

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA**

**ENGENHARIA ELÉTRICA - HABILITAÇÃO EM ROBÓTICA E
AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

Lucas Monteiro Nogueira Guida

**Automação de soldagem de pinos em cabines automotivas utilizando um
robô manipulador de seis graus de liberdade**

**Juiz de Fora
2018**

Lucas Monteiro Nogueira Guida

Automação de soldagem de pinos em cabines automotivas utilizando um robô manipulador de seis graus de liberdade

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Rocha Olivi

Juiz de Fora

2018

Imprimir na parte inferior, no verso da folha de rosto a ficha disponível em:
<http://www.ufjf.br/biblioteca/servicos/usando-a-ficha-catalografica/>

A FICHA CATALOGRÁFICA SERÁ INSERIDA NA VERSÃO FINAL

Lucas Monteiro Nogueira Guida

Automação de soldagem de pinos utilizando um robô manipulador de seis graus de liberdade

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Leonardo Rocha Olivi - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Exuperry Barros Costa
Universidade Federal de Juiz de Fora

Esp. José Augusto Almeida Cardoso
Mercedes-Benz do Brasil

Esp. Ronnie Silveira de Oliveira
Mercedes-Benz do Brasil

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais e amigos, sempre presentes em minha vida, tornando os momentos proveitosos e intensos, oferecendo suporte e carinho. Também a todos os professores que me acompanharam ao longo da graduação, transmitindo seu conhecimento e corroborando para a minha formação, tanto no âmbito acadêmico quanto no pessoal e comportamental.

Agradeço aos companheiros da Mercedes-Benz, que não mediram esforços para me auxiliar na execução do presente trabalho, me mostrando os aspectos práticos da engenharia e o ambiente industrial como um todo.

“As pessoas que tentam fazer este mundo pior não tiram um dia de folga.

Por que eu deveria?”

(Bob Marley)

RESUMO

Este trabalho almeja expor como pode ser feita a automação de uma atividade muito presente na indústria, a soldagem de pinos automotivos. Essa tarefa é essencial na produção de cabines de automóveis, já que os pinos são alicerces para a fixação de componentes fundamentais. Para isso, foi utilizado um robô manipulador de seis graus de liberdade da marca Kuka, uma cabeça de solda de pinos da marca Tucker, juntamente com seu armário de comando de solda. Primeiramente, o modelo matemático do robô foi elaborado via parametrização de Denavit-Hartenberg, a fim de obter sua cadeia cinemática. Posteriormente foi selecionado um tipo específico de pino, juntamente com um corpo de prova, então o robô foi masterizado. Por fim, o código foi desenvolvido via programação *on-line* ativa e o projeto foi colocado em prática. A execução do procedimento foi eficiente, comprovando a aplicabilidade do método de programação escolhido e a funcionalidade do programa elaborado.

Palavras-chave: Manipuladores Robóticos, Automação Industrial, Indústria Automotiva.

ABSTRACT

The present work aims to expose how stud welding can be automated, since it is an industry relevant activity. This task is essential on the automotive cabin production, once the studs are foundation for the fixation of fundamental devices. For this matter, it was employed a six degree-of-freedom Kuka manipulator robot, together with a Tucker welding gun and its control and energy unit. Firstly, the mathematical model of the robot was developed via Denavit-Hartenberg parameters, in order to obtain its kinematic chain. Then a specific type of stud was selected, together with a proof body and the robot was mastered. Finally, the code was developed means active online programming and the project was put into practice. The execution of the procedure was efficient, proving the applicability of the chosen programming method and the functionality of the developed program.

Keywords: Robotic Manipulators, Industrial Automation, Automotive Industry.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - ESQUEMÁTICO DA ANALOGIA ENTRE MANIPULADORES ROBÓTICOS E O BRAÇO HUMANO	13
FIGURA 2 - EXEMPLO DE MANIPULADOR ROBÓTICO	16
FIGURA 3 – EXEMPLO DE EFETUADOR PISTOLA PARA SOLDA DE PINOS	17
FIGURA 4 – EXEMPLO DE PISTOLA PARA APLICAÇÃO DE PVC	18
FIGURA 5 – EXEMPLO DE PINÇA DE SOLDA	18
FIGURA 6 – EXEMPLO DE VAPORIZADOR PARA PINTURA	19
FIGURA 7 – EXEMPLO DE UMA GARRA ACOPLADA	19
FIGURA 8 - SEQUÊNCIA DE ELOS	20
FIGURA 9 - JUNTA TIPO ESFÉRICA	21
FIGURA 10 - JUNTA TIPO CILÍNDRICA	21
FIGURA 11 - JUNTA TIPO PRISMÁTICA	21
FIGURA 12 - JUNTA TIPO ROTACIONAL	21
FIGURA 13 - ROBÔ PLANAR	22
FIGURA 14 - JUNTAS DE UM MANIPULADOR ROBÓTICO	22
FIGURA 15 - TRANSLAÇÃO NO PLANO XY	23
FIGURA 16 - ROTAÇÃO NOS TRÊS EIXOS	23
FIGURA 17 - PROGRAMAÇÃO ON-LINE VIA PAINEL DE CONTROLE	24
FIGURA 18 - PROGRAMAÇÃO ON-LINE PASSIVA	25
FIGURA 19 - PROGRAMAÇÃO ON-LINE ATIVA, CONTROLE DA POSIÇÃO DE CADA EIXO	25
FIGURA 20 - MOVIMENTO PONTO A PONTO	26
FIGURA 21 - MOVIMENTO LINEAR	27
FIGURA 22 - MOVIMENTO CIRCULAR	27
FIGURA 23 - PROGRAMAÇÃO OFF-LINE	28
FIGURA 24 - EXEMPLO DE ARQUIVO COM EXTENSÃO .DAT	29
FIGURA 25 - EXEMPLO DE ARQUIVO COM EXTENSÃO .SRC	29
FIGURA 26 - DETALHAMENTO DA LINHA DE PROGRAMAÇÃO	30
FIGURA 27 - ESQUEMÁTICO DA CINEMÁTICA DIRETA	30
FIGURA 28 - MATRIZ DE TRANSFORMAÇÃO	31
FIGURA 29 - DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DO MANIPULADOR PARA A MESMA POSIÇÃO DO EFETUADOR	31
FIGURA 30 - PINOS T, PARA APLICAÇÕES COM ESPAÇO RESTRITO USADOS POR EXEMPLO NA FIXAÇÃO DE FEIXE DE CABOS	33
FIGURA 31 - PINO COM ROSCA ESPECIAL PARA FIXAÇÃO DE PEÇAS PLÁSTICAS	33
FIGURA 32 - PINO PARA FIXAÇÃO DE PORCAS METÁLICAS	33
FIGURA 33 - PINO PARA FIXAÇÃO DE PORCAS METÁLICAS	33
FIGURA 34 - PINO PARA FIXAÇÃO DE PORCAS METÁLICAS	34
FIGURA 35 - PINO PARA FIXAÇÃO PERMANENTE DE COMPONENTES	34
FIGURA 36 - PINO AUXILIAR DE MONTAGEM	34
FIGURA 37 - PINO USADO PARA MONTAGEM DE PARTES MÓVEIS	34
FIGURA 38 - PINO DE TRAVAMENTO PARA MONTAGEM MANUAL SEM TORQUE	34
FIGURA 39 - PINO ENCOSTADO NA CHAPA SUBMETIDO À TENSÃO	35
FIGURA 40 - PINO É AFASTADO PARA PRODUÇÃO DO ARCO VOLTAICO	35
FIGURA 41 - AMBOS CORPOS SÃO FUNDIDOS E A POÇA DE SOLDA É FORMADA	36
FIGURA 42 - PINO É INSERIDO NA POÇA DE SOLDA	36
FIGURA 43 - SOLDA MANUAL DE PINOS	36
FIGURA 44 - SOLDA AUTOMÁTICA DE PINOS	36
FIGURA 45 - SEQUÊNCIA DE PINOS SOLDADOS E UM REMOVIDO	36
FIGURA 46 - DETALHE DO PINO REMOVIDO, QUE RETIROU PARTE DA CHAPA SEM DESFAZER A SOLDA	37
FIGURA 47 - ARMÁRIO DE SOLDA DE PINOS TUCKER	37
FIGURA 48 - INTERIOR DO ARMÁRIO DE SOLDA	37
FIGURA 49 - DESTAQUE DO ATERRAMENTO DO CORPO DE PROVA	38
FIGURA 50 – DIMENSÕES EM MILÍMETROS E ESPAÇO DE TRABALHO DO ROBÔ KUKA KR200	39
FIGURA 51 - INFORMAÇÕES SOBRE O ROBÔ UTILIZADO	39
FIGURA 52 - ESQUEMÁTICO DO CONJUNTO ENTALHE E PINO DE MEDIÇÃO	40
FIGURA 53 – DA DIREITA PARA A ESQUERDA: CONEXÃO ELETRÔNICA, ENTALHE DE REFERÊNCIA E PINO DE MEDIÇÃO	40

FIGURA 54 - PAINEL DE CONTROLE UTILIZADO	41
FIGURA 55 – TELA GENÉRICA COM A INFORMAÇÃO DA VERSÃO DO SOFTWARE	42
FIGURA 56 - DETALHE DO SOFTWARE DO KCP UTILIZADO.....	42
FIGURA 57 - CORPO DE PROVA UTILIZADO.....	43
FIGURA 58 - DETALHE DAS TECLAS PARA ALTERAÇÃO DO SISTEMA DE COORDENADAS.....	44
FIGURA 59 – ESQUEMA DA ORIGEM DO SISTEMA DE COORDENADAS WORLD	44
FIGURA 60 - DETALHE DO SISTEMA DE COORDENADAS SELECIONADO.....	45
FIGURA 61 - PISTOLA DE SOLDA APROXIMADA DA CHAPA	45
FIGURA 62 - ESQUEMÁTICO DO RESULTADO ESPERADO: PINOS SOLDADOS SOBRE O CORPO DE PROVA.....	48
FIGURA 63 - ROBÔ NA POSIÇÃO INICIAL, HOME POSITION.....	55
FIGURA 64 - ROBÔ NO PONTO 2, MIRANDO A CHAPA	55
FIGURA 65 - ROBÔ NO PONTO 3, O PONTO DE APROXIMAÇÃO	56
FIGURA 66 - ROBÔ NO PONTO 4, APROXIMADO DA CHAPA PARA SOLDAR O PRIMEIRO PINO.....	56
FIGURA 67 - PISTOLA ACIONADA E ARCO VOLTAICO PRODUZIDO	56
FIGURA 68 - PINO IMPREGNADO NA CHAPA	56
FIGURA 69 – FINALIZAÇÃO DA PRIMEIRA SOLDA E RECUO DA PISTOLA	57
FIGURA 70 - ROBÔ NO PONTO 5, PARA REALIZAR A SOLDAGEM DO SEGUNDO PINO	57
FIGURA 71 - SOLDAGEM DO SEGUNDO PINO E DOS SUBSEQUENTES	57
FIGURA 72 - FINALIZAÇÃO DA SOLDA DO ÚLTIMO PINO.....	57
FIGURA 73 - RETORNO AO PONTO DE APROXIMAÇÃO	58
FIGURA 74 - ROBÔ VOLTA À HOME POSITION	58

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – MODELO DENAVIT-HARTENBERG DO ROBÔ UTILIZADO	46
--	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	OBJETIVOS DO TRABALHO.....	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TÉCNICA.....	16
2.1	MANIPULADORES ROBÓTICOS.....	16
2.2	EFETUADOR.....	17
2.3	ELO.....	20
2.4	JUNTA.....	20
2.5	GRAUS DE LIBERDADE.....	21
2.6	MÉTODOS DE PROGRAMAÇÃO.....	23
2.6.1	<i>On-Line</i>	24
2.6.2	<i>Off-Line</i>	27
2.7	CINEMÁTICA DIRETA.....	30
2.8	CINEMÁTICA INVERSA.....	31
3	MODELAGEM.....	32
3.1	SOLDAGEM DE PINOS.....	32
3.1.1	Pino	32
3.1.2	Princípio de Funcionamento	35
3.1.3	Armário de Solda	38
3.2	ROBÔ.....	39
3.2.1	Masterização	40
3.2.2	Programação	41
3.3	CINEMÁTICA DIRETA DO ROBÔ VIA DH.....	47
4	RESULTADOS.....	49
4.1	CÓDIGO.....	49
4.1.1	Código .src	50
4.1.2	Código .dat	52
4.2	TRAJETÓRIA E SOLDAGEM.....	56

5	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	60
5.1	CONCLUSÕES.....	60
5.2	TRABALHOS FUTUROS.....	60
	REFERÊNCIAS.....	61

1 INTRODUÇÃO

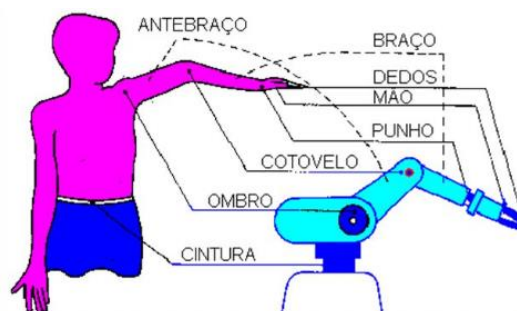
Com a terceira revolução industrial, o mundo ingressou em uma etapa de profundas evoluções no campo tecnológico, empregando as novas tecnologias sobretudo no meio produtivo industrial. Essa revolução deu início também ao desenvolvimento da robótica, que pode ser dividida, a princípio, em duas grandes áreas: robótica móvel e robótica de manipuladores [1].

A robótica móvel diz respeito a dispositivos construídos de forma que tenham capacidade de se mover no espaço e interagir com o ambiente. Esses mecanismos geralmente são equipados com rodas, esteiras, pernas, dentre outros aparelhos que possibilitam sua locomoção. De outra forma, a robótica de manipuladores versa sobre máquinas fixas, ou seja, incapazes de se deslocar no ambiente, tendo sua base estática [1].

Os manipuladores robóticos existem em diversos formatos para os mais diversos propósitos, sendo os antropomórficos aqueles que se assemelham, especialmente, a um braço humano assim como exemplificado pela Figura 1. Sua base é fixada e suas juntas e elos permitem fazer uma analogia ao corpo humano. Tal fato é naturalmente justificado tendo em vista que os manipuladores robóticos foram projetados para executar ações realizadas tipicamente por seres humanos [2].

Nesse ponto é importante salientar que o emprego dessas tecnologias no ambiente produtivo industrial trouxe vantagens e desvantagens. Como ponto positivo é possível citar o aumento da produtividade e qualidade do produto. Diferente do operador humano, os mecanismos robóticos têm uma notável capacidade de repetição, o que garante que a peça final tenha as características desejadas; além disso, esses equipamentos têm uma agilidade de performance notável assegurando um maior volume de produção.

Figura 1 - Esquemático da analogia entre manipuladores robóticos e o braço humano



Fonte: Solucionando - Sistemas Supervisórios, Sensores, Atuadores e Robótica [3]

Sendo assim, o emprego de manipuladores robóticos na indústria pode ser útil do ponto de vista produtivo, já que podem ser utilizados diretamente na produção ou como assistência aos operadores humanos. Outra vantagem do uso de robôs é a sua fácil reprogramação, o que os torna versáteis e flexíveis, podendo executar tarefas distintas. Ademais, manipuladores robóticos são capazes de operar em ambientes hostis, insalubres para o ser humano, além de ter a capacidade de realizar serviços repetitivos e por longos períodos ininterruptos [4].

Por outro lado, a aplicação dessa tecnologia tem desvantagens, como o decréscimo da contratação de mão de obra de baixa especialização na indústria. Como ponto negativo, é possível também citar o aumento do nível de especialização da mão de obra, visto que o emprego de novas tecnologias exige operários melhor qualificados para lidar com elas. Por fim, há o viés político da robotização das indústrias, que é a migração das indústrias de países pobres para países desenvolvidos, onde há trabalhadores capacitados [4].

Uma das áreas em que mais se observou robotização foi o setor produtivo industrial, mais especificamente a indústria automotiva. Nela, há a execução de diversas tarefas repetitivas, onde a qualidade desempenha um papel essencial. Exemplos dessas tarefas são furação, soldagem, movimentação de chapas, suspensão e manipulação de cargas, transporte de material, pintura, parafusação, montagem, dentre outras [4].

Há muito tempo, essas atividades vêm sendo realizadas manualmente por operários humanos. Entretanto, já que se tratam, por vezes, de atividades repetitivas, insalubres e que demandam precisão, tornam-se ótimas candidatas para a automação.

1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

Nesse contexto, percebe-se a viabilidade do emprego de manipuladores robóticos em várias dessas tarefas. Restringindo-se por hora à produção de cabines automotivas, nota-se a presença de pinos no interior e exterior dela; esses pinos têm a finalidade de fixar acabamentos, estofados, acessórios periféricos como rádio e antena, dentre outras. Um dos fabricantes mais expressivos dessa tecnologia é o Tucker [5], que disponibiliza pistolas e pinos, além dos outros equipamentos adjacentes necessários para a soldagem de pinos nas cabines.

