

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
CURSO: ENGENHARIA MECÂNICA

Anderson Silva de Souza

Implementação de Células Robóticas em Processo de Conformação de Tubos de Cobre:
Estudo de Caso

Manaus

2022

Anderson Silva de Souza

Implementação de Células Robóticas em Processo de Conformação de Tubos de Cobre:
Estudo de Caso

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.
Orientador: Dr. João Evangelista

Manaus

2022

Este trabalho é dedicado primeiramente a Deus por todas as oportunidades proporcionadas para a execução deste trabalho e todos os meus amigos e familiares que estiveram ao meu lado durante essa caminhada.

Anderson Silva de Souza

Implementação de Células Robóticas em Processo de Conformação de Tubos de Cobre:

Estudo de Caso

Manaus

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Mecânica

Manaus, 26 de maio de 2022.

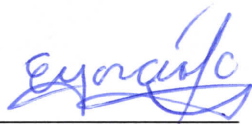
Banca Examinadora:



Prof. Dr. João Evangelista
Orientador



Prof. Dr. Israel Gondres Torné
Avaliador



Prof. Dr. Edry Garcia Cisneros
Avaliador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por se mostrar presente em cada detalhe da minha caminhada como futuro engenheiro mecânico.

Agradeço à minha noiva Jackeline Jaquemenot por estar comigo nos momentos mais difíceis, transmitindo todo suporte e carinho necessário para que eu pudesse prosseguir. Agradeço também aos meus colegas de trabalho que me deram todo aporte técnico e analítico, que não mediram esforços para me auxiliar na elaboração deste trabalho, me mostrando os aspectos práticos da engenharia.

Agradeço a todos os professores que me acompanharam ao longo da graduação, transmitindo conhecimento às vezes além do que se encontram nas melhores literaturas.

“A persistência é o caminho do êxito. “

(CHAPLIN, 1940)

RESUMO

Com a tecnologia em estado avançado nos processos industriais, surgiu uma excelente oportunidade de desenvolver um trabalho que abordasse todo o *background* de automatização de processos desde o nascimento do projeto até a sua concepção e entrega final. O presente trabalho aborda a instalação de duas células robóticas em uma célula produtiva de fabricação de tubos de cobre utilizados na produção de ar condicionados. O tema escolhido abordará a temática do desafio de automatizar processos que possuam riscos ergonômicos e que tenham a necessidade de serem melhorados de acordo com as normas regulamentadoras vigentes no projeto em questão (NR10, NR12 e NR17). Aqui, neste trabalho, será possível avaliar as vantagens e desvantagens das implementações que serão realizadas, bem como os ganhos da fábrica após a entrega do projeto. A escolha do emprego dos robôs no sistema sucedeu-se pela possibilidade do mesmo em realizar as devidas tarefas com precisão e tornar o processo produtivo e eficaz em termos de qualidade e produtividade, diminuindo assim desperdícios e reduzindo os riscos de acidentes de trabalho.

Palavras-chave: Células Robóticas. Tubos de Cobre. Ar condicionados. NR12.

ABSTRACT

With technology in a growing state in industrial processes, an excellent opportunity arose to develop a work that approached the entire background of process automation from the birth of the project to its conception and final release. The present work deals with the installation of two robotic cells in a production cell for the manufacture of copper tubes used in the production of air conditioners. The chosen theme will address the issue of the challenge of automating processes that have ergonomic risks and that need to be improved according to the regulatory standards in force in the project in question (NR10, NR12 and NR17). Here, in this work, it will be possible to evaluate the advantages and disadvantages of the implementations that will be carried out, as well as the gains of the factory after the release of the project. The choice of using robots in the system was followed by the possibility of it performing the necessary tasks with precision and making the productive process effective in terms of quality and productivity, thus reducing waste and reducing the risk of accidents at work.

Keywords: Robotic Cells. Copper Tubes. Air Conditioners. NR12.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo de manipulador robótico.....	19
Figura 2: Exemplo de Efetuador	19
Figura 3 Diferentes tipos de articulações para Robôs	21
Figura 4: Critérios de Classificação dos Robôs.....	22
Figura 5: Principais configurações dos robôs industriais	25
Figura 6: Robô KR10 R1420 do fabricante KUKA	26
Figura 7: Representação simplificada do manipulador articulado de 6 GdL.	27
Figura 8: Tubos de cobre em ar condicionados.....	27
Figura 9: Tubos Resultantes do Processo de Conformação (Redução ou Expansão)	29
Figura 10: Passos do Processo	30
Figura 11: Configuração Operador-Máquina	31
Figura 12: Modos de funcionamento das células robóticas	31
Figura 13: Gráfico de Absorção do Volume de Produção	32
Figura 14: Dimensão disponível para Célula Robótica.....	33
Figura 15: Dimensão da Entrada da Máquina	33
Figura 16: Gráfico de Espaço de Trabalho - Robô KR 10 R1420	34
Figura 17: Garra do robô	35
Figura 18 Tipos de Garras	36
Figura 19: Dispensador da Célula Robótica.....	37
Figura 20 Ajustes do Dispensador.....	37
Figura 21: Layout proposto para o processo de conformação de tubos de cobre	38
Figura 22: Layout Proposto Seguindo NR12	39
Figura 23: Periféricos de Segurança.....	40
Figura 24: Dispositivos de Segurança	42
Figura 25: Alimentação nas duas garras.....	43
Figura 26: Abastecimento de tubulações nas Máquinas	43
Figura 27: Realimentação da Garra.....	44
Figura 28: Retirada e reabastecimento da Máquina 1	44
Figura 29: Entrega do Item processado e reabastecimento	45
Figura 30: Retirada e reabastecimento da máquina 2.....	45
Figura 31: Devolução do produto acabado e realimentação da garra 2	46

Figura 32: Retirar peça da máquina 1 e reabastecimento.....	46
Figura 33: Retirar peça da máquina 2	47
Figura 34: Cronograma de Implementação do Projeto	47
Figura 35: Layout antes da Implementação das Células	48
Figura 36: Layout pós Implementação das Células.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Robôs Móveis.....	23
Tabela 3: Estrutura dos robôs paralelos	24
Tabela 5: Processos de Fabricação de Tubos de Cobre.....	29
Tabela 4: Intervalo de Operação das Juntas	34
Tabela 6: Dados Técnicos do Robô KR 10 R1420	35
Tabela 7: Custos do Projeto.....	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	16
1.1.1	Objetivo Geral.....	16
1.1.2	Objetivos Específicos	16
2	DESENVOLVIMENTO.....	17
2.1	REVOLUÇÕES DA INDÚSTRIA	17
2.2	ROBÔS INDUSTRIAIS	19
2.3	CLASSIFICAÇÃO DOS ROBÔS	22
2.3.1	Classificação segundo a autonomia do sistema de controle	22
2.3.2	Classificação segundo a mobilidade da base	23
2.3.3	Classificação segundo a estrutura cinemática dos Robôs Fixos	23
2.3.4	Classificação segundo o número de graus de liberdade	25
2.3.5	Classificação segundo o tipo de acionamento	26
2.4	ARRANJO CINEMÁTICO DE ROBÔS ARTICULADOS ANTROPOMÓRMIFICOS.....	26
2.5	TUBULAÇÕES DE COBRE EM AR CONDICIONADOS.....	27
2.5.1	Processo de Conformação em Tubulações.....	29
2.6	PROJETO DE IMPLEMENTAÇÃO DAS CÉLULAS	31
2.6.1	Modelo do Robô	34
2.6.2	Garras dos Robôs.....	35
2.6.3	Dispensador (Feeder).....	36
2.6.4	Definição de Layout	38
2.6.5	Célula Robótica e NR12	38
2.6.6	Movimentações do Robô	42
2.6.7	Cronograma da Implementação da Célula.....	47
3	RESULTADOS E CONCLUSÕES	48
	REFERÊNCIAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

A indústria de ar condicionados no Brasil teve uma expansão enorme no final da década de 90 com a chegada de produtos da indústria de ar condicionado principalmente da Coréia, Japão e China. Muitas delas iniciaram a comercialização com produtos fabricados fora e atualmente tem plantas fabris instaladas no Brasil. Este setor passou por muitas mudanças ao decorrer dos anos, o que constantemente passou a exigir novidades tecnológicas de suas fábricas para que estas pudessem se manter competitivas mediante estas transformações do mercado.

Este trabalho aborda as consequências da introdução de células robóticas no processo produtivo de fabricação de tubos de cobre utilizados em ar condicionados, além de comparar vantagens e desvantagens de forma comparativa entre os processos manuais antes da implementação e os processos automatizados. Como quantitativo dos efeitos da introdução das células, será utilizado os cálculos de savings financeiros e payback para avaliar a viabilidade técnica deste projeto, além de realizar estudo de capacidade produtiva via cronoanálise para avaliar os ganhos de produtividade antes e depois.

A proposta da execução deste trabalho surge devido à escassez de trabalhos que abordem tecnologias automatizadas e suas devidas análises de ganho do processo, onde será possível verificar que este tipo de modernização do processo pode auxiliar em aumento de produtividade. O objetivo é quantificar dois cenários (manual e automático) analisando qual cenário proporcionará lucros para a empresa.

O propósito deste trabalho é conhecer os tipos e características dos robôs, compreender os passos de implementação, apontar parâmetros e hipóteses para medição dos resultados, implementar o projeto no chão de fábrica e analisar os resultados obtidos.

1.1 OBJETIVOS

Para este trabalho, busca-se estudar a implementação de duas células robóticas no processo de conformação de tubulações de cobre em fábrica de ar condicionados localizada no Polo Industrial de Manaus.

1.1.1 Objetivo Geral

Descrever passo a passo o processo de implementação de duas células robóticas que serão responsáveis pela substituição humana por um braço robótico na execução das atividades.

