ C00005 VJ=50.00
41 FND
```

APÊNCIDE C – CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO PARA ATIVAR SOLDA

```

#Constant variables for the first parameter:
ACTION_RESET = -1
ACTION_OFF = 0
ACTION_ON = 1

#Define the default Action (ACTION_ON to activate, ACTION_RESET to clear any spray gun/trace)
#Setting in to None will display a message
Action = ACTION_OFF
|
#Define the default color as a named color or as #AARRGGBB (Alpha, Red, Green, Blue)
# COLOR = 'blue'
COLOR = '#CC3344FF' #AARRGGBB

#Use a specific tool as a spray gun
Tool_Name = None #use the active tool
#Tool_Name = Torchl

Object_Name = None

from robolink import *
from robdtk import *
RDK = Robolink()

if RDK.RunMode() != RUNMODE_SIMULATE:
    quit()

import sys
if len(sys.argv) > 1:
    Action_str = sys.argv[1].strip().upper()
    if 'ON' in Action_str:
        Action = ACTION_ON
    elif 'OFF' in Action_str:
        Action = ACTION_OFF
    elif 'RESET' in Action_str:
        Action = ACTION_RESET
    else:
        Action = int(Action_str)

    if len(sys.argv) > 2:
        Tool_Name = sys.argv[2].strip()
        if Tool_Name == '':
            Tool_Name = None

    if len(sys.argv) > 3:
        COLOR = sys.argv[3].lower().strip()

#Display summary
print("Applying action: " + str(Action))
print("Using tool: " + str(Tool_Name))
print("Using color: " + COLOR)

info, data = RDK.Spray_GetStats()
n_sprays = data.size(1)
spray_id = -1
if n_sprays > 0 and Tool_Name is not None:
    spray_id = RDKgetParam(Tool_Name)
    if spray_id is None or Action == ACTION_ON or type(spray_id) == str or spray_id >= n_sprays:
        spray_id = -1

print("Spray gun statistics:")
print(info)
print(data.tr())

if Action is None:
    print('Note: This macro can be called as ArcStart(1) or ArcStart(0) or ArcStart(-1)')
    entry = messagebox('Turn gun ON or OFF', ('On','1'),('Off','0'))
    if not entry:
        quit()
    Action = int(entry)

if Action == ACTION_OFF:
    RDK.Spray_SetState(SPRAY_OFF, spray_id)

elif Action == ACTION_RESET:
    RDK.Spray_Clear(spray_id)

elif Action == ACTION_ON:
    RDK.Spray_SetState(SPRAY_ON, spray_id)

```

ANEXO B – DATASHEET POSICIONADOR IRBL 1000

— Specification

Variants	Handling capacity (kg)	Max continuous torque (Nm)	Max bending moment (Nm)	Repetitive accuracy ($r=500$)	Max rotation speed ($^{\circ}/s$)
IRBP L-300	300	350	600	+/-0.05	180
IRBP L-600	600	650	3300	+/-0.05	150
IRBP L-1000*	1000	900	5000	+/-0.05	150
IRBP L-2000	2000	3800	15000	+/-0.05	90
IRBP L-5000	5000	9000	60000	+/-0.05	39

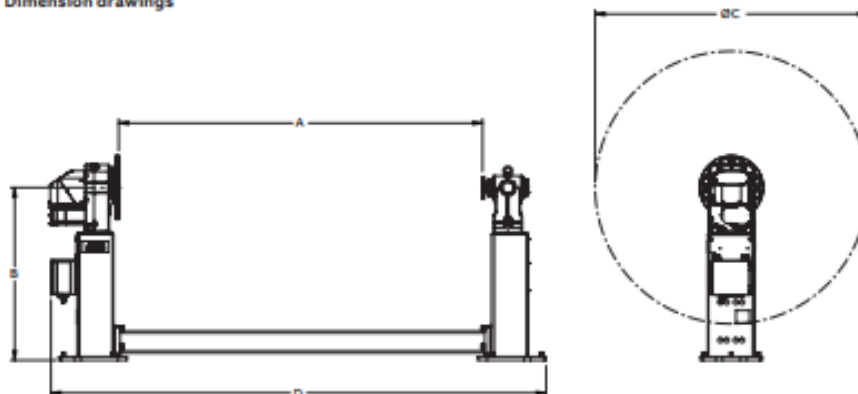
Maximum handling capacity decreases when the length between the rotary unit and the support collar (dimension A below) is greater than 2000mm.

— Measurements

Variants	A	B	ø C	D
IRBP L-300	1250	950	1500	1979
	1600	950	1500	2329
	2000	950	1500	2729
	2500	950	1500	3229
	3150	950	1500	3879
	4000	950	1500	4729
IRBP L-600 & IRBP L-1000	1250	950	1500	2182
	1600	950	1500	2532
	2000	950	1500	2932
	2500	950	1500	3432
	3150	950	1500	4082
	4000	950	1500	4932
IRBP L-2000	1250	950	1500	2423
	1600	950	1500	2773
	2000	950	1500	3173
	2500	950	1500	3673
	3150	950	1500	4323
	4000	950	1500	5173
IRBP L-5000	-	1200	2200	-
	-	1200	2200	-
	-	1200	2200	-
	-	1200	2200	-
	-	1200	2200	-
	-	1200	2200	-

For complementary information, please see the product specification. ABB reserves the right to change data without notice.

Dimension drawings



ANEXO C – DATASHEET PISTOLA DE SOLDA AIROB

ABIROB® A360 / A500

Mounting Brackets and Tool Center Point