Posto isso, neste trabalho objetiva-se automatizar o processo de soldagem de pinos Tucker em cabines automotivas. Propõe-se o emprego de um braço robótico da fabricante Kuka modelo KR 200 [6], juntamente com uma pistola de solda de pinos Tucker, também chamada

de cabeça de solda, acoplada ao seu efetuator para realizar com êxito, precisão e acurácia a tarefa proposta.

O principal objetivo é detalhar a solução proposta e implementá-la no robô real, no laboratório disponibilizado pela Mercedes-Benz do Brasil unidade de Juiz de Fora. O propósito é soldar uma fileira de pinos seguindo uma linha reta horizontal numa chapa metálica, simulando a aplicação real na linha de produção. Posteriormente, se estenderá o método empregado para outros processos passíveis de automação, colocando, dessa forma, em prática os conhecimentos obtidos no meio acadêmico.

2 FUNDAMENTAÇÃO TÉCNICA

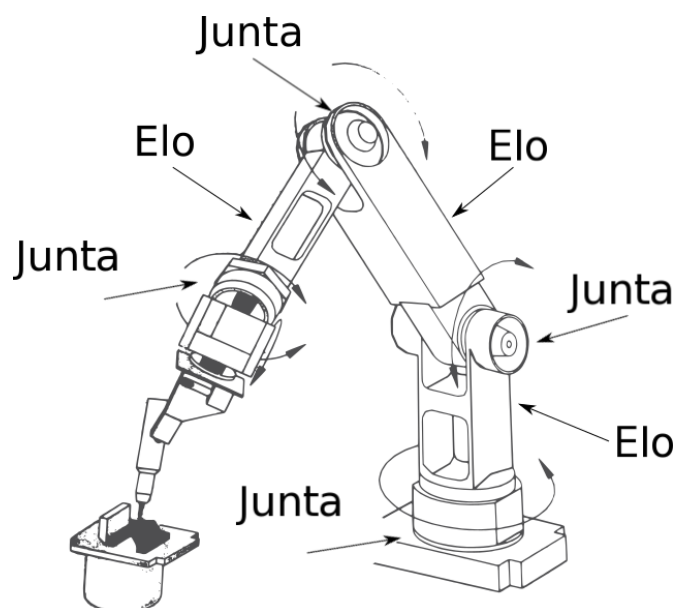
Com a finalidade de cumprir o objetivo proposto, múltiplos conceitos e técnicas foram aplicadas, viabilizando o êxito na tarefa almejada. Este capítulo se dedica a elucidar sobre os temas empregados para a execução desta obra, estabelecendo a fundamentação técnica utilizada em sua confecção.

2.1 MANIPULADORES ROBÓTICOS

Segundo a definição da Associação Industrial de Robótica (RIA, do inglês *Robotics Industrial Association*) [7] [8], manipuladores robóticos são dispositivos eletro-mecânico-pneumáticos programáveis construídos de forma que possam interagir com o ambiente e alterar o estado de um objeto, agregando valor. Os manipuladores robóticos têm sua base fixa, não tendo a capacidade de se locomover.

Os manipuladores são compostos basicamente por elos e juntas, sendo os elos as partes rígidas do robô, que têm a finalidade de conectar as juntas, as quais são as partes capazes de executar movimentos, que acionam os elos. Muito frequentemente, os braços robóticos possuem ferramentas acopladas ao seu efetuator, ou, o termo conhecido do inglês, *end effector*, que os permite executar determinadas tarefas [9] [10]. Um exemplo de manipulador pode ser encontrado na Figura 2.

Figura 2 - Exemplo de manipulador robótico



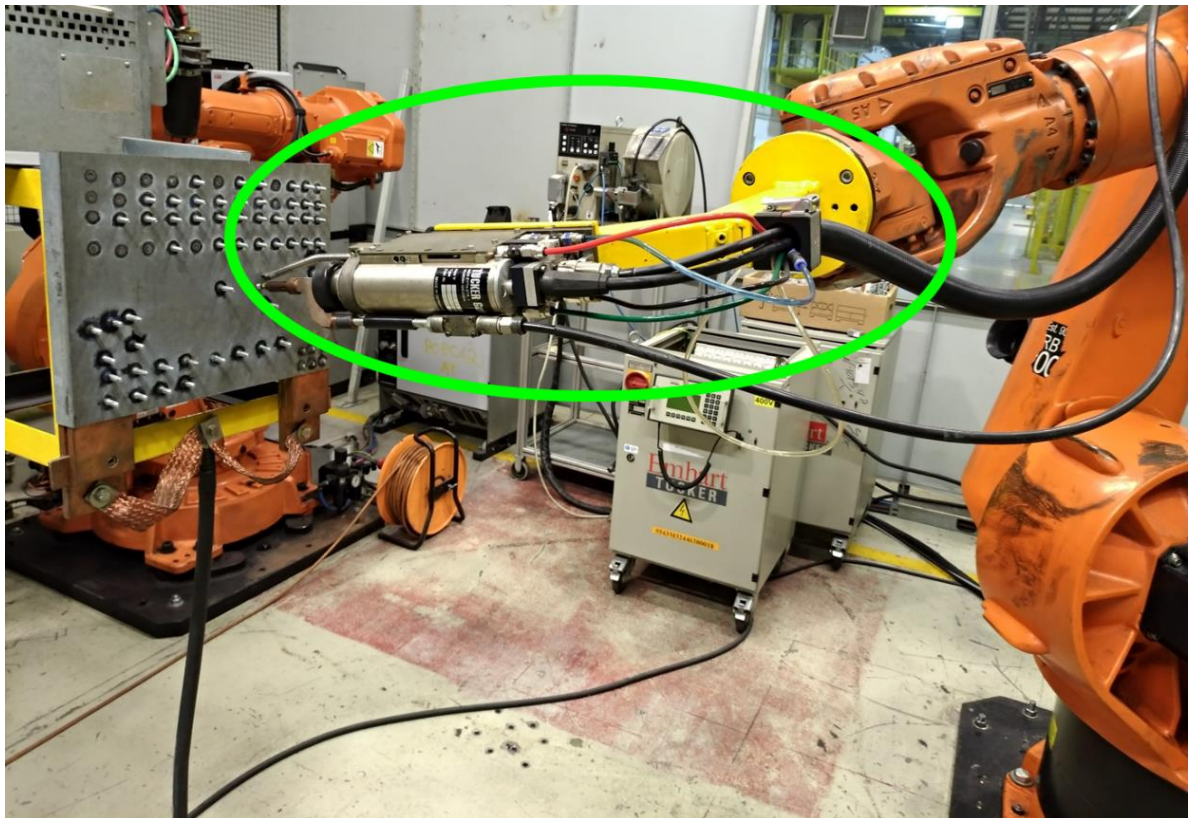
Fonte: Imagem adaptada de PAZOS, Fernando – Automação de Sistemas & Robótica[11]

2.2 EFETUADOR

O efetuador, do inglês *end-effector*, é o componente que promove a interação do manipulador robótico com o ambiente. É uma denominação genérica para se referir à ferramenta utilizada pelo robô ao executar determinada tarefa, sendo que essa ferramenta é acoplada ao último ligamento do robô. Logo o efetuador é o elemento final da cadeia cinemática, responsável por desempenhar o trabalho para o qual o robô foi projetado [13].

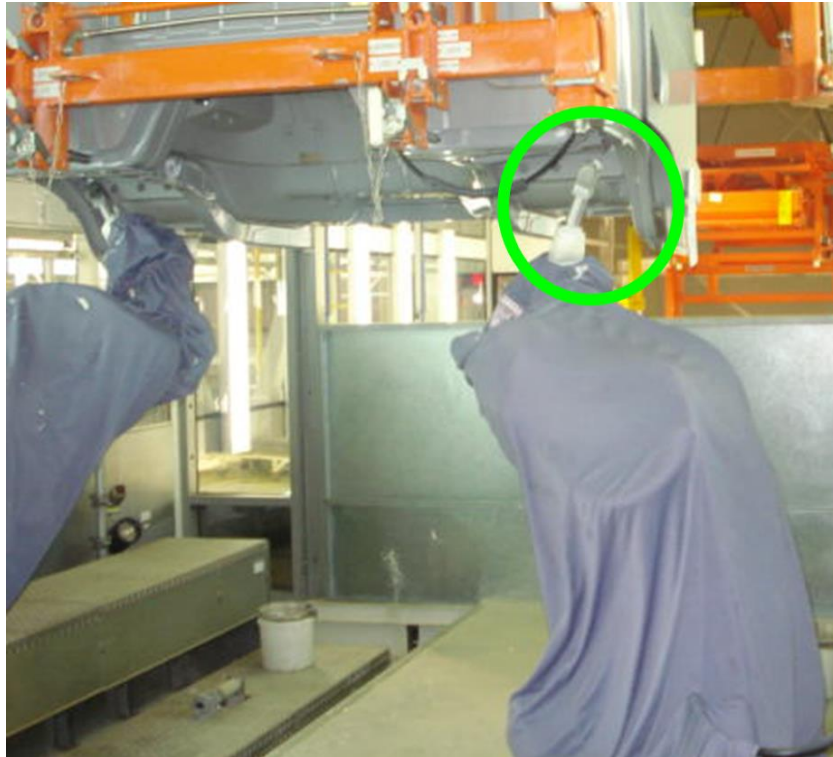
Como exemplos de *end-effector* é possível citar pinças de solda, pistolas de pintura, furadeiras e garras. Nas Figuras 3, 4, 5, 6 e 7 é possível observar destacados com um círculo alguns efetuadores típicos acoplados aos manipuladores.

Figura 3 – Exemplo de efetuador pistola para solda de pinos



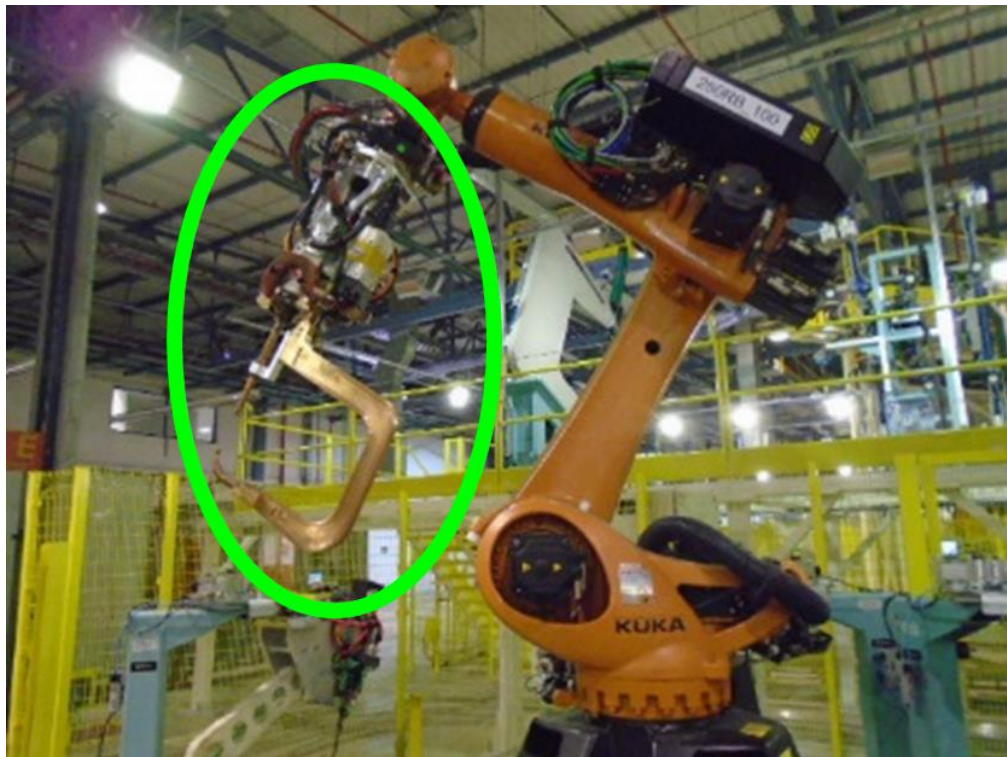
Fonte: Autor

Figura 4 – Exemplo de pistola para aplicação de PVC



Fonte: Autor

Figura 5 – Exemplo de pinça de solda



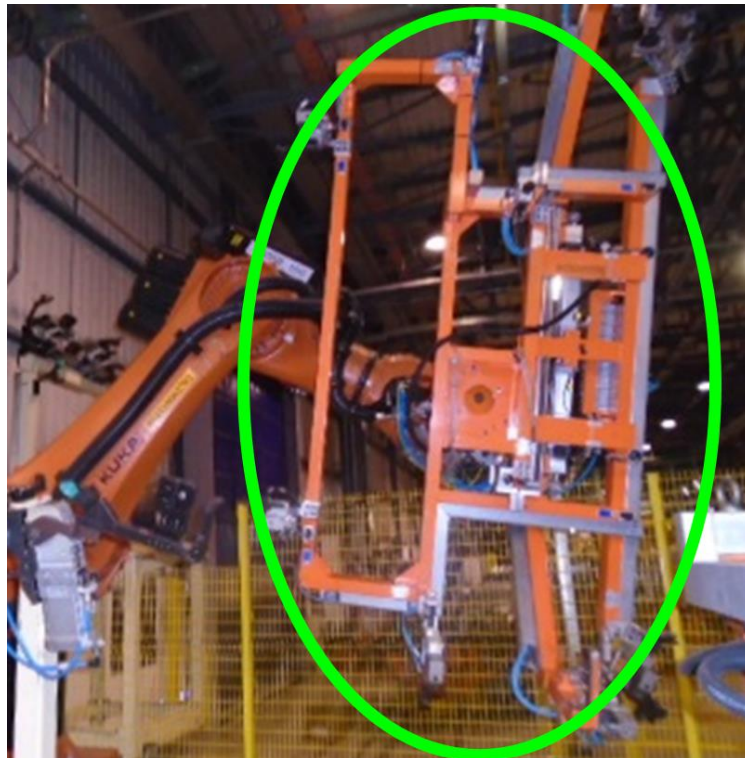
Fonte: Autor

Figura 6 – Exemplo de vaporizador para pintura



Fonte: Autor

Figura 7 – Exemplo de uma garra acoplada

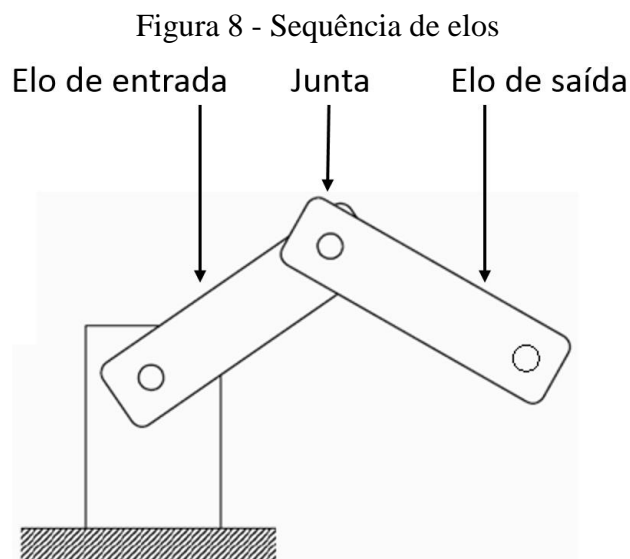


Fonte: Autor

2.3 ELO

Os elos são as partes rígidas que unem as juntas, seu termo correspondente em inglês é *link* e os movimentos por eles realizados dependem da junta à qual estão ligados. Eles formam o corpo da cadeia cinemática e podem também ser compreendidos como hastes.

Nos braços robóticos, o elo mais próximo da base do manipulador é chamado de elo de entrada, enquanto o elo mais próximo da junta final é denominado elo de saída [14], conforme ilustrado na Figura 8.



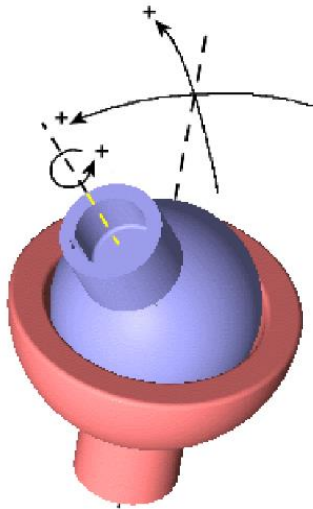
Fonte: Imagem adaptada de Mário Luiz Tronco [10]

2.4 JUNTA

As juntas, do inglês *joints*, são responsáveis por modificar a posição de um elo em relação ao outro. Elas são as partes que de fato realizam o movimento e são geralmente classificadas em juntas esféricas, cilíndricas, prismáticas e rotacionais, sendo as duas últimas mais frequentes no ambiente industrial [14]. Abaixo, nas Figuras 9, 10, 11 e 12 há alguns exemplos das juntas citadas.

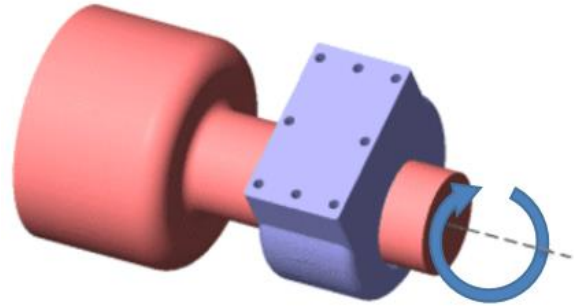
As juntas prismáticas têm a capacidade de realizar uma translação sobre determinado eixo, ou seja, realizam um movimento de expansão ou contração em linha reta. Dessa forma diz-se que elas possuem um grau de liberdade. As juntas rotacionais efetuam rotação ao redor de determinado eixo e pode-se fazer uma analogia com o movimento realizado pelo ombro. Por proporcionar a variação de uma dimensão ela possui apenas um grau de liberdade [14].