1.1.2 Objetivos Específicos

O objetivo deste trabalho pode ser subdividido e especificado através dos seguintes objetivos específicos:

- Estudar processo de internalização de célula robótica para o processo de conformação mecânica em tubos de cobre de diferentes diâmetros e comprimentos;
- Conhecer as diferentes classificações dos robôs;
- Mensurar savings (ganhos financeiros);
- Avaliar implementação conforme NR12;

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 REVOLUÇÕES DA INDÚSTRIA

A indústria foi o fator mais poderoso de aceleração do crescimento econômico. O setor industrial exerceu grande impacto em diversos setores da economia e sobre todo o ambiente institucional e social (MARSON, 2014).

Os avanços tecnológicos sempre foram extremamente importantes para a evolução da Indústria, fator ocasionado pela busca de trabalhos mais dinâmicos, eficientes e qualificados. As revoluções industriais, somadas aos grandes avanços tecnológicos culminaram no surgimento da Indústria 4.0 ou quarta Revolução Industrial (BOETTCHER, 2015).

Com o surgimento das Máquinas a Vapor de James Watt, a indústria têxtil desfrutou-se da tecnologia para aumentar a produtividade de seu processo produtivo através da automatização culminando na Primeira Revolução Industrial.

A tecnologia continuou evoluindo com o passar dos anos e assumiu novas características, nesse período foi descoberta a eletricidade, a transformação do ferro em aço, o surgimento e modernização dos meios de transporte, o avanço dos meios e comunicação, o desenvolvimento da indústria química e de outros setores. Essa revolução industrial teve destaque ela busca de maiores lucros; especialização do trabalho; ampliação da produção. (SILVA; GASPARIN, 2013).

Nesse contexto, iniciou-se o Fordismo, termo criado por Henry Ford em 1914. O fordismo se referia aos sistemas de produção em massa. Tinha em vista racionalizar a produção capitalista por meio de inovações técnicas, onde de um lado acontecia a produção em massa e de outro o consumo em massa (BOETTCHER, 2015).

Ford criou o processo de semi-automatização o que causou uma revolução na indústria automobilística. Em 1914, Ford introduziu a primeira linha de montagem automatizada, com esteiras rolantes (SILVA; GASPARIN, 2013).

Até esse momento da história, a indústria se tornou responsável pelo crescimento exponencial da economia mundial, países como Estados Unidos, Alemanha, Japão e França devido ao fato de serem países economicamente desenvolvidos acabaram tornando-se líderes globais de Tecnologia.

Frente as grandes descobertas e inovações tecnológicas, a Terceira Revolução Industrial, também chamada de Revolução Técnico-Científica e Informacional são formadas por meio dos processos de inovação tecnológica, os quais são marcados pelos avanços no campo da informática, robótica, das telecomunicações, dos transportes, da biotecnologia, química fina, além da nanotecnologia (BOETTCHER, 2015).

Muitas foram as características da Indústria 3.0 as quais configuram-se: utilização de várias fontes de energia; uso crescente de recursos da informática; aumento da consciência ambiental; diminuição crescente do desemprego, pois a mão-de-obra passou a ser substituída por máquinas cada vez mais modernas; ampliação dos direitos trabalhistas; globalização; surgimento de potências industriais; massificação dos produtos tecnológicos (SILVA et al., 2002).

Em 2012 os criadores do projeto ministrado por Siegfried Dais (Robert Bosch GmbH) e Kagermann (acatech) apresentou um relatório de recomendações para o Governo Federal Alemão, como forma de planejar como seria a implantação da Indústria 4.0. Em 2013 acontece na feira de Hannover a edição final sobre essa nova perspectiva industrial. (SILVEIRA, 2017).

A Tendência desse novo modelo industrial baseia-se como a forma de descrever a tendência da digitalização e automação do ambiente de manufatura (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016).

O fundamento básico da Indústria 4.0 é de que conectando máquinas, sistemas e ativos, as empresas podem criar redes inteligentes e assim controlar os módulos de produção de forma autônoma (SILVEIRA, 2017).

Sobre o conceito da Indústria 4.0, é a combinação das conquistas tecnológicas dos últimos anos com a visão de um futuro com sistemas de produção inteligentes e automatizados, no qual o mundo real é ligado a virtual (ZAWADZKI; ZYWICKI, 2006).

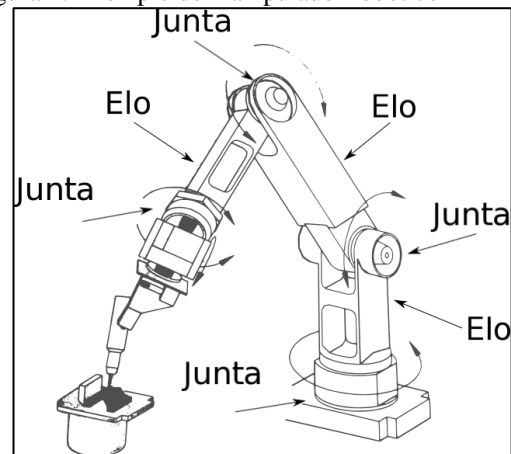
2.2 ROBÔS INDUSTRIAIS

Robôs industriais são manipuladores reprogramáveis e multifuncionais, projetados para manipular materiais, peças, ferramentas ou dispositivos especializados, através de movimentos variáveis programados para a realização de tarefas diversas (SPONG, 1989).

ROMANO (2002) afirma que um robô industrial é formado pela integração dos seguintes componentes:

a) Manipulador mecânico: refere-se principalmente ao aspecto mecânico e estrutural do robô. Consiste da combinação de elementos estruturais rígidos conectados entre si através de articulações, sendo a primeira denominada base e o último o componente efetuator.

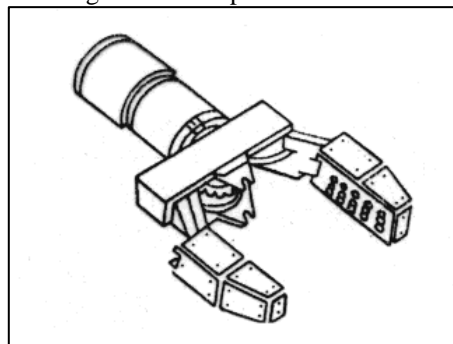
Figura 1: Exemplo de manipulador robótico



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

b) Efetuator: é o elemento de ligação entre o robô e o meio que o cerca. Pode ser do tipo garra ou ferramenta. O principal escopo de uma garra é pegar um determinado objeto, transportá-lo a uma posição pré-estabelecida e após alcançar tal posição, soltá-lo.

Figura 2: Exemplo de Efetuator



Fonte: TRONCO, Mário Luiz. Robôs Industriais.

c) Atuadores: São componentes que convertem energia elétrica, hidráulica ou pneumática em potência mecânica. Através dos sistemas de transmissão a potência mecânica gerada pelos atuadores é enviada aos elos para que os mesmos se movimentem. Exemplos: Motores elétricos, hidráulicos ou pneumáticos.

d) Unidade de potência: É responsável pelo fornecimento de potência necessária à movimentação dos atuadores. A bomba hidráulica, o compressor e a fonte elétrica são as unidades de potências associadas aos atuadores hidráulico, pneumáticos e eletromagnéticos, respectivamente;

e) Sensores: Fornecem parâmetros sobre o comportamento do manipulador, geralmente em termos de posição e velocidade dos elos em função do tempo, e do modo de interação entre o robô e o ambiente operativo à unidade de controle. As juntas utilizadas para vincular os elos de um robô são normalmente acopladas a sensores. Exemplos: Encoders, tacômetros, lasers, câmera, etc.

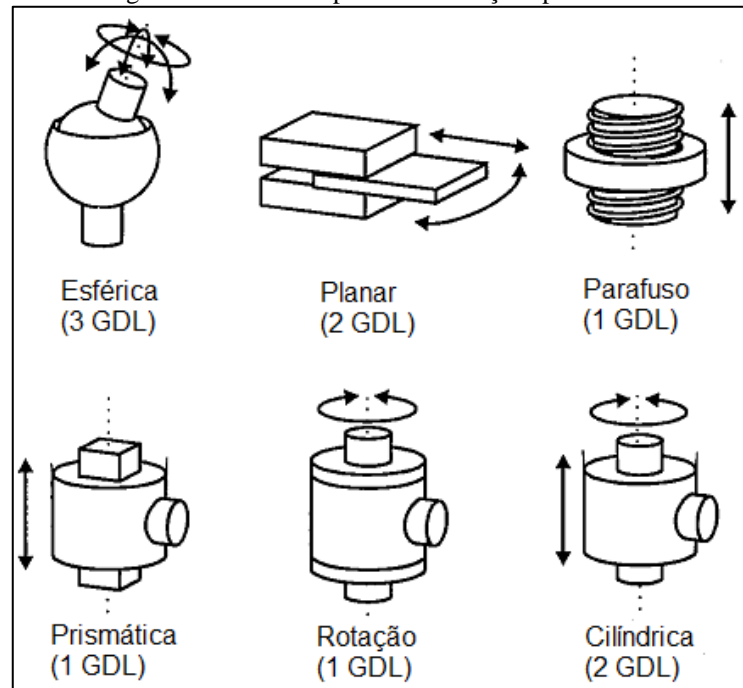
f) Unidade de controle: responsável pelo gerenciamento e monitoração dos parâmetros operacionais requeridos para realizar as tarefas do robô. Os comandos de movimentação enviados aos atuadores são originados de movimento e baseados em informações obtidas através de sensores.

Os braços manipuladores em linhas de montagem realizam movimentos padronizados geralmente simples e repetitivos. Atualmente sistemas automatizados são amplamente utilizados nas indústrias, e em seguimentos como, exploração de ambientes e pesquisas científicas, na medicina por meio de próteses e equipamentos cirúrgicos, na área militar e de segurança com a substituição do ser humano pelo uso de robôs manipuladores em situações de risco (ROSARIO, 2012).