Figura 9 - Junta tipo esférica



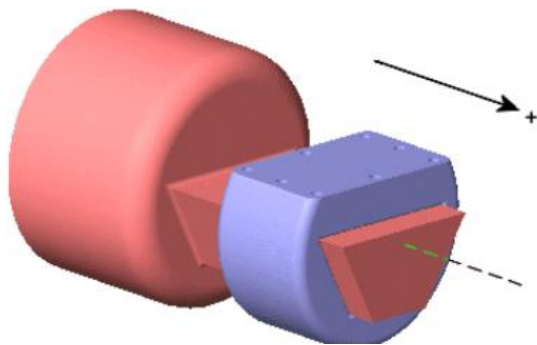
Fonte: Olivi, L.R., 2016 [4]

Figura 10 - Junta tipo cilíndrica



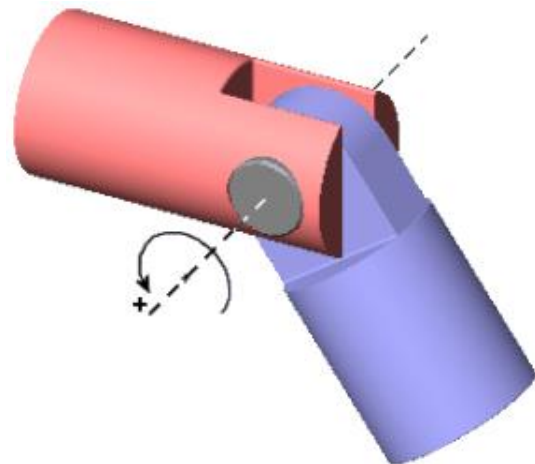
Fonte: Olivi, L.R., 2016 [4]

Figura 11 - Junta tipo prismática



Fonte: Olivi, L.R., 2016 [4]

Figura 12 - Junta tipo rotacional



Fonte: Olivi, L.R., 2016 [4]

2.5 GRAUS DE LIBERDADE

Grau de liberdade é um conceito essencial na descrição do movimento de corpos. Ele representa o número de variáveis independentes necessárias para descrever completamente a posição de um corpo no espaço. A título de exemplo, um robô planar possui dois graus de liberdade, uma vez que somente se movimenta no plano xy como é possível observar na Figura 13 [14].

Entretanto quando se fala em manipuladores robóticos mais complexos observa-se que eles possuem mais graus de liberdade, já que são capazes de executar múltiplas tarefas. No caso proposto, o robô KUKA KR 200 possui seis graus de liberdade [6], um para cada eixo. Isso

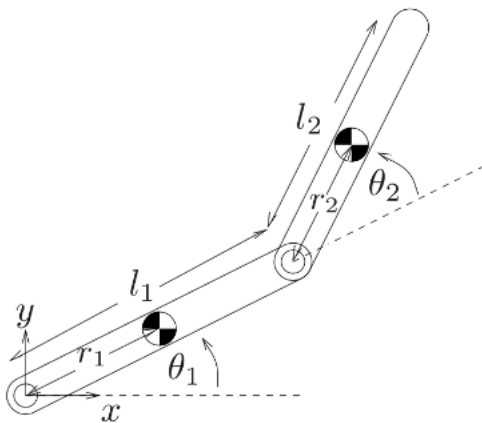
significa que é necessário o conhecimento do valor da posição de cada junta para se determinar a configuração do robô. De outra forma, diz-se que é possível determinar o arranjo do robô tendo em mãos apenas esses seis valores. Na Figura 14 está disposto um esquemático do robô explicitando suas juntas e graus de liberdade.

No âmbito matemático os graus de liberdade, ou do inglês *degrees of freedom*, são tratados em termos de translações e rotações. Para as translações, que são os movimentos de deslizamento sobre uma reta e que não alteram a orientação dos eixos, são atribuídas as letras x, y e z, representando o movimento nos três eixos, respectivamente. Na Figura 15 é possível observar uma translação em duas dimensões, no plano xy.

Já as rotações são movimentos giratórios que o corpo em questão descreve ao redor de um eixo de giro, mudando a orientação dos eixos cartesianos. Esse eixo pode ser x, y ou z e as rotações em torno de cada um recebem respectivamente o nome de *Roll*, *Pitch* e *Yaw*, conforme ilustrado na Figura 16 [4].

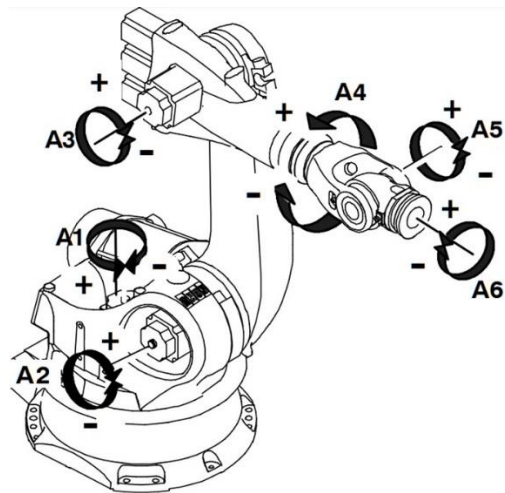
Tais conceitos são importantes para a posterior compreensão e modelagem dos movimentos do robô.

Figura 13 - Robô planar



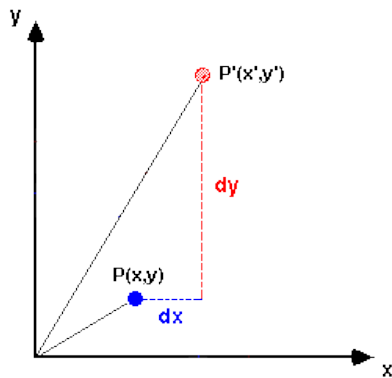
Fonte: Feedback control of two-link planar manipulator [15]

Figura 14 - Juntas de um manipulador robótico



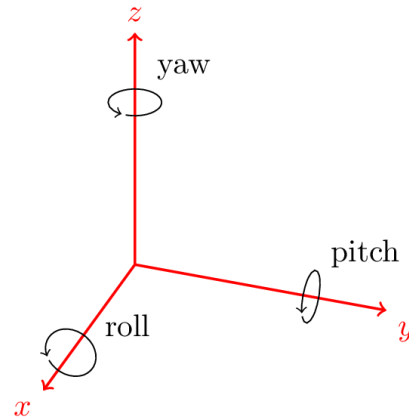
Fonte: manual KUKA "KR 5 sixx R650, R850 Specification"

Figura 15 - Translação no plano xy



Fonte: WikiEngenharia Matriz de Translação [16]

Figura 16 - Rotação nos três eixos



Fonte: CoRec [17]

2.6 MÉTODOS DE PROGRAMAÇÃO

Outrora, as linguagens de programação eram baseadas em comandos simples e intuitivos, mas com o desenvolvimento da tecnologia, principalmente no que tange à capacidade de processamento dos computadores [18] elas se tornaram o que são hoje, possibilitando o estado atual de automação robotizada.

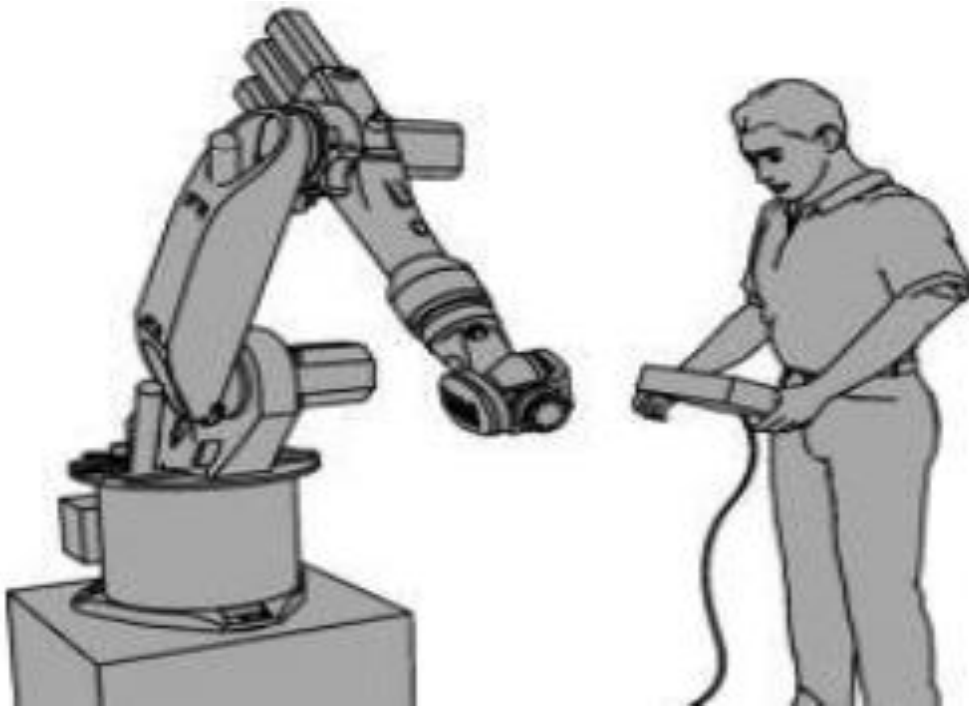
É importante observar que existem diversas formas de um robô executar uma mesma tarefa, cabendo ao projetista designar a que soluciona o problema de maneira ótima, sendo em relação a tempo, custo, trajeto, consumo de energia, segurança e assim por diante. Para que os robôs realizem as incumbências desejadas, é necessário que elas sejam bem determinadas e que eles sejam programados, de forma que a programação de um robô é a sequência de ações que ele deve realizar.

Posto isso, existem diferentes meios pelos quais o autômato recebe a intenção do utilizador em forma de programa, sendo que existe uma normatização para esses procedimentos. Contudo, cada fabricante desenvolveu seu próprio método de programação, o adequando para seus próprios robôs. Os métodos de programação podem ser divididos, a grosso modo, em dois, por aprendizagem ou *on-line*, e textual, chamado também de *off-line* [19].

2.6.1 On-Line

O método de programação *on-line* utiliza a abordagem de aprendizagem, ou seja, o robô é guiado pelo usuário ao longo do caminho desejado. Para isso, o programador se vale do dispositivo mestre-escravo ou painel de controle, como exposto na Figura 17 [19].

Figura 17 - Programação on-line via painel de controle



Fonte: *Anwenderorientierte Programmierung von Industrierobotern* [20]

Nesse procedimento de aprendizagem são transmitidos ao robô os pontos que ele deve percorrer e tarefas que deve executar, sendo possível também a posterior edição desses comandos. Além disso, são definidos outros parâmetros, como velocidade de execução, tipo de movimento, repetição do programa e ferramenta acoplada, visto que o robô pode necessitar diferentes aparelhos durante o processo, no caso de executar tarefas variadas.

Dentro da programação por aprendizagem ainda é possível segmentar em passiva e ativa. Na primeira, o programador conduz o extremo do braço robótico com as mãos e o movimenta pelo caminho desejado, conforme a Figura 18. Esse método é usualmente empregado na automatização de pintura [19].

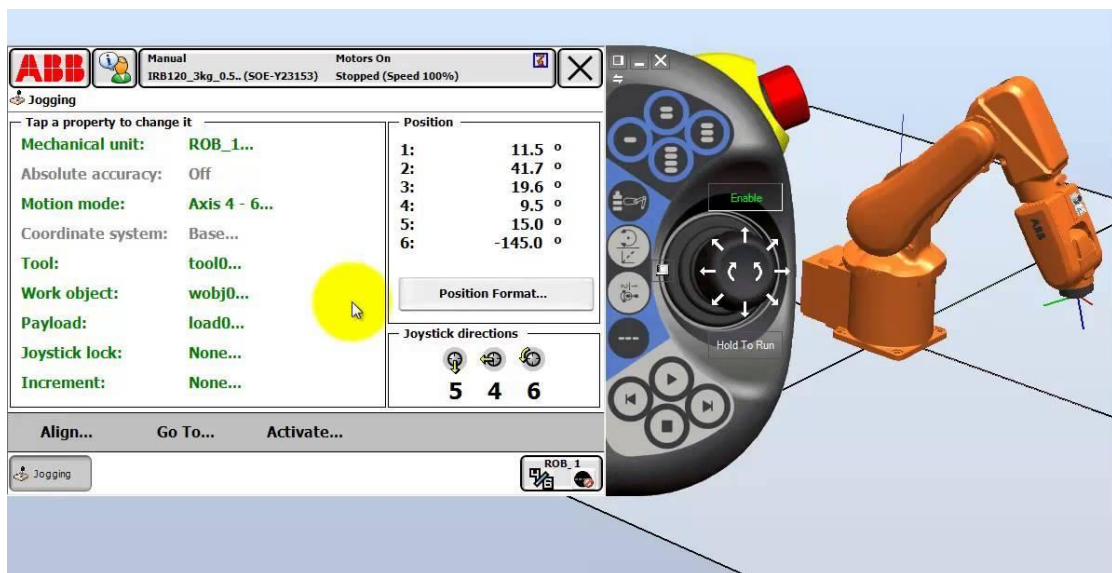
Já na segunda forma de programação o usuário controla os motores do manipulador, movimentando-o eixo a eixo ao longo da trajetória, assim como exposto na Figura 19. Esse método é geralmente utilizado na programação de soldagem de ponto.

Figura 18 - Programação on-line passiva



Fonte: *Anwenderorientierte Programmierung von Industrierobotern* [20]

Figura 19 - Programação on-line ativa, controle da posição de cada eixo



Fonte: *BCIT Mechatronics and Robotics* [21]

A programação *on-line* é útil e de simples implementação uma vez que permite ao utilizador programar o robô de forma direta, ocorrendo de maneira intuitiva. Além disso ela é essencial nas aplicações que demandam trajetórias bem definidas. Entretanto uma das maiores desvantagens da programação *on-line* é a necessidade de utilização do robô no seu meio de produção, impondo uma parada na linha de produção. É importante salientar também que os movimentos gravados são reproduzidos fielmente, ou seja, se ocorreu alguma manobra indevida ou indesejada, será necessário editar o programa, demandando mais tempo de programação [19].

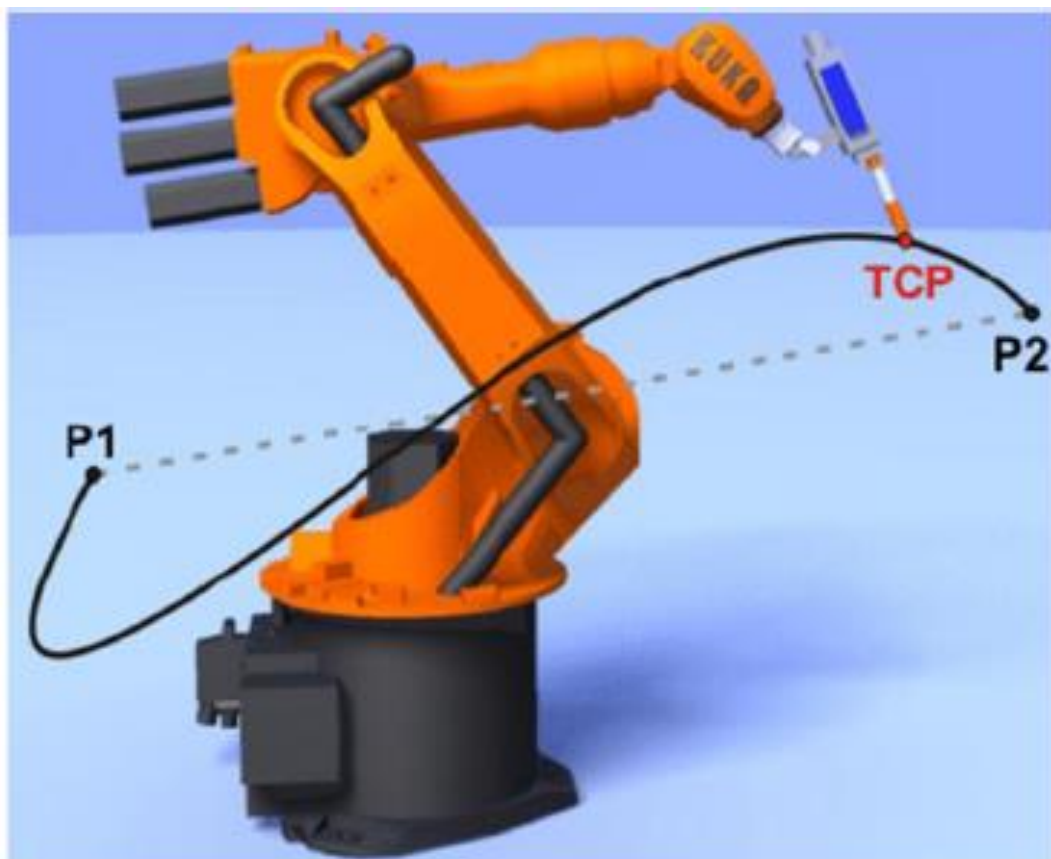
Ainda dentro da programação *on-line* é possível descrever alguns movimentos realizáveis. No que diz respeito à tecnologia dos robôs Kuka, há três tipos de movimento: ponto a ponto, ou *point-to-point*, linear e o circular [19].

No movimento ponto a ponto, o robô executará uma sequência de movimentos aprendida se deslocando de um ponto ao outro da melhor maneira para a configuração de suas juntas, podendo movimentar uma de cada vez, por exemplo. Nesse caso, o caminho percorrido não é definido pelo usuário e sim pelo robô, conforme exposto na Figura 20.

No movimento linear, o robô seguirá uma trajetória em forma de linha reta, indo de um ponto ao outro pela distância mais curta. Aqui é necessário que o manipulador realize um controle coordenado de todas as juntas para manter o caminho em linha reta, assim como ilustrado na Figura 21. É importante salientar que a posição angular do TCP não é alterada no movimento linear.

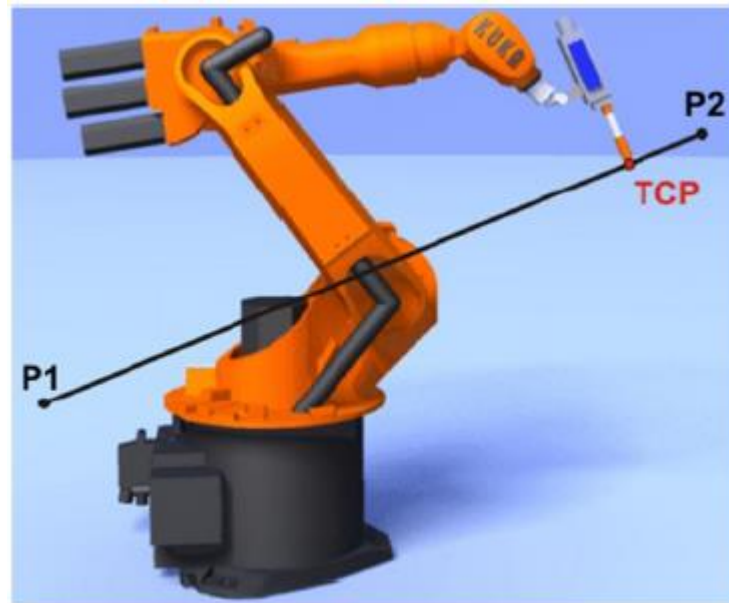
Já no movimento circular, o usuário deverá fornecer um ponto intermediário para que o robô se movimente do ponto inicial ao final descrevendo uma circunferência que passe pelo ponto auxiliar, como se observa na Figura 22.

Figura 20 - Movimento ponto a ponto



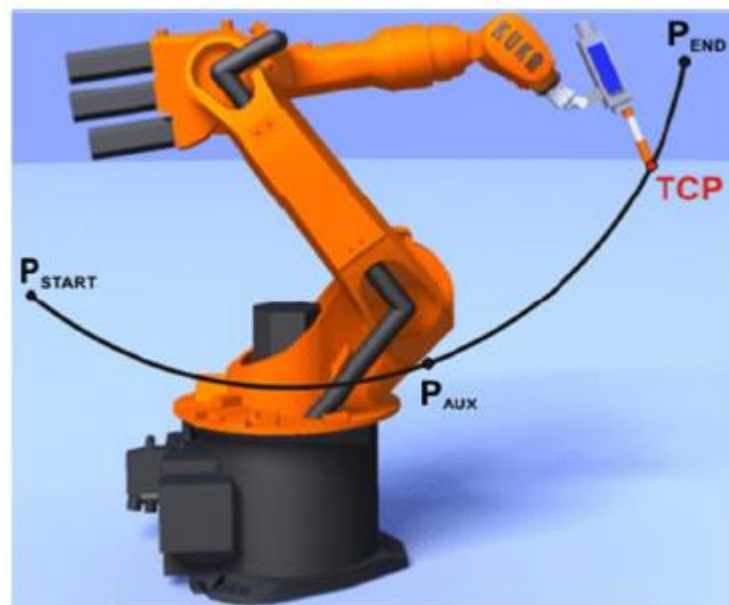
Fonte: Suporte da Siemens [22]

Figura 21 - Movimento linear



Fonte: Suporte da Siemens [22]

Figura 22 - Movimento circular



Fonte: Suporte da Siemens [22]

2.6.2 *Off-line*

No método de programação *off-line*, ou programação textual, as instruções são transmitidas ao robô através de uma linguagem de programação, assim como representado pela Figura 23. Essa linguagem é geralmente de alto nível, o que significa que o grau de abstração é

elevado, tornando a programação mais próxima da linguagem humana e mais distante da linguagem de máquina [23]. Dessa forma as características do processador, como instruções e registradores ficam transparentes para o programador, não sendo necessário o prévio conhecimento dessas peculiaridades.

Como vantagens da programação textual pode-se mencionar a dispensa de parada de linha de produção, visto que o robô pode executar suas tarefas enquanto a próxima é programada. Ademais, há um aumento na segurança da operação, uma vez que o operador não permanece próximo ao manipulador durante sua programação. Por fim é possível dizer que a programação é simplificada, já que um mesmo código pode ser reaproveitado para outros robôs, aumentando a eficiência e eficácia da integração da linha de produção.

Contudo, a programação *off-line* tem suas limitações como a necessidade de se levar em consideração as aproximações e imprecisões do modelo utilizado em relação ao robô real. Ou seja, a resolução do controlador pode não ser suficiente, comumente há imprecisão na montagem dos componentes e a dificuldade de se determinar com exatidão a posição dos objetos utilizados em relação ao sistema de coordenadas empregado.

No universo desta obra a linguagem de programação utilizada é a KRL, do inglês *Kuka Robot Language*. É uma linguagem similar ao *Pascal*, desenvolvida pela própria empresa, que retém os direitos autorais, ou seja, é uma linguagem proprietária. É importante salientar que todo código KRL é composto por dois arquivos, um com a extensão *.dat* e outro *.src*. O primeiro é um arquivo de dados permanente, apresentando uma linguagem mais próxima à de máquina, conforme a Figura 24.

Já o segundo contém uma aparência mais simples, dispondo de forma direta as informações essenciais ao programador como tipo de movimento, velocidade, ferramenta acoplada e sistema de coordenadas empregado. Na Figura 25 há uma imagem da tela do dispositivo de programação e na Figura 26 o detalhamento da linha de código.

Figura 23 - Programação off-line



Fonte: *Anwenderorientierte Programmierung von Industrierobotern* [20]

Figura 24 - Exemplo de arquivo com extensão .dat

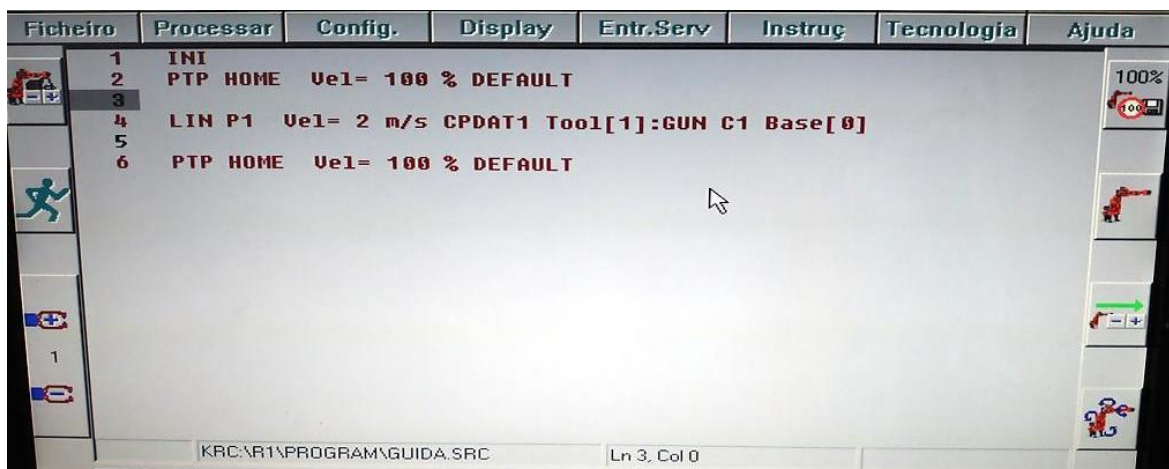
```

Sconfig.dat
608 INT P01_STEP
609 INT CHK_STEP
610 INT PGNO_FLAG
611
612 ; Table for assign SPS program number to program name
613 INT MAX_SPS_PROG=12
614 DECL SPS_PROG_TYPE SPS_PROG[12]
615 SPS_PROG[1]={PROG_NR 1,PROG_NAME [] "HP01 ()    "}
616 SPS_PROG[2]={PROG_NR 2,PROG_NAME [] "HP02 ()    "}
617 SPS_PROG[3]={PROG_NR 3,PROG_NAME [] "HP03 ()    "}
618 SPS_PROG[4]={PROG_NR 4,PROG_NAME [] "HP04 ()    "}
619 SPS_PROG[5]={PROG_NR 5,PROG_NAME [] "HP05 ()    "}
620 SPS_PROG[6]={PROG_NR 6,PROG_NAME [] "HP06 ()    "}
621 SPS_PROG[7]={PROG_NR 7,PROG_NAME [] "HP07 ()    "}
622 SPS_PROG[8]={PROG_NR 8,PROG_NAME [] "HP08 ()    "}
623 SPS_PROG[9]={PROG_NR 9,PROG_NAME [] "HP09 ()    "}
624 SPS_PROG[10]={PROG_NR 10,PROG_NAME [] "HP10 ()   "}
625 SPS_PROG[11]={PROG_NR 62,PROG_NAME [] "HP62 ()   "}
626 SPS_PROG[12]={PROG_NR 63,PROG_NAME [] "HP63 ()   "}
627 DECL CHAR TMPNAME[128]
628 TMPNAME []=""
629 ;ENDFOLD (AUTOEXT GLOBALS)
630 ;FOLD BackupManagerConfig

```

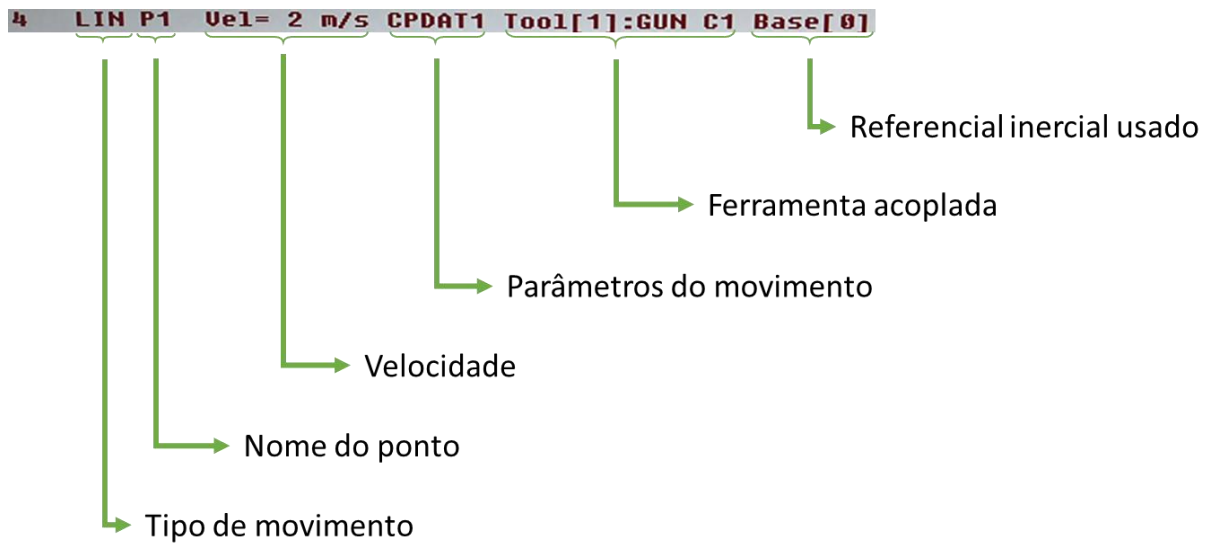
Fonte: Kuka Robot Forum [24]

Figura 25 - Exemplo de arquivo com extensão .src.



Fonte: Autor

Figura 26 - Detalhamento da linha de programação



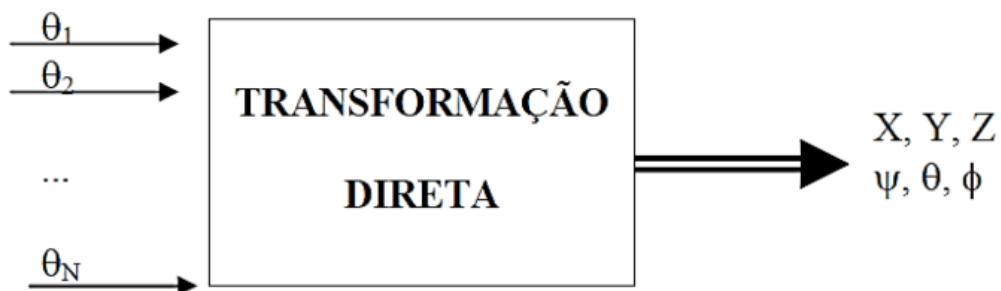
Fonte: Autor

2.7 CINEMÁTICA DIRETA

Cinemática direta, ou do alemão *Direkte Kinematik*, é o nome do processo pelo qual é possível se obter a configuração do efetuador, ou seja, sua posição e orientação, a partir do arranjo das juntas do manipulador ao qual ele está acoplado [4]. Tal procedimento é realizado através de operações matemáticas aplicadas sobre as variáveis das juntas, isto é, o tamanho dos elos e os ângulos das juntas, e pode ser melhor elucidado pela Figura 27.

A Figura 28 representa uma matriz de transformação homogênea, a partir da qual é possível realizar o procedimento desejado. Por fim, objetiva-se alcançar uma relação matemática que associe os valores das juntas com a posição e orientação do *end-effector*.

Figura 27 - Esquemático da cinemática direta



Fonte: Olivi, L.R., 2016 [4]

Figura 28 - Matriz de transformação

$$TR_{\{0\}}^{\{n\}} = \begin{array}{c} \text{Rotação} \qquad \text{Translação} \\ \left[\begin{array}{ccc|c} P_x^{\{x\}} & P_x^{\{y\}} & P_x^{\{z\}} & \Delta x \\ P_y^{\{x\}} & P_y^{\{y\}} & P_y^{\{z\}} & \Delta y \\ P_z^{\{x\}} & P_z^{\{y\}} & P_z^{\{z\}} & \Delta z \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right] \end{array}$$

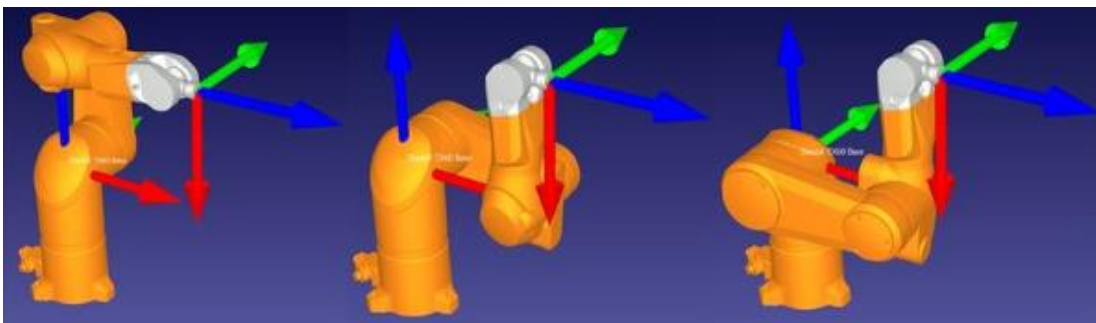
Fonte: Olivi, L.R., 2016 [4]

2.8 CINEMÁTICA INVERSA

A cinemática inversa, do alemão *Inverse Kinematik*, é o procedimento oposto ao da cinemática direta, ou seja, a partir da posição e orientação do efetuador encontra-se a configuração das juntas do manipulador. A solução dessa conjuntura se faz necessária visto que em diversas aplicações industriais e nas pesquisas acadêmicas deseja-se obter a conformação necessária ao manipulador para gerar a posição e orientação desejadas no efetuador, a fim de que determinada tarefa seja executada [4].

Para a obtenção da solução são empregados diferentes artifícios como métodos analíticos, numéricos iterativos e por inteligência computacional, sendo que cada um possui suas vantagens e limitações. Nesta ocasião é importante destacar que geralmente não há solução única para o problema da cinemática inversa, ou seja, é possível obter uma mesma configuração para o efetuador empregando diferentes conformações no manipulador, como ilustrado na Figura 29. Quanto a isso, se diz de redundância, isto é, há múltiplas soluções.