Um manipulador mecânico, é formado com a combinação dos elementos estruturais rígidos chamados elos, que são conectados entre si através das articulações que são também conhecidas como juntas, sendo que o primeiro elo recebe a denominação de base e o último de terminal, este pode ter acoplado o componente efetuator, podendo ser garra ou ferramenta. O número de graus de liberdade do robô se refere à quantidade de variáveis independentes representadas normalmente pelas juntas, as quais definem as posições do movimento do equipamento como mostrado na figura adiante (RIVIN; BORODIN, 1988).

O movimento de cada articulação pode ser de deslocamento, giro ou uma combinação dos dois, sendo que cada um dos movimentos independentes que uma articulação realiza em relação à outra é chamado de grau de liberdade (GDL), sendo possível assim a formação de seis tipos diferentes de articulações (BARRIENTOS ET AL., 1997, p.16):

Figura 3 Diferentes tipos de articulações para Robôs



Fonte: Barrientos et al. (1997, p.17).

O GDL de um robô é dado pela soma dos GDLS das articulações que o compõem. Conforme Barrientos et al. (1997, p.17), para se posicionar um corpo em qualquer posição no espaço são necessários seis parâmetros, três para definir a posição e três para a orientação, logo, um robô para acessar qualquer lugar dentro do seu espaço de trabalho deverá contar com pelo menos seis GDL, embora a maioria dos robôs industriais trabalhem com apenas quatro ou cinco, segue as configurações mais comuns.

2.3 CLASSIFICAÇÃO DOS ROBÔS

Conforme RIASCOS, Luís (2010), os robôs podem ser classificados utilizando vários critérios tais como: autonomia do sistema de controle, mobilidade da base, estrutura cinemática, forma de acionamento, graus de liberdade, geometria do espaço de trabalho, etc. Logo abaixo está os critérios de classificação dos robôs (Figura 3):

Figura 4: Critérios de Classificação dos Robôs

Sistema de controle	Mobilidade da base	Estrutura Cinemática	Espaço de trabalho
Equipamentos teleoperados	<ul style="list-style-type: none"> Veículo teleoperado Manipulador teleop. 		<ul style="list-style-type: none"> Submarinos Marinos
Robôs	Móveis	<ul style="list-style-type: none"> Aquáticos Aéreos Terrestres 	<ul style="list-style-type: none"> Pernas Rodas
	Fixos	<ul style="list-style-type: none"> Paralelos Série 	<ul style="list-style-type: none"> 3 - 6 GdL Cartesiano Cilíndrico Esférico Articulado SCARA

Fonte: RIASCOS, Luís. Fundamentos de Robótica

2.3.1 Classificação segundo a autonomia do sistema de controle



Os sistemas de controle são classificados da seguinte forma:

- **Dispositivo mecatrônico teleoperado:** onde um operador humano controla cada um dos seus atuadores (ou graus de liberdade).
 - manipulador teleoperado
 - veículo teleoperado
- **Robô:** deve ser programável utilizando um sistema de controle, além disso, deve ser autônomo para realizar tarefas e deve movimentar uma peça ou ferramenta (utilizando seus graus de liberdade).

2.3.2 Classificação segundo a mobilidade da base

- **robôs fixos:** Esse tipo de robô muito geralmente é construído de forma a se parecer com um braço humano e suas partes, com base nessa analogia, podem ser classificados como corpo, braço, cotovelo e pulso e a junção de cada uma de suas partes de articulação. Esses tipos de robôs podem ser classificados como robôs seriais ou robôs paralelos.
- **robôs móveis (ou AGV):** um robô móvel é capaz de se locomover ao longo do ambiente, aplicando suas habilidades onde for necessário. Além disso, robôs móveis podem ser classificados em aéreos, aquáticos e terrestres, ou também, ser classificados conforme o tipo de locomoção utilizado, em robôs com rodas ou com pernas:

Tabela 1: Robôs Móveis

Estrutura	Imagem
Robô móvel humanoide	
Robô móvel com rodas	

Fonte: Imagem adaptada de RIASCOS, Luís. Fundamentos de Robótica



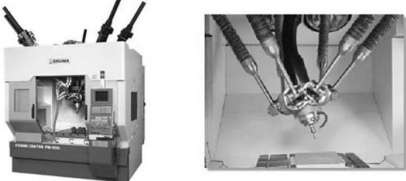

2.3.3 Classificação segundo a estrutura cinemática dos Robôs Fixos

Conforme Barrientos et al. (1997, p.16), um robô fixo é formado por uma série de elementos ou partes unidas mediante articulações que permitem movimentos relativos entre cada uma delas.

RIASCOS, Luís (2010) afirma que os robôs fixos são classificados de acordo segundo sua estrutura cinemática como mostrado abaixo:

- **Robôs Paralelos:** são robôs que possuem cadeia cinemática fechada e são classificados segundo o número de graus de liberdade (GdL), normalmente de 3 a 6 GdL. Os robôs paralelos são compostos por braços, ou cadeias cinemáticas, todos ligados a uma mesma base fixa. Os robôs com esta configuração são capazes de executar movimentos delicados, precisos e bastante dinâmicos.

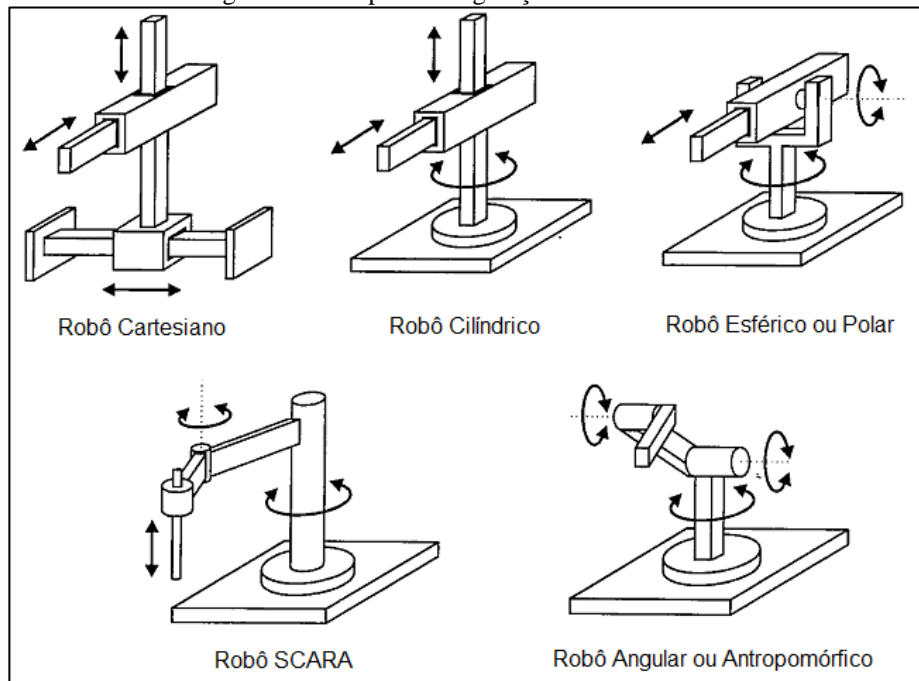
Tabela 2: Estrutura dos robôs paralelos

Estrutura	Imagem
Robôs paralelos de 3 GdL (Graus de Liberdade), tais como Delta (por ex.: ABB IRB 340), Tricept (por ex., ABB IRB 940, Comau HP1) e orthoglide	
Robô paralelo de 4 GdL, por ex.: Adept Quattro	
Robô paralelo de 5 GdL	
Robôs paralelos de 6 GdL	

Fonte: Imagem adaptada de RIASCOS, Luís. Fundamentos de Robótica

- **Robôs Seriais:** são robôs que possuem a cadeia cinemática aberta. Estes tipos de robôs podem ser classificados como cartesiano, cilíndrico, esférico, articulado ou SCARA.

Figura 5: Principais configurações dos robôs industriais



Fonte: Barrientos et al. (1997, p.18).

2.3.4 Classificação segundo o número de graus de liberdade

- Robôs de propósito geral (com 6 GdL), já que conseguem atingir qualquer posição e orientação no espaço de trabalho.
- Robôs redundantes (possuem mais de 6 GdL), por ex. quando têm articulações adicionais, especialmente utilizados para alcançar locais de difícil acesso contornando obstáculos. Robôs fixos colocados sobre trilhos formam outro caso de robôs redundantes.
- Robôs limitados possuem menos de 6 GdL, por ex. o robô SCARA, que geralmente possui 4 GdL.

Premissa: para posicionar uma ferramenta no espaço são necessários 6 GdL, isto é, três coordenadas no espaço para definir a posição e mais três ângulos de rotação para definir a orientação; entende-se então que são necessários robôs com 6 GdL para atingir qualquer posição e orientação.

2.3.5 Classificação segundo o tipo de acionamento

- Elétricos;
- Pneumáticos;
- Hidráulicos;

Como o projeto a ser implementado utilizará um robô articulado para compor as células robóticas, no capítulo seguinte será tratado o arranjo cinemático desta classificação de robôs.

2.4 ARRANJO CINEMÁTICO DE ROBÔS ARTICULADOS ANTROPOMÓRMIFICOS

Para o desenvolvimento deste trabalho, optou-se pela utilização do manipulador KR10 R1420 do fabricante KUKA. Optou-se por esse modelo, pelo fato de ele ser do tipo articulado que é amplamente utilizado nas indústrias.