Figura 29 - Diferentes configurações do manipulador para a mesma posição do efetuador



Fonte: Autodesk *Forum* [25]

3 MODELAGEM

Este capítulo trata dos pormenores da modelagem e programação do robô e dos periféricos necessários. Tais procedimentos são necessários para a solução do problema proposto, que é a automação da soldagem de pinos e extensão desse processo para outros procedimentos. O propósito é elucidar como os ensinamentos no ambiente acadêmico são úteis na prática do ambiente industrial e usar os embasamentos teóricos para realizar a programação de um robô real.

Ao fim deste trabalho espera-se que o robô seja capaz de soldar uma fileira de pinos, exemplificando uma aplicação real e que o procedimento seja passível de propagação a outros processos, realçando o que já foi exposto no Capítulo 1. Por se tratar de um trabalho essencialmente prático, aprofundar-se-á nos detalhes técnicos como parâmetros da soldagem de pinos e do robô.

3.1 SOLDAGEM DE PINOS

Os pinos utilizados neste trabalho são da empresa Tucker, que é uma marca da companhia Stanley [26], originalmente Emhart [27] e fornece pinos de solda juntamente com a tecnologia necessária para sua fixação. No que diz respeito à produção de cabines automotivas, esses pinos são importantes para alicerçar componentes imprescindíveis aos automóveis como acabamentos, acessórios, peças plásticas, módulos de acelerador, estofados e fios, sendo cravados em locais planejados nas chapas metálicas [12].

O diferencial da tecnologia utilizada é a fixação de pinos sem a necessidade de perfurar a chapa, o que confere maior resistência à estrutura, além de requerer o acesso a somente um dos lados da chapa. Finalmente, a característica mais significativa dessa tecnologia para este trabalho é o fato de que ela é passível de automação, o que possibilita extrair vantagens no campo da robótica e automação industrial.

3.1.1. Pino

Os pinos de solda possuem diferentes funções na carcaça do veículo e reciprocamente diferentes formatos. Há pinos com e sem rosca, que dizem de seu emprego específico, e múltiplos tipos de cabeça, as quais têm um papel importante no processo da solda em si [5]. Nas Figuras de 30 a 38 estão dispostos exemplos de pinos da marca Tucker.

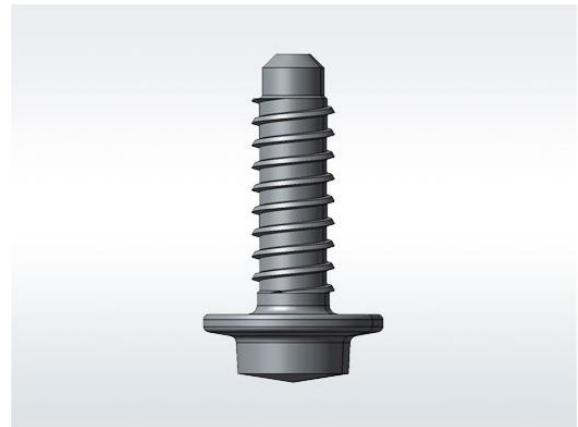
Observa-se que o veio vertical em algumas roscas tem a função de escorrer tinta automotiva, visto que o processo de soldagem de pinos ocorre geralmente antes da pintura. Tal técnica é necessária visto que a tinta automotiva quando seca pode prejudicar o funcionamento da rosca, caso esteja impregnada de tinta.

Figura 30 - Pinos T, para aplicações com espaço restrito usados por exemplo na fixação de feixe de cabos



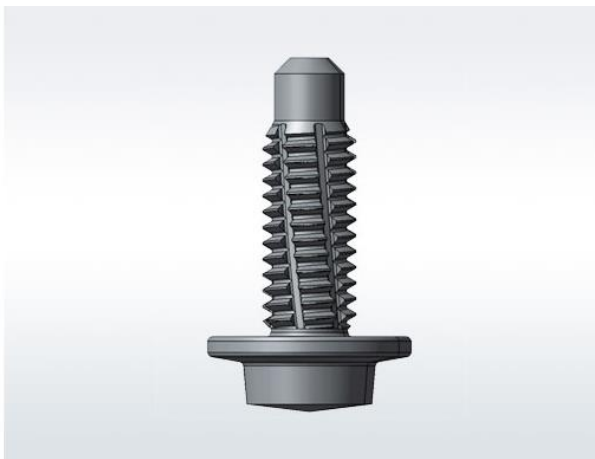
Fonte: Tucker Pinos T [5]

Figura 31 - Pino com rosca especial para fixação de peças plásticas



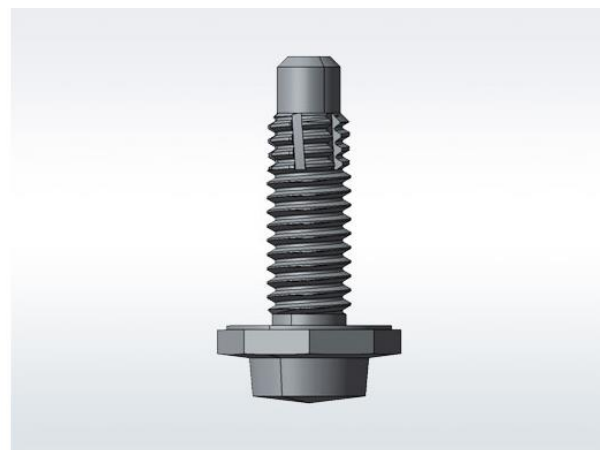
Fonte: Rosca moldada para pinos de solda [28]

Figura 32 - Pino para fixação de porcas metálicas



Fonte: Rosca moldada para pinos de solda [28]

Figura 33 - Pino para fixação de porcas metálicas



Fonte: Rosca moldada para pinos de solda [28]

Figura 34 - Pino para fixação de porcas metálicas



Fonte: Rosca moldada para pinos de solda [28]

Figura 36 - Pino auxiliar de montagem



Fonte: Rosca moldada para pinos de solda [28]

Figura 35 - Pino para fixação permanente de componentes



Fonte: Rosca moldada para pinos de solda [28]

Figura 37 - Pino usado para montagem de partes móveis



Fonte: Rosca moldada para pinos de solda [28]

Figura 38 - Pino de travamento para montagem manual sem torque



Fonte: Rosca moldada para pinos de solda [28]

3.1.2 Princípio de funcionamento

O princípio de funcionamento da soldagem de pinos é o processo solda por arco voltaico, isso significa que o pino é encostado na chapa e submetido a uma elevada tensão elétrica enquanto a folha metálica, ou corpo de prova, é aterrada, gerando uma diferença de potencial e uma corrente elétrica. Após, o pino é afastado da chapa e o arco voltaico é produzido, gerando calor, que deve ser suficiente para fundir a superfície dos dois corpos em questão e formar uma “poça de solda” [29] [30].

Depois disso o pino é impelido em direção à chapa metálica, sua cabeça é parcialmente submersa na poça de solda, que resfria rapidamente, e os dois são unidos permanentemente. Destaca-se que esse procedimento tem duração de alguns milissegundos apenas, como explanado em [29]. As Figuras 39, 40, 41 e 42 ilustram esse processo.

Essa tecnologia é amplamente utilizada tanto na solda manual quanto na automática pois o pino é cravejado firmemente à placa, tornando-se parte dela. Na Figura 43 está ilustrado o método de soldadura manual de pinos e na Figura 44 o procedimento automático. As Figuras 45 e 46 indicam a eficácia do método de soldagem, uma vez que o pino e a chapa metálica passam a fazer parte do mesmo corpo, a retirada do pino implica na retirada da própria chapa.

Figura 39 - Pino encostado na chapa submetido à tensão



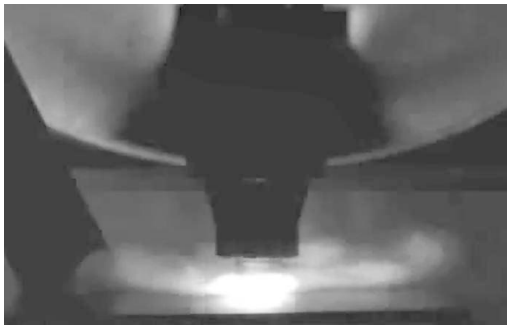
Fonte: STANLEY Engineered Fastening
[31]

Figura 40 - Pino é afastado para produção do arco voltaico



Fonte: STANLEY Engineered Fastening
[31]

Figura 41 - Ambos corpos são fundidos e a poça de solda é formada



Fonte: STANLEY Engineered Fastening [31]

Figura 42 - Pino é inserido na poça de solda



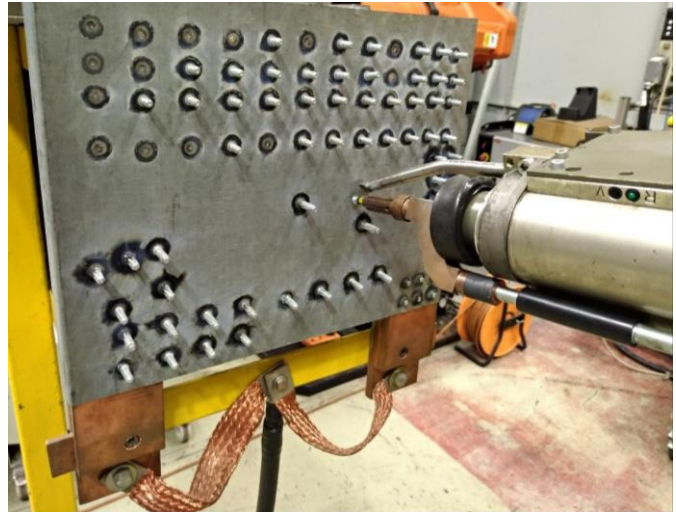
Fonte: STANLEY Engineered Fastening [31]

Figura 43 - Solda manual de pinos



Fonte: Tactical Business: Manual Welding Studs market [32]

Figura 44 - Solda automática de pinos



Fonte: Autor

Figura 45 - Sequência de pinos soldados e um removido



Fonte: Autor

Figura 46 - Detalhe do pino removido, que retirou parte da chapa sem desfazer a solda



Fonte: Autor

3.1.3 Armário de solda

O dispositivo responsável por fornecer a alimentação e comando da pistola de solda é o armário, e um modelo comercial é exibido nas Figuras 47 e 48. Este equipamento controla diversos aspectos da soldagem como nível da tensão, corrente necessária, aterramento, controle da qualidade de solda, dentre outros, além de conter uma interface de monitoramento.

É importante salientar que o robô tem comunicação com as tecnologias Tucker, tendo comandos específicos associados para a soldagem de pinos, como será elucidado nos capítulos seguintes. Na Figura 49 é possível observar, destacado por um círculo, o aterramento do corpo de prova conectado ao armário.

Figura 47 - Armário de solda de pinos Tucker



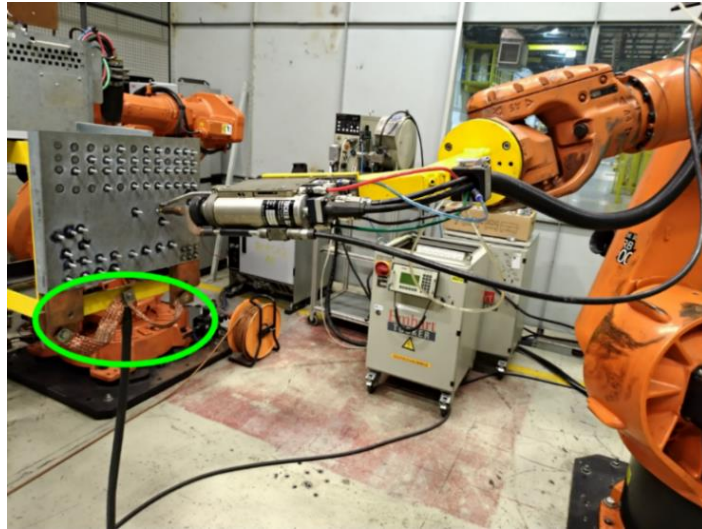
Fonte: Autor

Figura 48 - Interior do armário de solda



Fonte: Autor

Figura 49 - Destaque do aterramento do corpo de prova



Fonte: Autor

3.2 ROBÔ

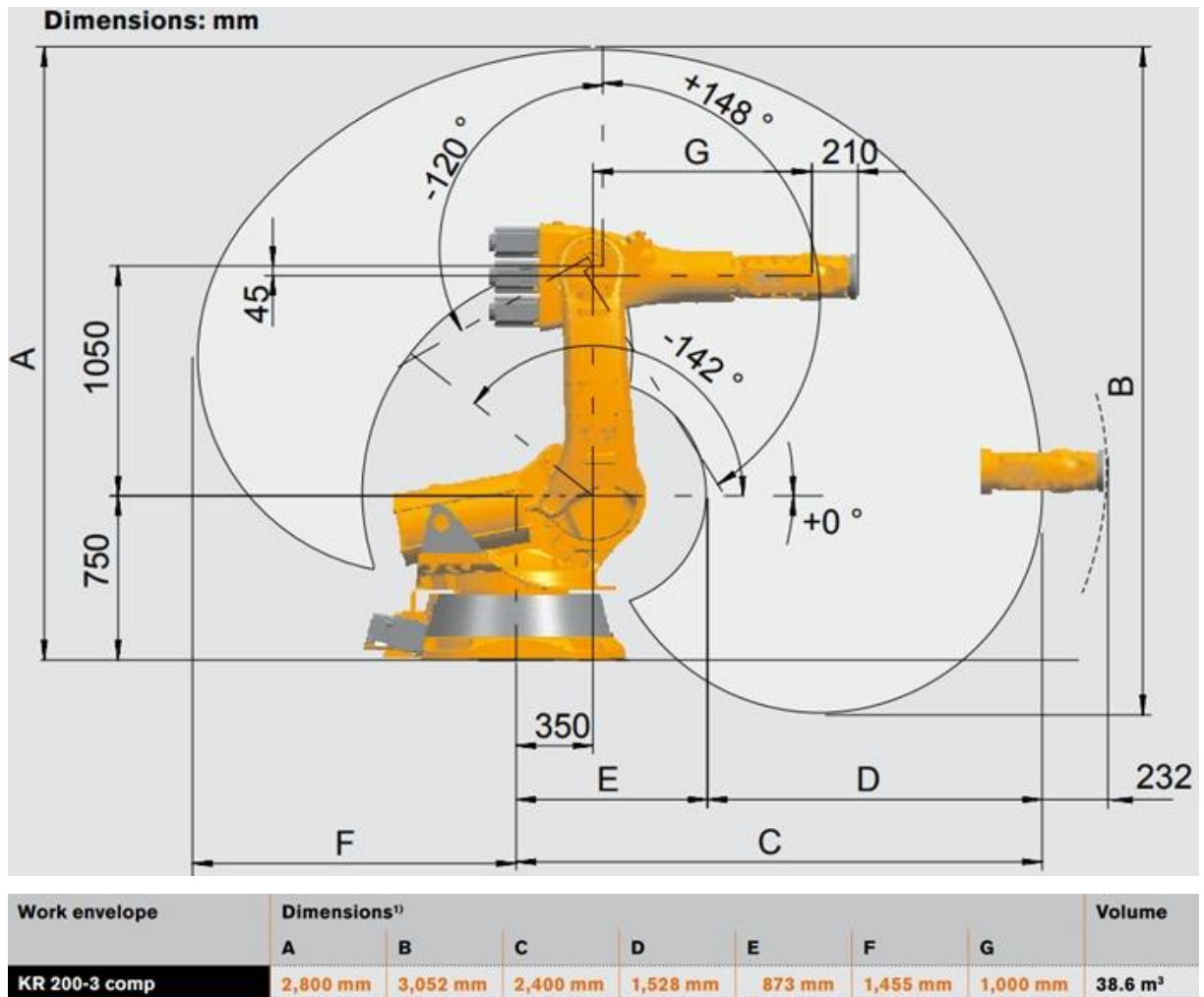
O robô empregado neste trabalho é da marca KUKA, modelo KR200, pertencente à família KR 125/150/200, comumente empregado em processos industriais, principalmente em indústrias automobilísticas como BMW, Audi, Volkswagen e Daimler. Suas medidas e espaço de trabalho são ilustrados na Figura 50, suas informações e nome na Figura 51. Esse foi o robô escolhido para a realização deste trabalho devido à disponibilidade do equipamento [33].

3.2.1 Masterização

O processo de ajuste da posição zero mecânica do robô, o *frame* inercial, é denominado masterização. Esse procedimento é importante para atribuir o zero ao contador de incrementos e o ângulo zero ao acionamento dos eixos como em [34].

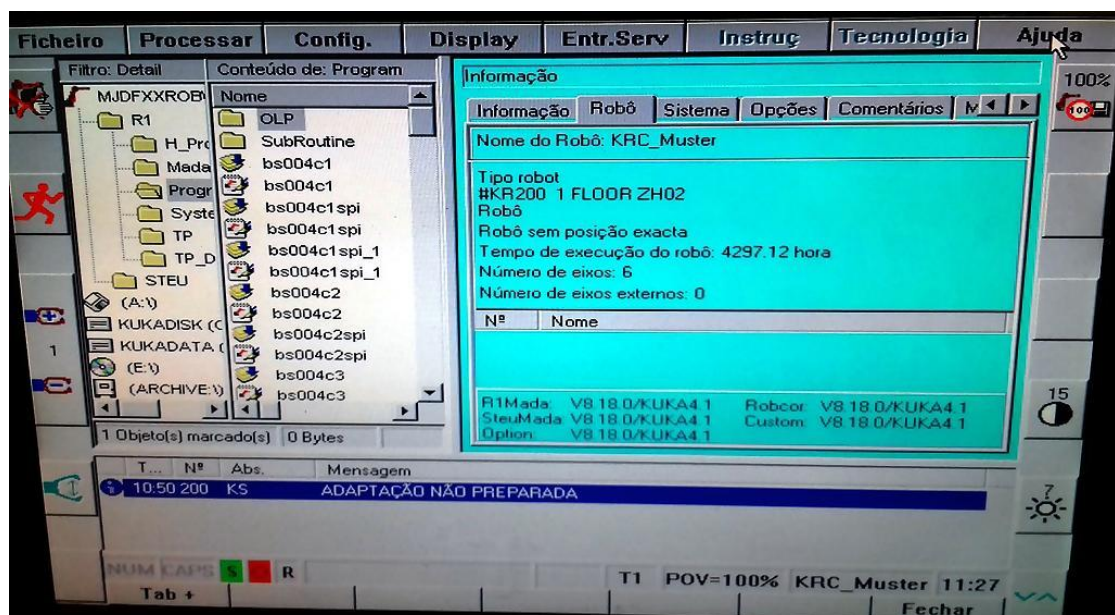
Para cada eixo do manipulador há um conjunto de entalhe de referência e pino de medição, que é utilizado para a definição da posição zero mecânica do robô. O pino de medição é conectado a um comparador eletrônico e o processo de ajuste acontece através da movimentação lenta do eixo em questão, de forma que quando o pino atinge o ponto mais baixo do entalhe, o comparador eletrônico envia um sinal elétrico à unidade de comando, reconhecendo o ponto zero do eixo. Um esquemático desse aparato pode ser visto na Figura 52 e na Figura 53 há uma foto do aparelho.

Figura 50 – Dimensões em milímetros e espaço de trabalho do robô Kuka KR200



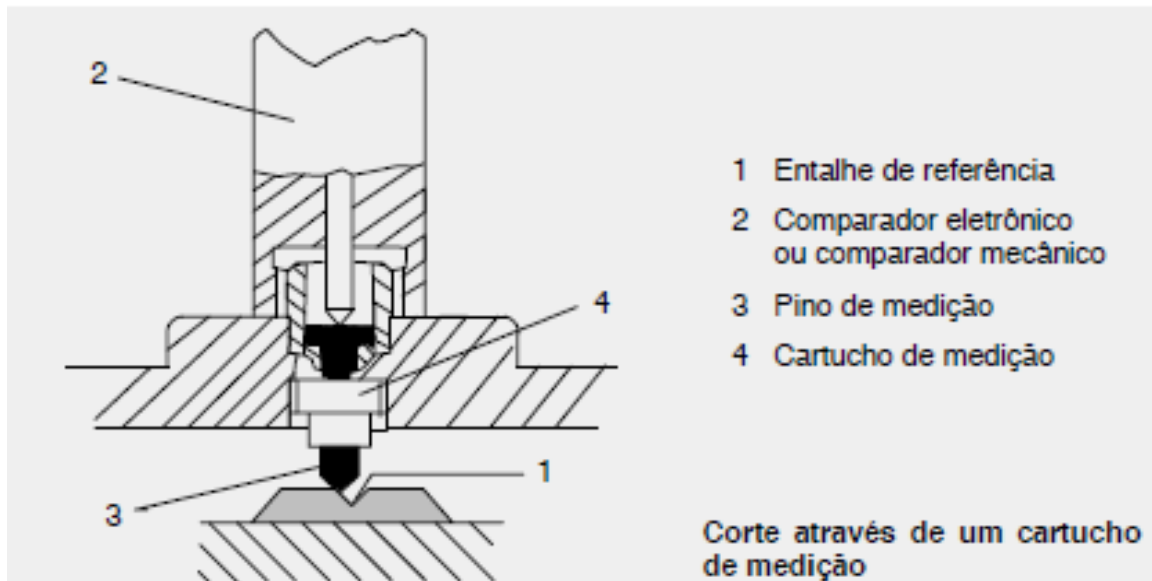
Fonte: Manual Kuka [6]

Figura 51 - Informações sobre o robô utilizado



Fonte: Autor

Figura 52 - Esquemático do conjunto entalhe e pino de medição



Fonte: Manual Kuka: Entrada em serviço [34]

Figura 53 – Da direita para a esquerda: conexão eletrônica, entalhe de referência e pino de medição



Fonte: Autor

3.2.2 Programação

Este parágrafo se dedica a esclarecer o processo de programação efetuado no manipulador robótico. Para realizar a programação do robô Kuka KR200 neste trabalho foi utilizado o KCP, ou *Kuka Control Panel*, que é um dispositivo de comunicação com o equipamento. O KCP é um tipo de IHM, Interface Homem Máquina, ou do inglês HMI, *Human Machine Interaction*, que é um dispositivo geralmente equipado com uma tela e arranjo intuitivo, cujo objetivo é facilitar a comunicação entre pessoas e máquinas como em [35].

O KCP disponibiliza variadas possibilidades de controle do robô, além de informações sobre o programa e equipamento. Através desse equipamento é possível selecionar, por exemplo, o sistema de coordenadas a ser utilizado, a velocidade de movimento do manipulador e movimentar o robô eixo a eixo, através das teclas ou do mouse, conforme elucidado no capítulo 2.6 e exposto na Figura 26 da Revisão.

O Kuka *Control Panel* possui um *design* ergonômico e pode ser usado tanto por destros como por canhotos. Tendo um peso reduzido, o painel pode ser usado sobre a mesa ou como console manual. No visor é possível acompanhar os processos de operação e programação, sendo que as funções se assemelham às do sistema de operação *Windows*.

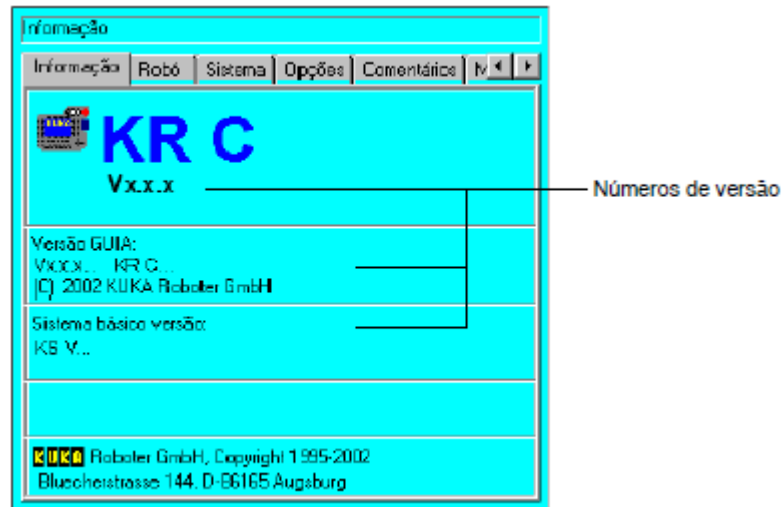
A Figura 54 mostra o KCP versão KRC1 que foi aplicado neste trabalho detalhando algumas funcionalidades, enquanto a Figura 55 ilustra a tela genérica com a informação da versão do *software*, já na Figura 56 são expostos os detalhes específicos do KCP aqui utilizado.

Figura 54 - Painel de controle utilizado



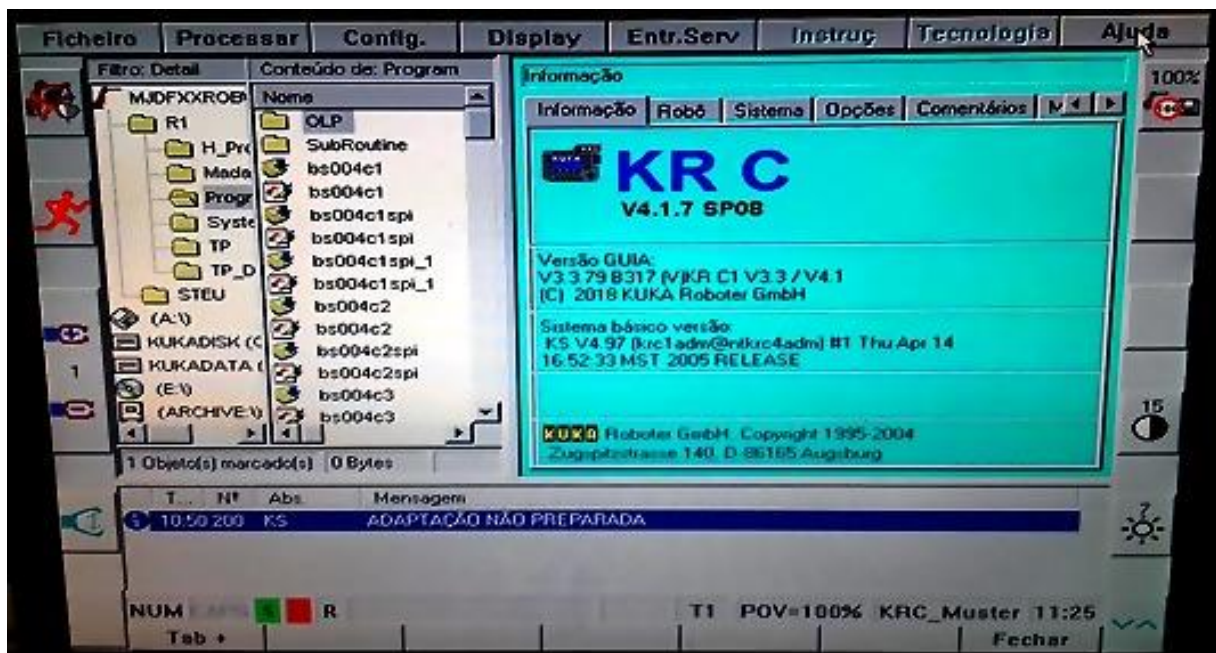
Fonte: Autor

Figura 55 – Tela genérica com a informação da versão do software



Fonte: Manual Kuka: Entrada em serviço [34]

Figura 56 - Detalhe do software do KCP utilizado



Fonte: Autor

Visando alcançar o objetivo aqui proposto, de automatizar a soldagem de pinos e estender o processo para outros procedimentos, foi utilizado um corpo de prova, uma folha metálica, representando a chapa automotiva conforme mostrado pela Figura 57.

Figura 57 - Corpo de prova utilizado



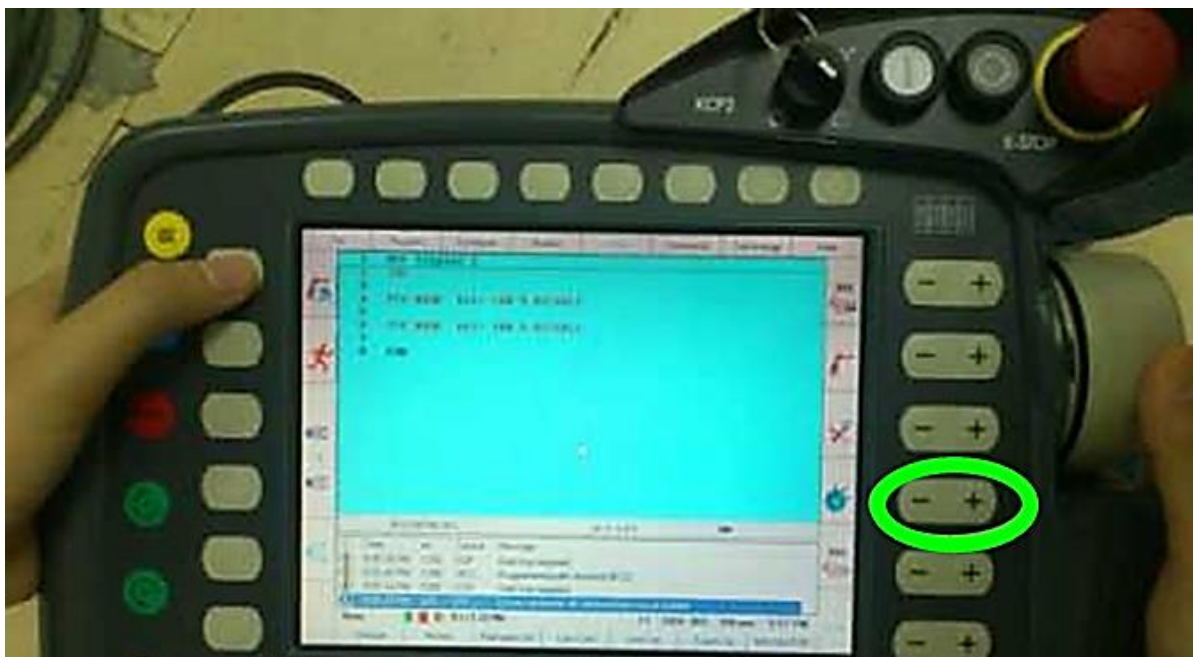
Fonte: Autor

As trajetórias e tarefas foram implementadas através do método de programação *online* ativa, ou seja, utilizando o KCP o usuário controlou os motores do manipulador, movimentando-o eixo a eixo ao longo da trajetória, levou o robô aos pontos desejados por meio do movimento escolhido, executou as ações almejadas e gravou essas instruções no controlador, que por sua vez as registrou em forma de código.

Primeiramente, realizou-se a masterização, conforme elucidado no capítulo 3.2.1; após, o robô foi configurado para se movimentar referente ao *frame* inercial desejado. Para isso, deve-se pressionar as teclas relativas à seleção do sistema de coordenadas, destacadas na Figura 58.

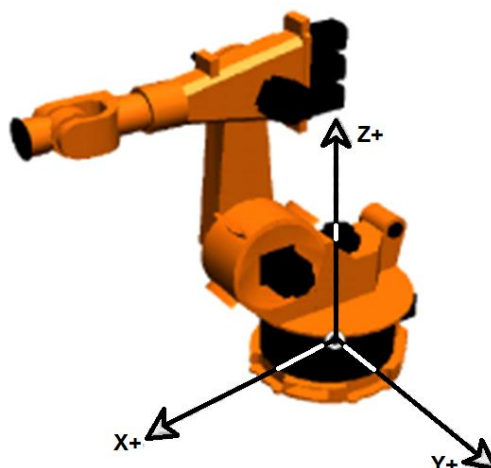
O *frame* inercial aqui empregado é o *world*, ou seja, global, que é um sistema de coordenadas retangular fixo, cuja origem se encontra na base do robô, assim como mostrado pela Figura 59. Na Figura 60 é exposto um exemplo de programa cujo sistema de coordenadas utilizado é o *world*.

Figura 58 - Detalhe das teclas para alteração do sistema de coordenadas



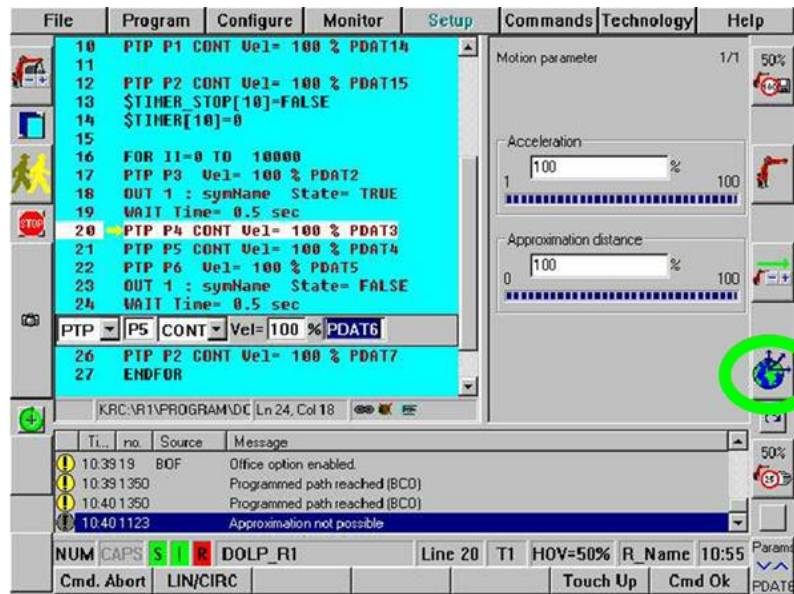
Fonte: Group P4 - KUKA Robot Training [36]

Figura 59 – Esquema da origem do sistema de coordenadas world



Fonte: Manual Kuka: Entrada em serviço [34]

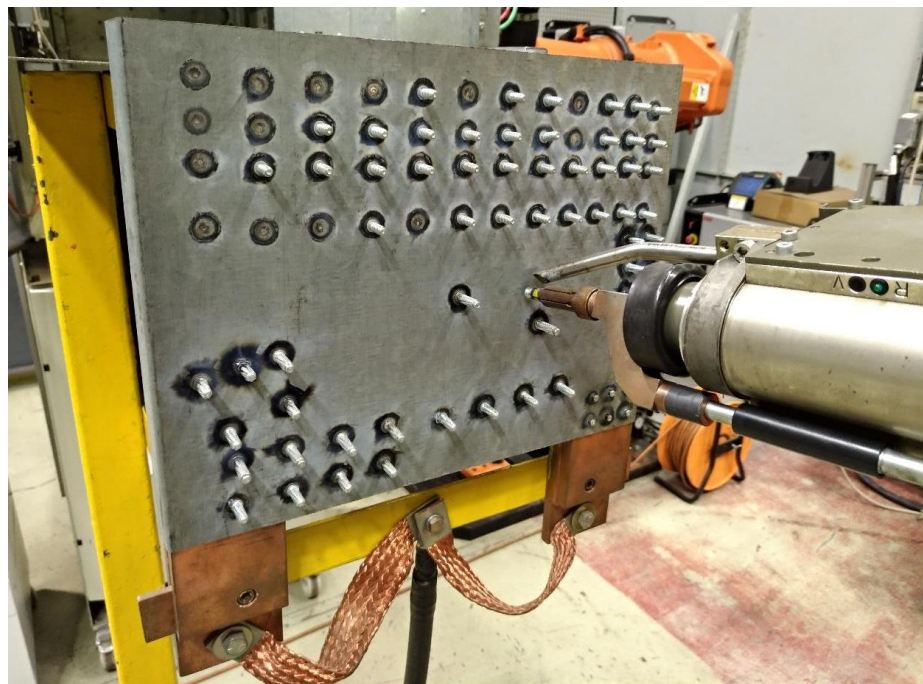
Figura 60 - Detalhe do sistema de coordenadas selecionado



Fonte: Research Gate [37]

Depois disso, o manipulador robótico foi movimentado eixo a eixo através do KCP para os pontos desejados. Em seguida aproximou-se a ferramenta da chapa à distância adequada para o acionamento da pistola de solda, como ilustrado pela Figura 61.