Figura 6: Robô KR10 R1420 do fabricante KUKA

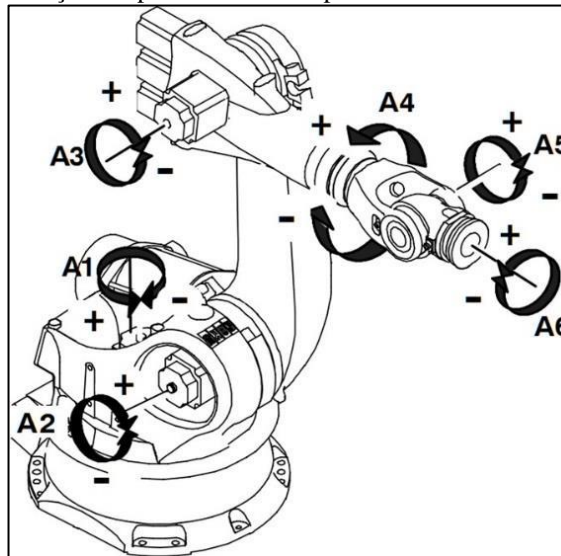


Fonte: Site do Fabricante KUKA

Manipuladores do tipo articulado tem sua configuração semelhante à de um braço humano, devido ao seu conjunto de 6 juntas rotacionais, que podem ser separadas em dois grupos, as que compõe o pulso e as que correspondem ao movimento do braço.

Este modelo de configuração é o mais versátil dos manipuladores pois assegura maiores movimentos dentro de um espaço compacto.

Figura 7: Representação simplificada do manipulador articulado de 6 GdL.



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

As juntas 1, 2 e 3 (A1, A2 e A3) da figura acima (Figura 7) são responsáveis pela posição final do efetuador localizado na extremidade do manipulador, são essas juntas que simulam o comportamento do conjunto braço e antebraço humano. As demais juntas, isto é, as juntas 4, 5 e 6 (A4, A5 e A6), são responsáveis pela orientação do efetuador. Isto significa que essas três últimas juntas emulam o comportamento de um pulso humano.

2.5 TUBULAÇÕES DE COBRE EM AR CONDICIONADOS

Figura 8: Tubos de cobre em ar condicionados



Fonte: <https://blogdofrio.com.br/cobre-versus-aluminio-quem-vence-a-batalha-das-serpentinas/>

Pelo fato de que o projeto será implementado em uma fábrica de ar condicionados no processo de fabricação de tubos de cobre, nada mais justo que entender mais sobre a utilização das tubulações e seus processos produtivos.

As tubulações de cobre têm um papel fundamental para a fabricação de ar condicionados. Isso confere mais segurança para os usuários e também economia, uma vez que o processo devidamente realizado garante a eficiência do aparelho.

Tubos e bobinas de cobre têm sido usados há muitos anos em todos os tipos de trocadores de calor tornando-os mais eficientes, ecológicos e econômicos.

Tubos de cobre de pequeno diâmetro reúnem todas as vantagens do cobre em bobinas de trocador de calor mais compactas e eficientes, desta maneira há uma redução do custo de condicionadores de ar e refrigeradores de alta eficiência para residências e empresas.

Fabricantes de equipamentos de refrigeração e ar condicionado estão, cada vez mais, produzindo produtos eficientes e econômicos utilizando tubos de cobre denominados tubos ranhurados.

Abaixo tem-se algumas vantagens referentes à utilização de tubos de cobre na fabricação de ar condicionados:

- Fabricação e montagem mais econômicas
- Tamanho menor, produto mais leve e custos mais baixos
- Coeficientes de transferência de calor mais altos
- Adequado para novos equipamentos refrigerantes
- Devido as propriedades do cobre, há menor utilização de refrigerante em seu sistema
- Redução geral no custo do sistema

Agora, além das vantagens, a utilização de tubos de cobre também traz muitos benefícios. Dentre eles destacamos:

Eficiência Energética - a redução do diâmetro dos tubos de cobre fornece um caminho econômico para a eficiência energética tanto em aparelhos de ar condicionado quanto de refrigeração.

Utilização de Menos material - um diâmetro menor do tubo resulta em uma transferência de calor mais eficaz levando a tubos menores e mais leves. Menos tubo e material de aleta podem fornecer transferência de calor equivalente ou maior.

Durabilidade - Os tubos e aletas de cobre são duráveis e confiáveis. Eles definem o padrão da indústria para resistência à corrosão e vida útil longa e confiável.

Os processos de fabricação de tubulações de cobre consistem desde o corte das bobinas de cobre até a brasagem dos conjuntos a serem levadas para as linhas de montagem de ar condicionados. Vale ressaltar que de acordo com a finalidade desta tubulação na linha final de montagem, o item pode receber diferentes combinações de processos para assumir sua geometria final. Segue abaixo a lista de descrição de cada processo produtivo de fabricação de tubos de cobre:

Tabela 3: Processos de Fabricação de Tubos de Cobre

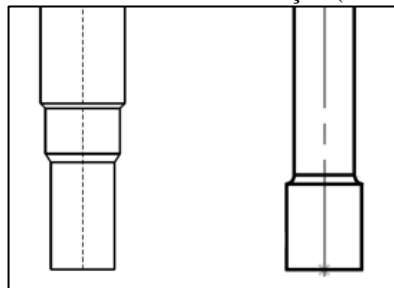
Processo	Descrição
Corte	Processo realizado em máquinas automáticas de corte de tubulações de diferentes comprimentos e diâmetros.
Dobra	Processo realizado em máquinas CNC com diferentes raios de dobra.
Conformação na Ponta (Expansão ou Redução)	Processo de conformação na ponta das tubulações aumentando ou diminuindo sua bitola com a finalidade de realizar o encaixe de diferentes tubulações.
Furação	Processo realizado em furadeiras automáticas e manuais para possibilitar encaixe de ramais em uma tubulação.
Prensagem	A prensagem é realizada para formar conectores de duas ou mais vias. Esse processo é realizado em pequenas prensas pneumáticas.
Brasagem	Processo onde é feita a união definitiva dos conjuntos de tubulações acabadas para serem enviadas para a linha final

Fonte: O autor.

2.5.1 Processo de Conformação em Tubulações

Este processo é realizado em tubulações com a finalidade de expandir ou reduzir o tubo de cobre utilizando ferramentas de conformação mecânica como punções e matrizes. Vale ressaltar que a atividade do operador neste processo se resume à inserção do tubo na máquina e sua retirada após a conformação. Segue abaixo uma exemplificação da tubulação resultante do processo:

Figura 9: Tubos Resultantes do Processo de Conformação (Redução ou Expansão)

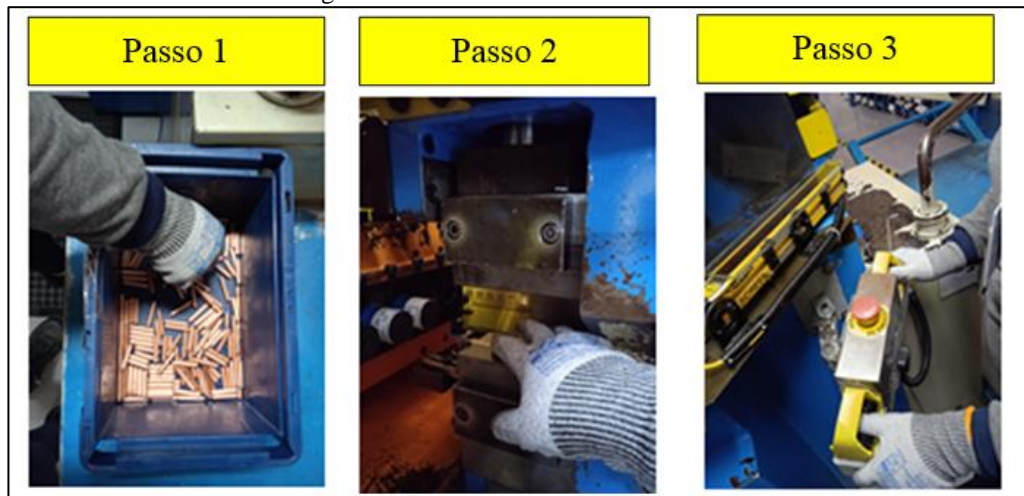


Fonte: O autor

O processo realizado pelo operador (passo a passo) consiste nas seguintes etapas abaixo:

- a) Coletar tubo cortado da caixa de marfinitite (Passo 1);
- b) Alimentar tubulação da Máquina de Conformação (Passo 2);
- c) Acionar botoeira bi manual para iniciar o processo de conformação (Passo 3);
- d) Remover tubo conformado e armazenar na caixa de marfinitite;

Figura 10: Passos do Processo



Fonte: O autor.

Para o processo descrito acima, o operador realiza as conformações em duas máquinas simultaneamente. Enquanto a máquina 1 está realizando o processo de conformação, o operador está realizando a retirada do tubo processado e abastecimento de outro na máquina 2 para dar continuidade ao processo. Com a máquina 2 em funcionamento, as etapas de retirada do processado e abastecimento de outro tubo se repete na máquina 1 ao ponto que o objetivo do operador no processo é não permitir que a máquina sempre esteja em produção. Segue abaixo a configuração do operador em relação às duas máquinas de conformação mecânica em tubos de cobre:

Figura 11: Configuração Operador-Máquina



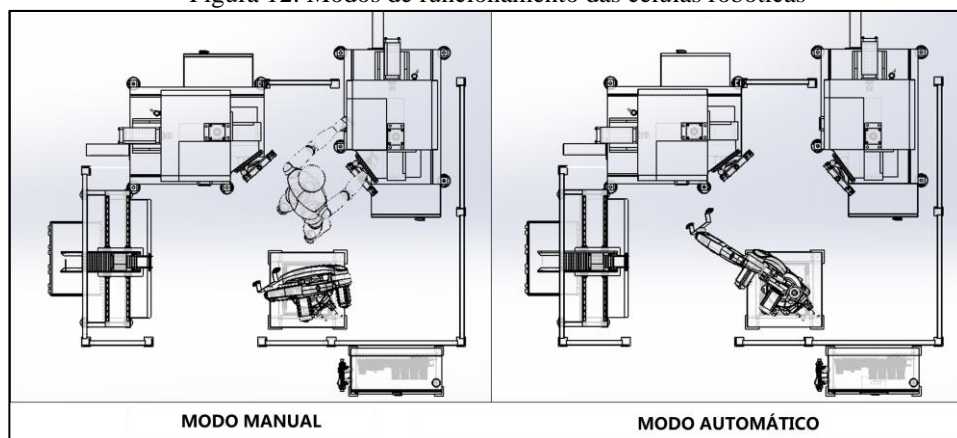
Fonte: O autor.