Figura 61 - Pistola de solda aproximada da chapa



Fonte: Autor

Então, a cabeça de solda foi acionada por meio do controlador. Em sua biblioteca há um comando específico para acionamento da pistola que foi exportado da tecnologia de soldagem de pinos. Posteriormente o robô foi movido para o próximo ponto e executou-se outra solda. Este procedimento foi repetido até completar-se a soldagem da fileira de pinos, depois afastou-se o robô e ele foi colocado em sua posição inicial, aqui designada por *home*.

3.3 CINEMÁTICA DIRETA DO ROBÔ VIA DH

Tomando como base as dimensões expostas na Figura 50, foram calculados os parâmetros da modelagem da cinemática direta do robô via Denavit-Hartenberg [4] e estão dispostos na Tabela 1. Essa modelagem é fundamental para o cálculo e execução do movimento das juntas do manipulador, de forma a alcançar os pontos pretendidos e percorrer a trajetória almejada.

Salienta-se que esses cálculos são realizados intrinsecamente no programa do robô, ficando transparentes ao usuário, entretanto, como este trabalho se dedica também à modelagem, os cálculos são aqui essenciais.

Tabela 1 – Modelo Denavit-Hartenberg do robô utilizado

	d	θ	a	α
A1	750	θ_1^*	350	-90°
A2	0	$\theta_2^* - 90^\circ$	1050	0
A3	0	θ_3^*	0	-90°
A4	1000	θ_4^*	0	+90°
A5	0	θ_5^*	0	-90°
A6	210	θ_6^*	0	0

Fonte: Autor

Os exemplos dos pinos frequentemente utilizados na indústria automobilística são importantes para fornecer uma visão geral das possibilidades e das diferentes funcionalidades de cada um deles. O entendimento do princípio de funcionamento da solda e do armário de controle da solda são essenciais para a programação do robô, que deve prever as condições necessárias para a soldagem.

Além disso, o conhecimento sobre os tipos de juntas do robô e suas dimensões é relevante para sua modelagem, conforme supracitado, e posterior programação. Por fim, tendo em mãos todas essas informações, é possível realizar com êxito a soldagem automatizada de pinos, como será exposto no capítulo seguinte.

4 RESULTADOS

Neste capítulo serão expostos os resultados da programação do robô a fim de validar o procedimento e os métodos empregados. Inicialmente é mostrado o código e depois o resultado da trajetória obtida no robô.

4.1 CÓDIGO

O propósito aqui é executar, em ambiente de laboratório, um procedimento que ocorre na linha de montagem, podendo assim estudar possibilidades de melhoria, solução de falhas e otimização de procedimentos sem afetar a produção, além de criar a possibilidade de estender a técnica a outros processos passíveis de automação.

De forma sistemática, a programação foi desenvolvida com o objetivo de fazer o robô se aproximar, partindo da sua configuração inicial, do corpo de prova pela borda superior esquerda; posicionar a cabeça de solda a uma distância adequada para a soldagem; executar a solda de um pino; se mover para a direita; executar a solda de outro pino e assim por diante, seguindo uma linha reta horizontal, até atingir a borda oposta, ou seja, o extremo superior direito. Depois disso o robô deve retornar à sua posição inicial, aqui denominada *home position*.

Essa intenção é traduzida pelo código exposto a seguir e o esquema da Figura 62 demonstra o resultado final almejado.

Figura 62 - Esquemático do resultado esperado: pinos soldados sobre o corpo de prova



Fonte: Autor

O procedimento supracitado foi gravado via programação *on-line* ativa no programa do manipulador robótico em forma de código e exibido para o usuário através do painel de controle.

A seguir estão expostos os códigos *.src* e *.dat* relativos ao programa teste elaborado, respectivamente. Aqui fica clara a relação entre as ações executadas e seu correspondente na linguagem próxima à de máquina. O texto relativo ao acionamento da pistola de solda é “*Bolzen.Weld*”, que representa a interface entre as tecnologias Kuka e Tucker.

4.1.1 Código *.src*:

```

DEF Solda_tucker( )
INI

PTP HOME Vel= 100 % DEFAULT

PTP P2 Vel= 100 % PDAT2 Tool[1]:GUN C1 Base[0]

;Ponto de aproximacao

PTP P21 Vel= 100 % PDAT21 Tool[1]:GUN C1 Base[0]

;PINO 01
PTP P3 Vel= 100 % PDAT3 Tool[1]:GUN C1 Base[0]
Bolzen.Weld BSST-Nr=1, Bolzen-ID=1, Kopf-Nr=1

.;PINO02
PTP P4 Vel= 100 % PDAT4 Tool[1]:GUN C1 Base[0]
Bolzen.Weld BSST-Nr=1, Bolzen-ID=1, Kopf-Nr=1

;PINO03
PTP P11 Vel= 100 % PDAT11 Tool[1]:GUN C1 Base[0]
Bolzen.Weld BSST-Nr=1, Bolzen-ID=1, Kopf-Nr=1

;PINO04

```

PTP P5 Vel= 100 % PDAT5 Tool[1]:GUN C1 Base[0]
Bolzen.Weld BSST-Nr=1, Bolzen-ID=1, Kopf-Nr=1

;PINO05

PTP P6 Vel= 100 % PDAT6 Tool[1]:GUN C1 Base[0]
Bolzen.Weld BSST-Nr=1, Bolzen-ID=1, Kopf-Nr=1

;PINO06

PTP P7 Vel= 100 % PDAT7 Tool[1]:GUN C1 Base[0]
Bolzen.Weld BSST-Nr=1, Bolzen-ID=1, Kopf-Nr=1

;PINO07

PTP P8 Vel= 100 % PDAT8 Tool[1]:GUN C1 Base[0]
Bolzen.Weld BSST-Nr=1, Bolzen-ID=1, Kopf-Nr=1

;PINO08

PTP P9 Vel= 100 % PDAT9 Tool[1]:GUN C1 Base[0]
Bolzen.Weld BSST-Nr=1, Bolzen-ID=1, Kopf-Nr=1

;PINO09

PTP P12 Vel= 100 % PDAT12 Tool[1]:GUN C1 Base[0]
Bolzen.Weld BSST-Nr=1, Bolzen-ID=1, Kopf-Nr=1

;PINO10

PTP P13 Vel= 100 % PDAT13 Tool[1]:GUN C1 Base[0]
Bolzen.Weld BSST-Nr=1, Bolzen-ID=1, Kopf-Nr=1

;PINO11

PTP P14 Vel= 100 % PDAT14 Tool[1]:GUN C1 Base[0]
Bolzen.Weld BSST-Nr=1, Bolzen-ID=1, Kopf-Nr=1

;PINO12

PTP P15 Vel= 100 % PDAT15 Tool[1]:GUN C1 Base[0]
Bolzen.Weld BSST-Nr=1, Bolzen-ID=1, Kopf-Nr=1

```

;PINP13
PTP P16 Vel= 100 % PDAT16 Tool[1]:GUN C1 Base[0]
Bolzen.Weld BSST-Nr=1, Bolzen-ID=1, Kopf-Nr=1

;PINO14
PTP P18 Vel= 100 % PDAT18 Tool[1]:GUN C1 Base[0]
Bolzen.Weld BSST-Nr=1, Bolzen-ID=1, Kopf-Nr=1

;PINO15
PTP P19 Vel= 100 % PDAT19 Tool[1]:GUN C1 Base[0]
Bolzen.Weld BSST-Nr=1, Bolzen-ID=1, Kopf-Nr=1

;PINO16
PTP P20 Vel= 100 % PDAT20 Tool[1]:GUN C1 Base[0]
Bolzen.Weld BSST-Nr=1, Bolzen-ID=1, Kopf-Nr=1

;Ponto de saida
PTP P22 Vel= 100 % PDAT22 Tool[1]:GUN C1 Base[0]

PTP HOME Vel= 100 % DEFAULT

END

```

4.1.2 Código .dat:

```

DEFDAT SOLDA_TUCKER
EXTERNAL DECLARATIONS

DECL BASIS_SUGG_T LAST_BASIS={POINT1[] "P22
",POINT2[] "P22 ",CP_PARAMS[] "CPDAT0
",PTP_PARAMS[] "PDAT22 ",CONT[] "
",CP_VEL[] "2.0 ",PTP_VEL[] "100
"}

```

```
DECL E6POS XP1={x 1754.21594,y -909.474915,z 1894.66797,a
-15.3586197,b 5.03665304,c 177.947205,s 2,t 34,e1 0.0,e2
0.0,e3 0.0,e4 0.0,e5 0.0,e6 0.0}
DECL FDAT FP1={TOOL_NO 1,BASE_NO 0,IPO_FRAME #BASE}
DECL PDAT PPDAT1={VEL 100.0,ACC 100.0,APO_DIST 100.0}
DECL E6POS XP2={x 1776.98706,y -261.347595,z 2032.77905,a
-15.3589001,b 5.03685999,c 177.945999,s 2,t 34,e1 0.0,e2
0.0,e3 0.0,e4 0.0,e5 0.0,e6 0.0}
DECL FDAT FP2={TOOL_NO 1,BASE_NO 0,IPO_FRAME #BASE}
DECL PDAT PPDAT2={VEL 100.0,ACC 100.0,APO_DIST 100.0}
DECL E6POS XP3={x 1764.229,y -1021.383,z 2101.66895,a -
14.3499699,b 5.06443596,c 178.674698,s 2,t 34,e1 0.0,e2
0.0,e3 0.0,e4 0.0,e5 0.0,e6 0.0}
DECL FDAT FP3={TOOL_NO 1,BASE_NO 0,IPO_FRAME #BASE}
DECL PDAT PPDAT3={VEL 100.0,ACC 100.0,APO_DIST 100.0}
DECL E6POS XP4={x 1745.60901,y -1021.38702,z 2101.66309,a
-14.3498096,b 5.06465101,c 178.6754,s 2,t 34,e1 0.0,e2
0.0,e3 0.0,e4 0.0,e5 0.0,e6 0.0}
DECL FDAT FP4={TOOL_NO 1,BASE_NO 0,IPO_FRAME #BASE}
DECL PDAT PPDAT4={VEL 100.0,ACC 100.0,APO_DIST 100.0}
DECL E6POS XP5={x 1704.85803,y -1021.37097,z 2101.6709,a -
14.3503599,b 5.06451607,c 178.673492,s 2,t 34,e1 0.0,e2
0.0,e3 0.0,e4 0.0,e5 0.0,e6 0.0}
DECL FDAT FP5={TOOL_NO 1,BASE_NO 0,IPO_FRAME #BASE}
DECL PDAT PPDAT5={VEL 100.0,ACC 100.0,APO_DIST 100.0}
DECL E6POS XP6={x 1685.495,y -1021.367,z 2101.08008,a -
14.3506699,b 5.06443882,c 178.673096,s 2,t 34,e1 0.0,e2
0.0,e3 0.0,e4 0.0,e5 0.0,e6 0.0}
DECL FDAT FP6={TOOL_NO 1,BASE_NO 0,IPO_FRAME #BASE}
DECL PDAT PPDAT6={VEL 100.0,ACC 100.0,APO_DIST 100.0}
DECL E6POS XP7={x 1666.87598,y -1021.37097,z 2101.07788,a
-14.3506804,b 5.06446695,c 178.673203,s 2,t 34,e1 0.0,e2
0.0,e3 0.0,e4 0.0,e5 0.0,e6 0.0}
DECL FDAT FP7={TOOL_NO 1,BASE_NO 0,IPO_FRAME #BASE}
```

```
DECL PDAT PPDAT7={VEL 100.0,ACC 100.0,APO_DIST 100.0}
DECL E6POS XP8={x 1647.17603,y -1021.35699,z 2099.80591,a
-14.3505201,b 5.06441784,c 178.672302,s 2,t 34,e1 0.0,e2
0.0,e3 0.0,e4 0.0,e5 0.0,e6 0.0}
DECL FDAT FP8={TOOL_NO 1,BASE_NO 0,IPO_FRAME #BASE}
DECL PDAT PPDAT8={VEL 100.0,ACC 100.0,APO_DIST 100.0}
DECL E6POS XP9={x 1626.76196,y -1021.35498,z 2098.54102,a
-14.3506298,b 5.064219,c 178.671997,s 2,t 34,e1 0.0,e2
0.0,e3 0.0,e4 0.0,e5 0.0,e6 0.0}
DECL FDAT FP9={TOOL_NO 1,BASE_NO 0,IPO_FRAME #BASE}
DECL PDAT PPDAT9={VEL 100.0,ACC 100.0,APO_DIST 100.0}
DECL E6POS XP10={x 1518.25806,y -824.381775,z 1872.40198,a
-15.3608103,b 5.036098,c 177.937698,s 2,t 34,e1 0.0,e2
0.0,e3 0.0,e4 0.0,e5 0.0,e6 0.0}
DECL FDAT FP10={TOOL_NO 1,BASE_NO 0,IPO_FRAME #BASE}
DECL PDAT PPDAT10={VEL 100.0,ACC 100.0,APO_DIST 100.0}
DECL E6POS XP11={x 1726.28894,y -1021.38202,z 2101.6731,a
-14.3501501,b 5.0643568,c 178.674805,s 2,t 34,e1 0.0,e2
0.0,e3 0.0,e4 0.0,e5 0.0,e6 0.0}
DECL FDAT FP11={TOOL_NO 1,BASE_NO 0,IPO_FRAME #BASE}
DECL PDAT PPDAT11={VEL 100.0,ACC 100.0,APO_DIST 100.0}
DECL E6POS XP12={x 1606.26697,y -1021.34497,z 2097.97803,a
-14.3518496,b 5.063375,c 178.669296,s 2,t 34,e1 0.0,e2
0.0,e3 0.0,e4 0.0,e5 0.0,e6 0.0}
DECL FDAT FP12={TOOL_NO 1,BASE_NO 0,IPO_FRAME #BASE}
DECL PDAT PPDAT12={VEL 100.0,ACC 100.0,APO_DIST 100.0}
DECL E6POS XP13={x 1585.79297,y -1021.35199,z 2096.47803,a
-14.3523703,b 5.06347895,c 178.668793,s 2,t 34,e1 0.0,e2
0.0,e3 0.0,e4 0.0,e5 0.0,e6 0.0}
DECL FDAT FP13={TOOL_NO 1,BASE_NO 0,IPO_FRAME #BASE}
DECL PDAT PPDAT13={VEL 100.0,ACC 100.0,APO_DIST 100.0}
DECL E6POS XP14={x 1563.724,y -1021.41199,z 2096.47803,a -
14.3547497,b 5.06363678,c 178.6689,s 2,t 34,e1 0.0,e2
0.0,e3 0.0,e4 0.0,e5 0.0,e6 0.0}
```

```
DECL FDAT FP14={TOOL_NO 1,BASE_NO 0,IPO_FRAME #BASE}
DECL PDAT PPDAT14={VEL 100.0,ACC 100.0,APO_DIST 100.0}
DECL E6POS XP15={x 1540.26099,y -1021.44397,z 2095.65991,a
-14.3562298,b 5.06391001,c 178.669403,s 2,t 34,e1 0.0,e2
0.0,e3 0.0,e4 0.0,e5 0.0,e6 0.0}
DECL FDAT FP15={TOOL_NO 1,BASE_NO 0,IPO_FRAME #BASE}
DECL PDAT PPDAT15={VEL 100.0,ACC 100.0,APO_DIST 100.0}
DECL E6POS XP16={x 1517.53894,y -1021.45398,z 2094.16602,a
-14.3566799,b 5.06407881,c 178.669907,s 2,t 34,e1 0.0,e2
0.0,e3 0.0,e4 0.0,e5 0.0,e6 0.0}
DECL FDAT FP16={TOOL_NO 1,BASE_NO 0,IPO_FRAME #BASE}
DECL PDAT PPDAT16={VEL 100.0,ACC 100.0,APO_DIST 100.0}
DECL E6POS XP17={x 1517.53796,y -1021.45398,z 2094.16699,a
-14.3566504,b 5.06406403,c 178.669998,s 2,t 34,e1 0.0,e2
0.0,e3 0.0,e4 0.0,e5 0.0,e6 0.0}
DECL FDAT FP17={TOOL_NO 1,BASE_NO 0,IPO_FRAME #BASE}
DECL PDAT PPDAT17={VEL 100.0,ACC 100.0,APO_DIST 100.0}
DECL E6POS XP18={x 1495.92395,y -1021.44202,z 2093.36597,a
-14.3564796,b 5.06364918,c 178.669403,s 2,t 34,e1 0.0,e2
0.0,e3 0.0,e4 0.0,e5 0.0,e6 0.0}
DECL FDAT FP18={TOOL_NO 1,BASE_NO 0,IPO_FRAME #BASE}
DECL PDAT PPDAT18={VEL 100.0,ACC 100.0,APO_DIST 100.0}
DECL E6POS XP19={x 1475.25098,y -1021.47101,z 2093.36011,a
-14.3575001,b 5.06387091,c 178.670105,s 2,t 34,e1 0.0,e2
0.0,e3 0.0,e4 0.0,e5 0.0,e6 0.0}
DECL FDAT FP19={TOOL_NO 1,BASE_NO 0,IPO_FRAME #BASE}
DECL PDAT PPDAT19={VEL 100.0,ACC 100.0,APO_DIST 100.0}
DECL E6POS XP20={x 1453.03003,y -1021.45599,z 2091.87402,a
-14.3577299,b 5.0640111,c 178.668396,s 2,t 34,e1 0.0,e2
0.0,e3 0.0,e4 0.0,e5 0.0,e6 0.0}
DECL FDAT FP20={TOOL_NO 1,BASE_NO 0,IPO_FRAME #BASE}
DECL PDAT PPDAT20={VEL 100.0,ACC 100.0,APO_DIST 100.0}
```

```
DECL E6POS XP21={x 1610.802,y -921.151672,z 1990.39099,a -  
14.3501501,b 5.06453609,c 178.675003,s 2,t 34,e1 0.0,e2  
0.0,e3 0.0,e4 0.0,e5 0.0,e6 0.0}  
DECL FDAT FP21={TOOL_NO 1,BASE_NO 0,IPO_FRAME #BASE}  
DECL PDAT PPDAT21={VEL 100.0,ACC 100.0,APO_DIST 100.0}  
DECL E6POS XP22={x 1610.802,y -921.151917,z 1990.38696,a -  
14.3501396,b 5.06463909,c 178.675003,s 2,t 34,e1 0.0,e2  
0.0,e3 0.0,e4 0.0,e5 0.0,e6 0.0}  
DECL FDAT FP22={TOOL_NO 1,BASE_NO 0,IPO_FRAME #BASE}  
DECL PDAT PPDAT22={VEL 100.0,ACC 100.0,APO_DIST 100.0}  
ENDDAT
```

4.2 TRAJETÓRIA E SOLDAGEM

O programa elaborado e exibido na seção anterior foi executado e nas Figuras 63 a 74 são apresentadas imagens ilustrando o caminho percorrido e as tarefas realizadas pelo robô. O endereço a seguir contém o vídeo mostrando a execução do código <https://www.youtube.com/watch?v=QsrEIOJTLf4>.

Figura 63 - Robô na posição inicial,
home position



Fonte: Autor

Figura 64 - Robô no ponto 2, mirando a
chapa



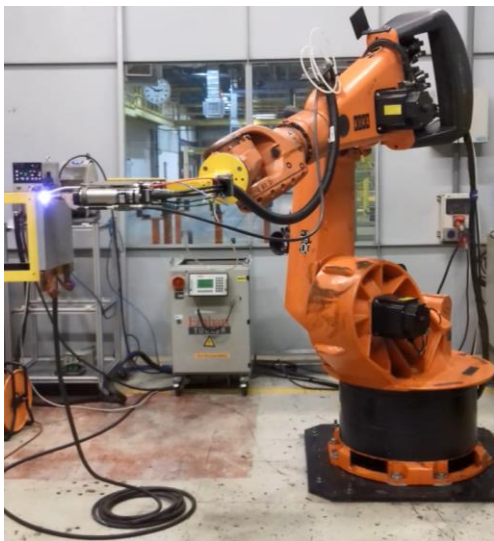
Fonte: Autor

Figura 65 - Robô no ponto 3, o ponto de aproximação



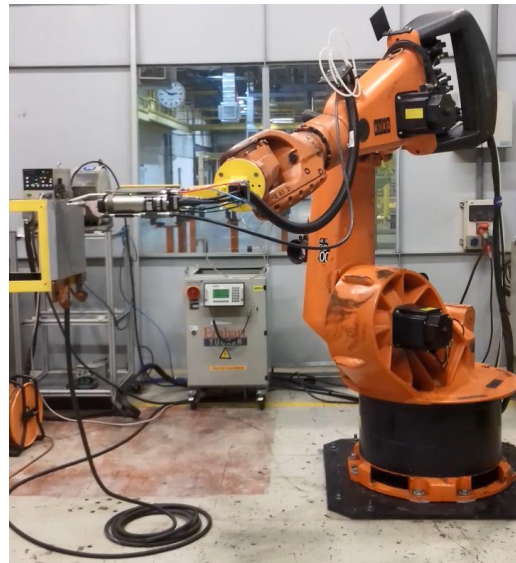
Fonte: Autor

Figura 67 - Pistola acionada e arco voltaico produzido



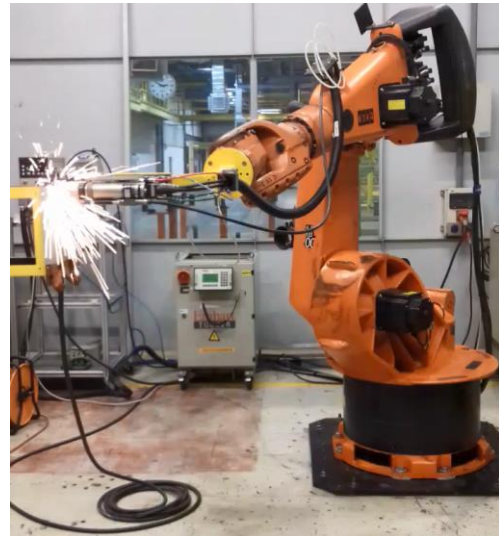
Fonte: Autor

Figura 66 - Robô no ponto 4, aproximado da chapa para soldar o primeiro pino



Fonte: Autor

Figura 68 - Pino impregnado na chapa



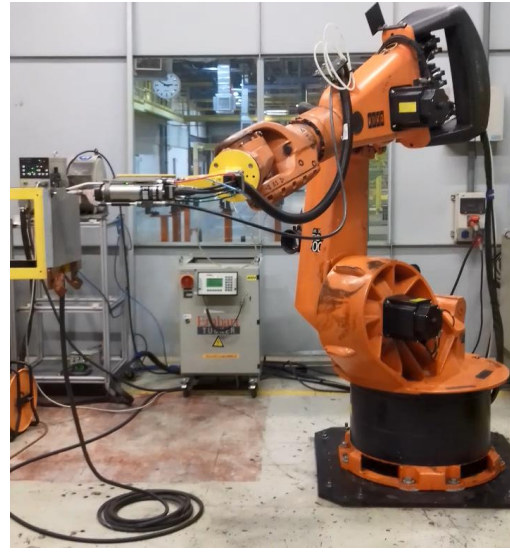
Fonte: Autor

Figura 69 – Finalização da primeira solda e recuo da pistola



Fonte: Autor

Figura 70 - Robô no ponto 5, para realizar a soldagem do segundo pino



Fonte: Autor

Figura 71 - Soldagem do segundo pino e dos subsequentes



Fonte: Autor

Figura 72 - Finalização da solda do último pino



Fonte: Autor

Figura 73 - Retorno ao ponto de aproximação



Fonte: Autor

Figura 74 - Robô volta à home position



Fonte: Autor

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

Neste trabalho objetivou-se realizar a soldagem de pinos em cabines automotivas de forma automática, através da integração das tecnologias de robôs Kuka e de soldagem de pinos Tucker. Para tanto, foi realizado um estudo sobre os diferentes tipos de pinos disponíveis no mercado, os efetadores de manipuladores robóticos, além de suas juntas, elos, espaço de trabalho e modelagem matemática. Em seguida foi selecionado um método de programação que fosse mais adequado, o robô foi masterizado e o programa foi executado utilizando pinos e um corpo de prova.

A tarefa foi realizada com êxito, uma vez que o robô percorreu a trajetória programada conforme o planejado e realizou a soldagem dos pinos da forma desejada, comprovando a eficácia do método de programação escolhido e a funcionalidade do programa desenvolvido.

5.2 TRABALHOS FUTUROS

Possíveis trabalhos a ser realizados posteriormente são a extensão da atividade realizada para diferentes trajetos tanto para soldagem de pinos como para outros procedimentos pertinentes à montagem de veículos, bem como a implantação da tarefa na linha de montagem, uma vez que a análise laboratorial esteja concluída.

Salienta-se mais uma vez que o propósito prático final deste trabalho é a transferência da automação do processo de soldagem de pinos a outros meios, como furação, soldagem de ponto, movimentação de chapas, suspensão e manipulação de cargas, transporte de material, pintura, parafusação, montagem, dentre outras.

Ademais, foi nitidamente exposta a integração entre os ambientes acadêmico e industrial, uma vez que foi possível colocar em prática os ensinamentos obtidos na universidade nos recursos disponíveis no meio industrial tornando a experiência neste trabalho ainda mais rica.

REFERÊNCIAS

- [1] THRUN, S., BURGARD, W. & FOX, D. *Principles of Robot Motion*. 1st edn, The MIT Press, 2005.
- [2] ROSÁRIO, J.M. *Robótica Industrial I – Modelagem, Utilização e Programação*. 1ª ed, Baraúna Editora, 2010.
- [3] SOLUCIONANDO - Sistemas Supervisórios, Sensores, Atuadores E Robótica. Disponível em: <http://solucionando2.blogspot.com/2016/05/sistemas-supervisorios-sensores.html>. Acesso em 01/11/18.
- [4] OLIVI, L. R.; *Notas de Aula da disciplina de Manipuladores Robóticos*, UFJF, 2016.
- [5] TUCKER PINOS T; Disponível em: <http://www.emhart.eu/eu-en/products-services/products-by-category/tucker-stud-welding/weld-studs/t-studs-stepped-studs.php>. Acesso em: 05/09/18.
- [6] MANUAL KUKA - Spez KR 100 comp, KR 140 comp, KR 200 comp de/en/fr; Disponível em: http://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/48ec812b1b2947898ac2598aff70abc0/spez_kr_100_140_200_comp_en.pdf. Acesso em 08/10/18.
- [7] RIA ROBOTICS. Disponível em <https://www.robotics.org/product-catalog-detail.cfm/Robotic-Industries-Association/Robot-Terms-and-Definitions/productid/2953>. Acesso em 15/08/18.
- [8] RIA ROBOTICS. Disponível em <https://www.robotics.org/robotics/industrial-robot-industry-and-all-it-entails>. Acesso em 15/08/18.
- [9] COCOTA, José Alberto. Elementos de Robótica – Escola de Minas, UFOP. Disponível em: <http://professor.ufop.br/sites/default/files/cocota/files/elemroboticaintro.pdf>. Acesso em 15/08/18.
- [10] TRONCO, Mário Luiz. Robôs Industriais – conceitos, classificação, aplicação e programação. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2092683/mod_resource/content/1/Aula_2_Rob%C3%B3tica_2016.pdf. Acesso em: 12/09/18.
- [11] PAZOS, Fernando. Automação de Sistemas e Robótica. Disponível em: <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbmZlYXU5kb2FwYXpvc3xneDphM2NhZjM5ZTc2ZTg0Y2U>. Acesso em: 13/09/18.
- [12] Tucker Stud Welding. Disponível em: <http://www.emhart.eu/eu-en/products-services/products-by-category/tucker-stud-welding/index.php>. Acesso em: 01/10/18.

- [13] CABRAL, E.L.; Robótica Efetuadores e Atuadores; ESCOLA POLITÉCNICA DA USP. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4228097/mod_resource/content/0/R5_Efetuadores%20e%20atuadores.pdf>. Acesso em: 01/10/18.
- [14] CARRARA, Valdemir; Universidade Braz Cubas - Apostila de Robótica. Disponível em: <http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/silas/materiais/Apostila_de_Robotica.pdf>. Acesso em: 08/10/18.
- [15] Stack Exchange; Engineering Beta; Feedback control of two-link planar manipulator. Disponível em: <<https://engineering.stackexchange.com/questions/6006/feedback-control-of-two-link-planar-manipulator>>. Acesso em: 10/10/18.
- [16] WikiEngenharia; Matriz de Translação. Disponível em: <http://wiki.ued.ipleiria.pt/wikiEngenharia/index.php/Matriz_de_Transla%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 11/09/18.
- [17] CoRec; University of Alabam. Disponível em: <<http://www.imleagues.com/School/League/HallOfChampions.aspx?League=c7b3cc9089d74d2baea83b93f4a4adf8>>. Acesso em: 11/09/18.
- [18] HENRIQUES, Renato Ventura; AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE ROBÔS INDUSTRIAIS; PROGRAMAÇÃO E SIMULAÇÃO DE ROBÔS. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~hermini/Robotica/livro/cap.6.pdf>>. Acesso em: 12/09/18.
- [19] Elementos de Robótica Escola politécnica da USP. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4112469/mod_resource/content/0/Aula%20-%20Lab2.pdf>. Acesso em: 15/08/18.
- [20] Idw; Anwenderorientierte Programmierung von Industrierobotern. Disponível em: <<https://idw-online.de/en/image?id=122802&size=screen>>. Acesso em: 22/08/18.
- [21] BCIT Mechatronics and Robotics. Disponível em: <<https://novom.ru/en/watch/cRQUxkt73is>>. Acesso em: 22/08/18.
- [22] Siemens Product Support. Disponível em: <<https://support.industry.siemens.com/cs/document/109475194/how-do-you-control-a-kuka-robot-with-a-simatic-controller-?dti=0&lc=en-MW>>. Acesso em: 01/10/18.
- [23] SILVA, Ricardo. Automação e Robótica I – Técnicas e Linguagens de programação de Robôs. Disponível em: <<http://engricardosilva.awardspace.com/trabalhos/pdf/lingrob.pdf>>. Acesso em: 02/10/18.
- [24] Robot-Forum, Industrial Robots Community. Disponível em: <<https://www.robot-forum.com/robotforum/kuka-robot-forum/notepad-krl-plugin-by-henb3d-v1/>>. Acesso em 06/09/18.
- [25] Autodesk Knowledge Network. Disponível em: <<https://forums.autodesk.com/t5/inventor-forum/inverse-and-forward-kinematics/td-p/7450638>>. Acesso em 06/09/18.

- [26] Stanley Engineered Fastening. Disponível em: <<https://www.stanleyengineeredfastening.com/>>. Acesso em 13/09/18.
- [27] Emhart. Disponível em: <<http://www.emhart.eu/eu-en/index.php>>. Acesso em 13/09/18.
- [28] Tucker; Thread moulding for Tucker weld studs. Disponível em: <<http://www.emhart.eu/eu-en/products-services/products-by-category/tucker-stud-welding/weld-studs/thread-types.php>>. Acesso em: 13/09/18.
- [29] CARDOZO, Renato Chiepe. Controle de produção de máquina de soldar pinos. Disponível em: <<https://www.inatel.br/biblioteca/pos-seminarios/seminario-de-automacao-industrial-e-sistemas-eleto-eletronicos/i-saisee/9385-controle-de-producao-de-maquina-de-soldar-pinos/file>>. Acesso em 11/06/18.
- [30] MODENESI, Paulo. UFJF, 2000, Introdução aos Processos de Soldagem. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/3355327/processos-de-soldagem-modenesi>>. Acesso em: 11/06/18.
- [31] Bolzenschweißen / Stud Welding. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=-iwJtCw3Fu0>>. Acesso em: 11/06/18.
- [32] Tactical Business: Manual Welding Studs market. Disponível em: <<https://thetacticalbusiness.com/546657/manual-welding-studs-market-global-industry-analysis-size-share-growth-trends-and-forecast-2018-2025/>>. Acesso em: 12/06/18.
- [33] Global Robots. Disponível em: <<http://www.globalrobots.com/product.aspx?product=22208>>. Acesso em: 11/10/18.
- [34] Manual Kuka: Entrada em serviço - InbetriebnahmeBHR4.1
- [35] AJ Automação. Disponível em: <<http://www.ajautomacao.com/o-que-e-ihm/>>. Acesso em 18/10/18.
- [36] Group P4 - KUKA Robot Training. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=MueFQdrQD4M>>. Acesso em: 20/10/18.
- [37] Research Gate: The KUKA programming environment and robot programming language. Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/The-KUKA-programming-environment-and-robot-programming-language_fig1_2871424>. Acesso em: 20/10/18.