2.6 PROJETO DE IMPLEMENTAÇÃO DAS CÉLULAS

Para o processo descrito no Cap. 2.5.1, a célula robótica terá por finalidade primária substituir as atividades da mão de obra humana na execução do processo de conformação dos tubos de cobre. Segue abaixo as principais premissas para a implementação do projeto:

a) Célula poderá fazer o processo manual e automático: no manual, o robô deverá permanecer em posição neutra, possibilitando o operador de realizar as atividades do processo caso haja problemas de manutenção na célula. Já no processo automático, o robô deverá realizar o processo de alimentação de tubos de cobre em 2 máquinas de conformação, retirada e segregação das peças conformadas em caixas.

Figura 12: Modos de funcionamento das células robóticas

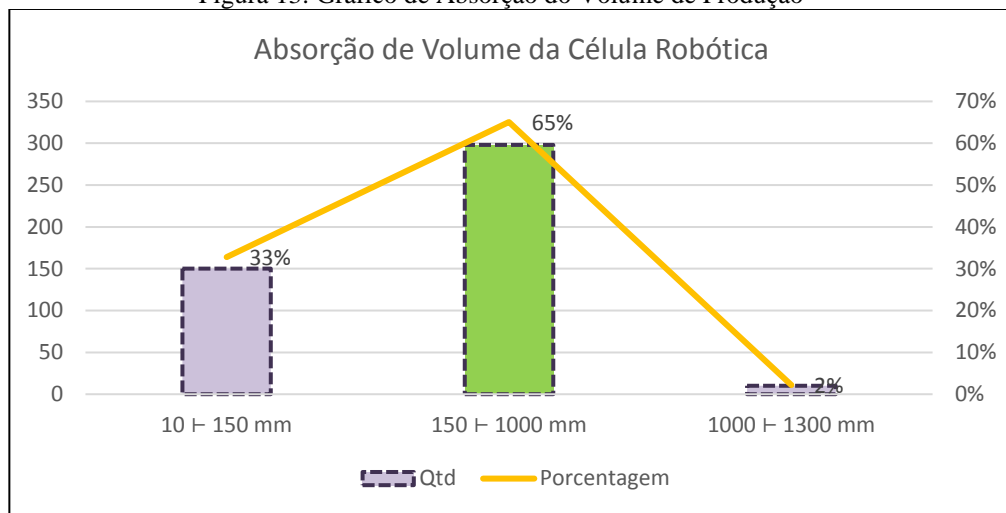


Fonte: O autor.

b) A célula não permitirá a fabricação de dois modelos ao mesmo tempo. Esta restrição se dá devido às limitações de máquina.

c) A célula será capaz de produzir modelos entre os comprimentos de 150mm até 1000 mm para tubos de 5/16", 3/8", 1/2", 5/8" e 7/8". Portanto, de acordo com a quantidade total de modelos, a célula robótica terá uma taxa de absorção de 65%. Vale ressaltar que os outros 35% do total de itens deverão ser produzidos nas 4 demais máquinas de conformação.

Figura 13: Gráfico de Absorção do Volume de Produção

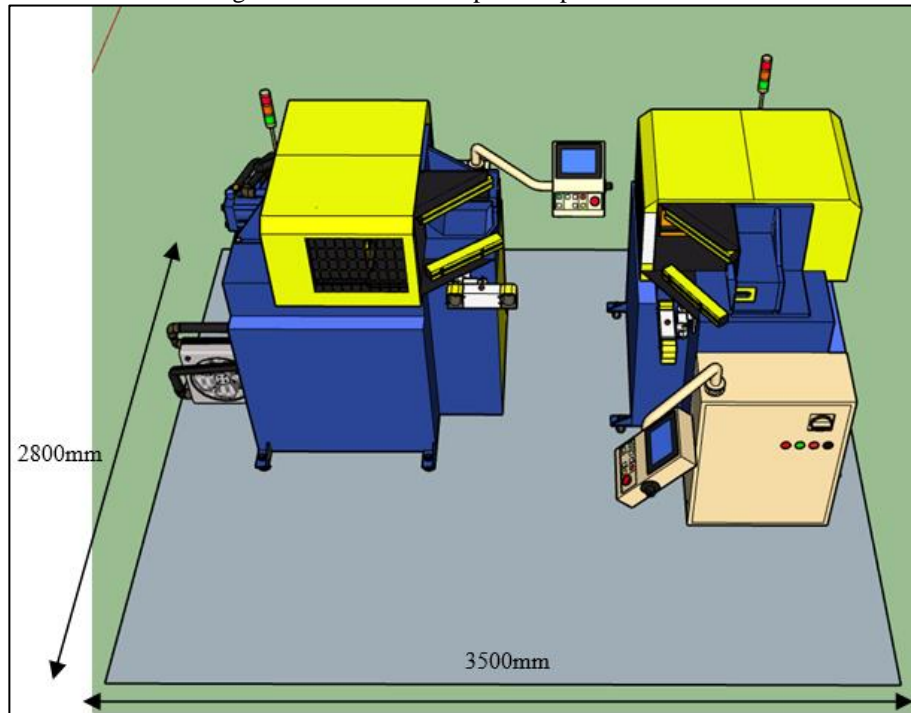


Fonte: O autor

d) A célula robótica não eliminará o processo de troca de ferramental. Em caso de alterações de modelos, o operador deverá realizar o setup manualmente de punções e mordente da máquina de conformação.

De acordo com as seguintes premissas descritas acima, a célula robótica também deverá ocupar a dimensão máxima de 2800 x 3500 mm conforme mostrado no layout abaixo:

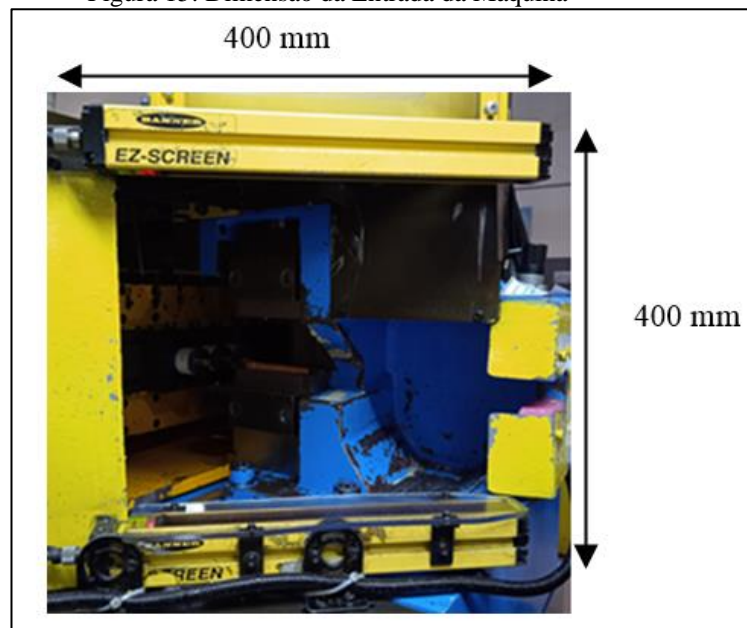
Figura 14: Dimensão disponível para Célula Robótica



Fonte: O autor

Além disso, o robô deverá atender à restrição da área de entrada na máquina para realizar o abastecimento do tubo de cobre ($0,16 \text{ m}^2$):

Figura 15: Dimensão da Entrada da Máquina

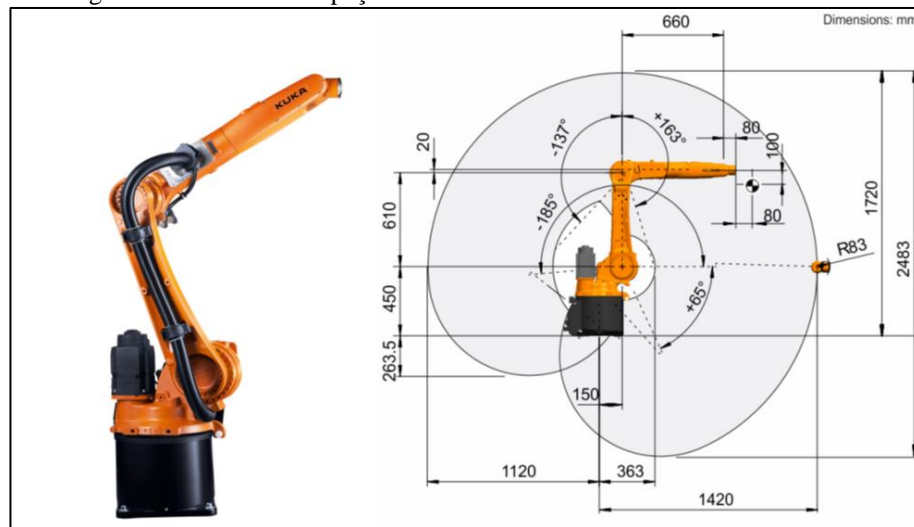


Fonte: O autor

2.6.1 Modelo do Robô

O robô adotado para este projeto foi o KR 10 R1420 do fabricante KUKA. A escolha deste modelo sucedeu devido ao raio de alcance máximo do robô (1420 mm) para a realização de todos os movimentos de alimentação das tubulações em duas máquinas e retiradas de materiais.

Figura 16: Gráfico de Espaço de Trabalho - Robô KR 10 R1420



Fonte: Site do Fabricante KUKA

A tabela (tabela 4) abaixo indica o intervalo de operação das juntas para os 6 graus de liberdade do robô, com suas juntas e orientações de giro. Este intervalo de operação possibilita que o robô se movimente dentro de um espaço compacto e realize as atividades do processo de conformação de tubos dentro das dimensões da Figura 13.

Tabela 4: Intervalo de Operação das Juntas

Juntas	Intervalo de operação (°)
θ_1	+/-170°
θ_2	+65°/-185°
θ_3	+165°/-137°
θ_4	+/-185°
θ_5	+/-120°
θ_6	+/-350°

Fonte: Site do Fabricante KUKA

Tabela 5: Dados Técnicos do Robô KR 10 R1420

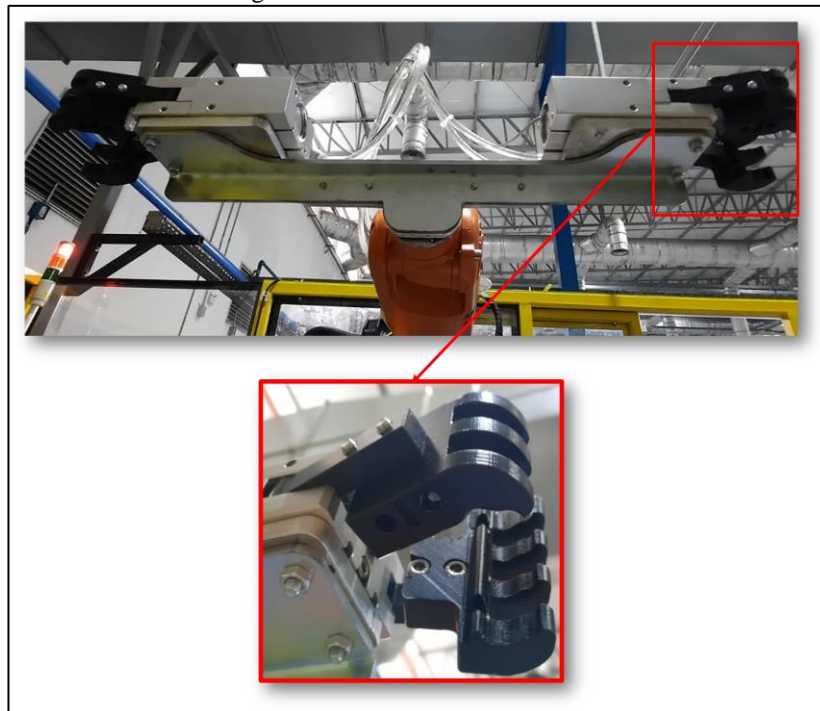
Dados Técnicos	Descrição
Raio de Alcance Máximo	1420 mm
Capacidade de Carga Máxima	-
Capacidade de Carga Nominal	10 kg
Carga Adicional Carrossel / Balancim / Braço	0 kg / 0 kg / 10 kg
Exatidão de Repetibilidade da Posição (ISO 9283)	$\pm 0,04$ mm
Número de Eixos	6
Posição de Montagem	Piso; Teto; Parede; Ângulo qualquer
Área de Instalação	333,5 mm x 307 mm
Peso	Cerca de 160 kg

Fonte: Site do Fabricante KUKA

2.6.2 Garras dos Robôs

O efetuator a ser utilizado pelos robôs será por meio de garras de PU (poliuretano) acoplado em pistões com acionamento pneumático para fazer o manuseio das tubulações de cobre durante o processo. Esse dispositivo deverá possuir duas garras acopladas ao robô para ter a capacidade de manuseio ampliada e reduzindo a quantidade de movimentos realizados pelos robôs antropomórficos.

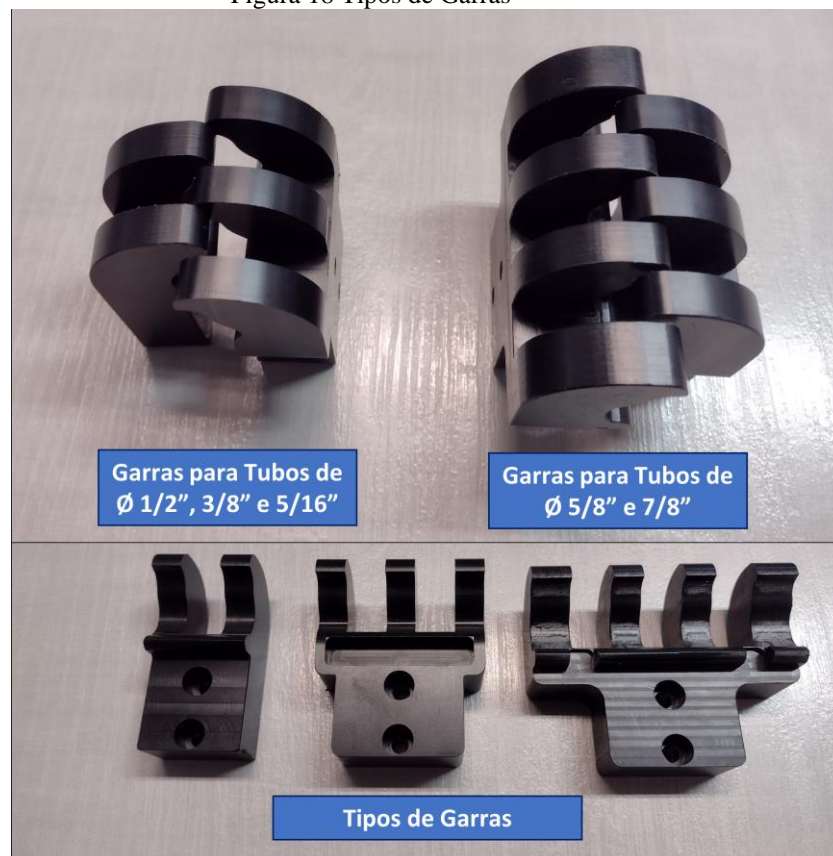
Figura 17: Garra do robô



Fonte: O autor.

Vale ressaltar que, como no processo de conformação há tubulações com diferentes comprimentos e diâmetros, será necessário utilizar diferentes tipos de garras para cada caso. Como premissa principal, serão utilizadas conjuntos de garras que possuam maior área de contato para os tubos de diâmetros de 5/8" e 7/8", e garras com menores áreas de contato para tubulações com diâmetro de 1/2", 3/8" e 5/16".

Figura 18 Tipos de Garras

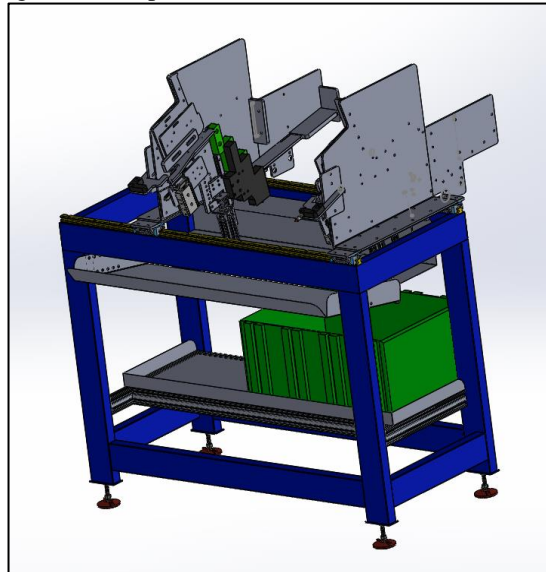


Fonte: O autor.

2.6.3 Dispensador (Feeder)

Além das garras para manuseio das tubulações, foi-se necessário o projeto e confecção de dispensadores reguláveis devido aos diferentes comprimentos de tubulações no processo. Este dispensador deverá ter a regulagem para tubos de 150 a 1000mm e deverá ser responsável por disponibilizar o tubo de cobre na posição ideal para o robô realizar a pega do item e dar início ao processo de conformação.

Figura 19: Dispensador da Célula Robótica

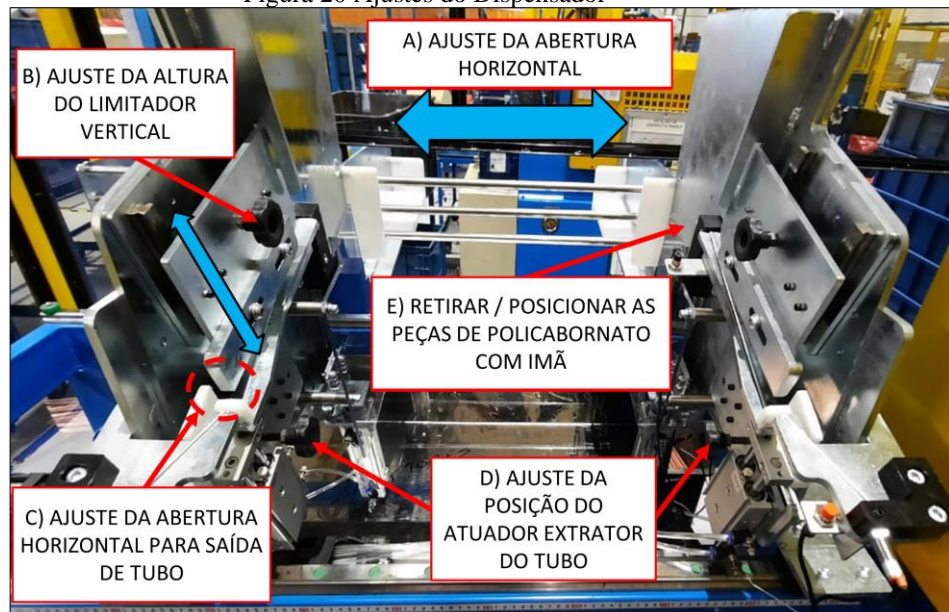


Fonte: O autor

O dispensador possui diferentes tipos de ajustes para se adequar aos diferentes comprimentos e bitolas dos tubos. Os principais ajustes são:

- a) Ajuste da abertura horizontal;
- b) Ajuste da altura do limitador vertical
- c) Ajustes da abertura horizontal para saída de tubo;
- d) Ajuste da posição do atuador extrator do tubo;
- e) Retirar / posicionar as peças de policarbonato com ímã;

Figura 20 Ajustes do Dispensador

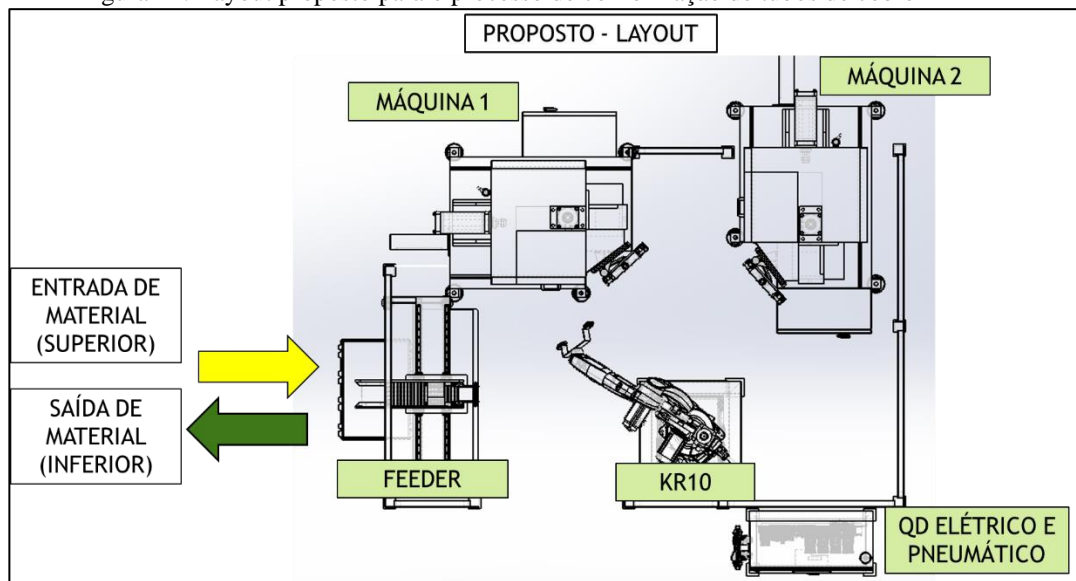


Fonte: O autor.

2.6.4 Definição de Layout

Com base na escolha do modelo do robô a ser implementado no processo, foi-se montado o layout proposto das células no qual o robô deveria ficar disponibilizado de forma tal que fossem realizadas as atividades de abastecimento e retirada de tubulações nas máquinas com um fluxo de entrada e saída bem definida como na imagem abaixo:

Figura 21: Layout proposto para o processo de conformação de tubos de cobre

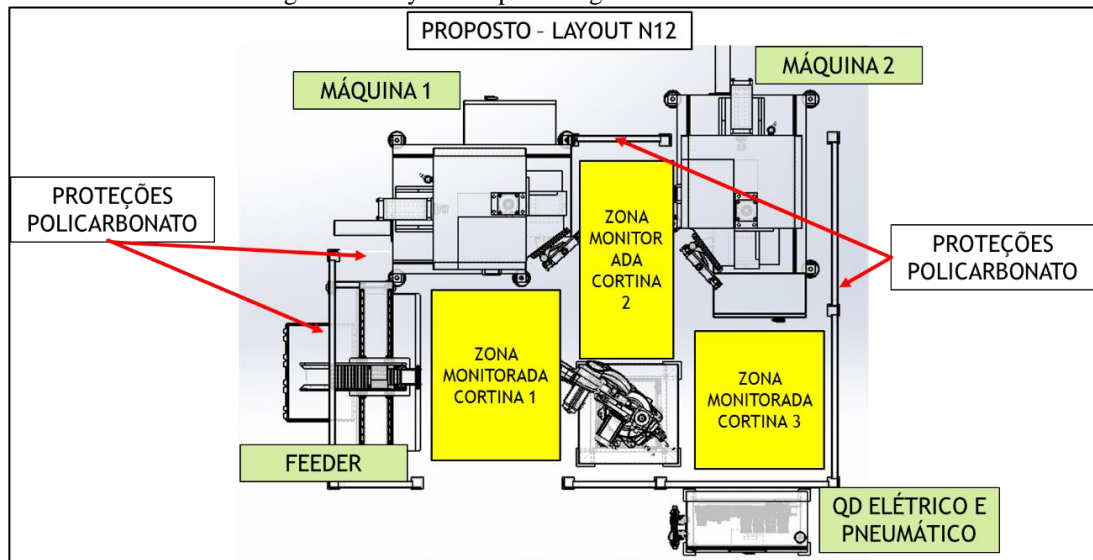


Fonte: O autor

2.6.5 Célula Robótica e NR12

O layout foi definido adotando critérios da norma regulamentadora NR12 (Segurança em Máquinas e Equipamentos) para garantir a segurança de todos os operadores de máquina que trabalhem próximos à área da célula e executar melhorias das condições de trabalho. Segue abaixo um layout proposto seguindo a NR12:

Figura 22: Layout Proposto Seguindo NR12



Fonte: O autor

Como requisitos de segurança, a célula deve seguir as seguintes premissas sobre proteções físicas:

- Inserir proteções físicas, com monitoramento por interface de segurança (CLP de segurança CAT IV), para todas as proteções físicas fixas e móveis, que ofereça risco de acesso a engrenagem/prensagem, esmagamento;
- Inserir enclausuramento com grades de proteção. Obs.: A altura máxima do robô deverá ser informada ao setor de Meio Ambiente e Segurança, para que possa definir a altura de segurança do enclausuramento;
- Todo o meio de acesso deve estar interligado a micro chave magnética;
- Inserir scanner ópticos, para o monitoramento de todas as zonas mortas no interior das proteções físicas, não será aceita nenhuma área sem monitoramento;
- Na área de entrada e de saída da célula, deve possuir cortina de luz, monitorada por interface de segurança, para impedir acesso a zona de risco.

Os periféricos de segurança devem estar monitorados com interface de segurança individuais.

Figura 23: Periféricos de Segurança



Fonte: O autor

Além da proteção física, deve-se instalar dispositivos de parada de emergência (Botões) e realizar o monitoramento desse periférico por meio de interface de segurança:

- No Painel de comando;
- Na parte interna do gradeio, próximo à área de atuação da manutenção.

Deve-se instalar placas de identificação atendendo o item: 12.123 da NR12:

- Ano de fabricação;
- Nome da empresa (CNPJ);
- Dados técnicos da máquina (informação sobre tipo, modelo, capacidade, número de série, identificação e peso da máquina);
- Responsável técnico (CREA);

Painel elétrico deverá ser blindado, contendo:

- Instalação de seccionadora com ponto de lockout tagout;
- Porta cadeado;
- Chave de bloqueio para evitar acesso por pessoas não autorizadas nas partes energizadas;
- Botão de emergência, monitorada por relé de segurança;
- Aterramento na porta do quadro elétrico;
- Sinalização de segurança e identificação de voltagem, risco de choque elétrico e somente pessoas autorizadas, na porta do quadro elétrico;
- Deve ser instalado em local de fácil acesso para manutenção;
- Instalar relé de Inversão de fase;

- Os barramentos e similares devem estar protegidas por proteção física de policarbonato;
- Esquema elétrico;
- Laudo de aterramento com emissão de ART.
- Inserir dupla contadoras de segurança interligadas em série;
- No painel de comando deve possuir o botão reset na cor azul;

Sobre sinalização, deve-se instalar sinalizações dos riscos (esmagamento, corte, prensagem, colisão, não subir na esteira, choque elétrico, etc.) do equipamento com os seguintes itens abaixo:

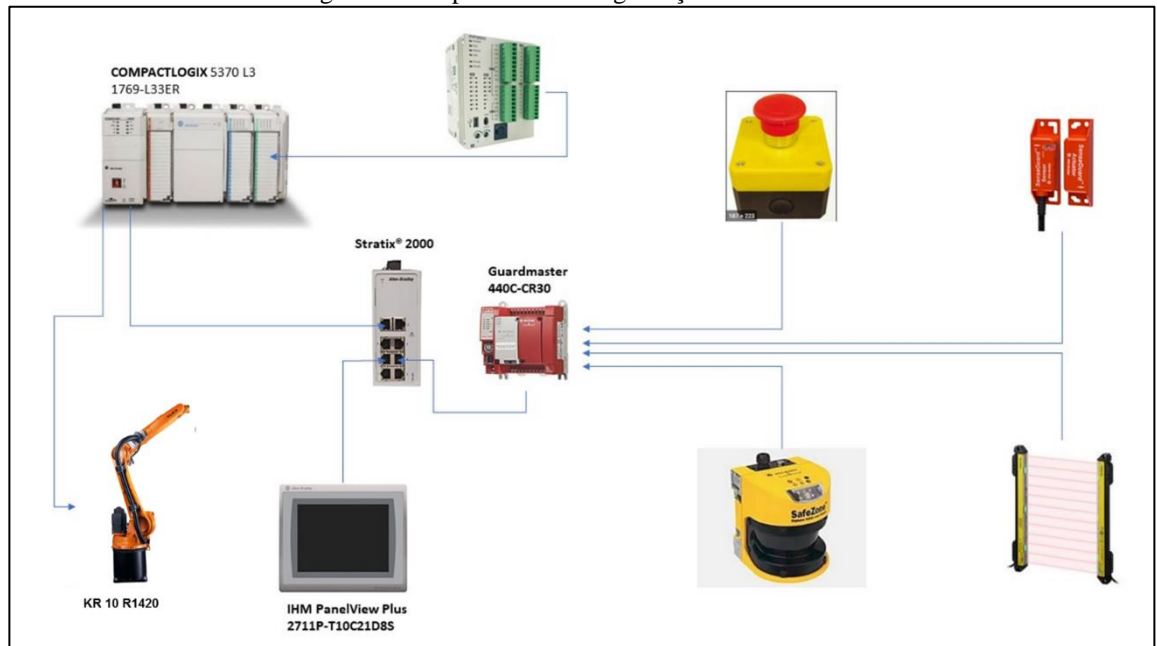
- A sinalização de segurança deve ficar destacada na máquina ou equipamento;
- Em local de fácil visão;
- Ser de fácil compreensão;

Além disso, o projeto deve apresentar os seguintes requisitos abaixo:

- Projeto deve ser elaborado por profissional habilitado;
- Fornecer ART – Anotação de Responsabilidade Técnica de fabricação;
- Fornecer os Certificado dos periféricos de Segurança;
- Fornecer o Manual de Operação e Manutenção;
- Desenho de cada peça do equipamento e periféricos;
- Fornecer Projeto e Esquema Elétrico dos equipamentos NR10);
- Fornecer Laudo de Aterramento com Emissão de ART;
- Fornecer Laudo de conformidade em NR12

Seguindo as premissas descritas acima, foi-se adotado um esquema com dispositivos de segurança associados a proteções com o objetivo de reduzir riscos de acidentes por meio do monitoramento da parte interna da célula com sensores e dispositivos elétricos:

Figura 24: Dispositivos de Segurança



Fonte: O autor

Com o esquema apresentado, a célula robótica deve possuir como itens de segurança como: botoeira de emergência, a cortina de luz, sensores de segurança e dispositivos de intertravamento. Todos esses dispositivos, quando acionados, irão enviar sinais para o CLP fazendo com que haja a interrupção de quaisquer movimentos realizados pelo robô ou pela máquina de conformação.

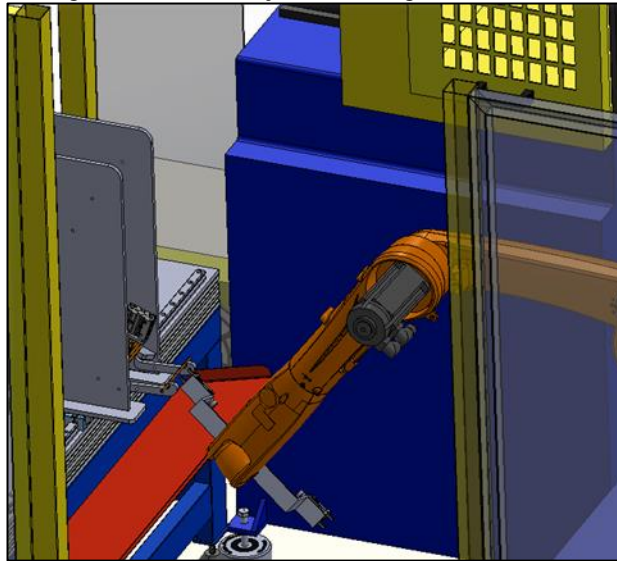
2.6.6 Movimentações do Robô

As movimentações dos robôs durante o processo de conformação seguem como base a posição neutra do robô (posição inicial/zero). A partir desta posição, serão criadas todas as receitas para diferentes comprimentos de tubulações.

O processo com a implementação das células possuirá as seguintes etapas abaixo:

- **Etapa 1 (Início do processo):** O robô realizará o movimento da posição neutra para o dispensador com a finalidade de abastecer as duas garras.

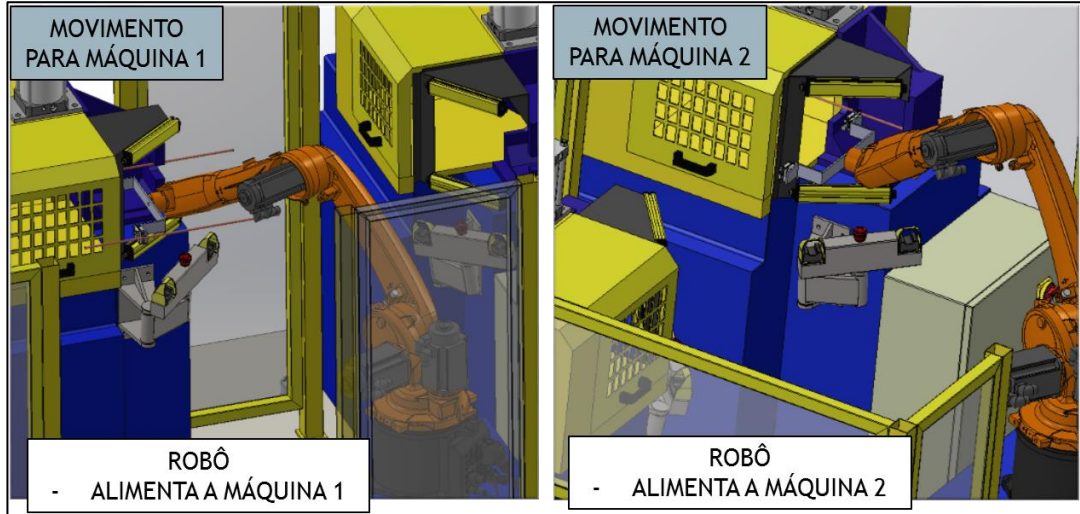
Figura 25: Alimentação nas duas garras



Fonte: O autor

- **Etapa 2 (Alimentação nas máquinas):** Com as garras já alimentadas, o robô realiza o movimento para posicionar ambos os tubos nas máquinas 1 e 2, respectivamente.

Figura 26: Abastecimento de tubulações nas Máquinas



Fonte: O autor.

- **Etapa 3 (Realimentação da garra):** Com as máquinas realizando o processo de conformação, o robô realiza o movimento em direção ao dispensador para alimentar a garra 1.

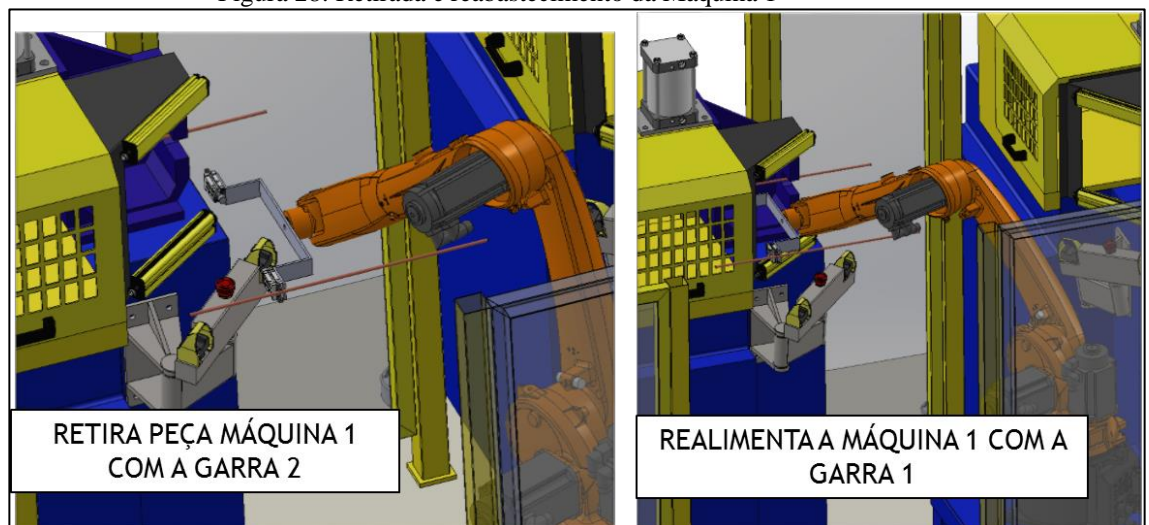
Figura 27: Realimentação da Garra



Fonte: O autor.

- **Etapa 4 (Retirada de peça e realimentação da máquina 1):** O robô deverá realizar a retirada da peça da máquina 1 e reabastecer a máquina 1 com a garra 1.

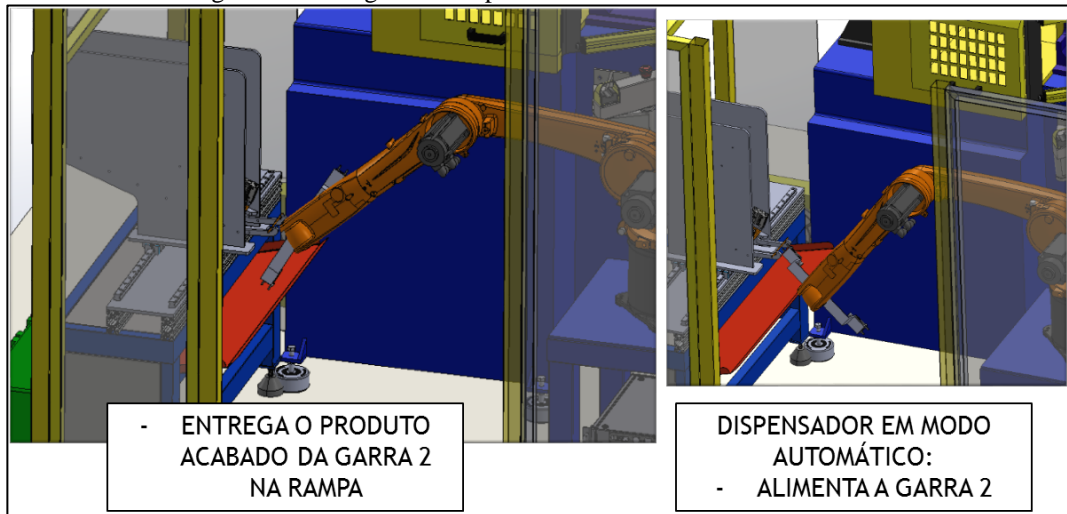
Figura 28: Retirada e reabastecimento da Máquina 1



Fonte: O autor.

- **Etapa 5 (Devolução do produto e realimentação da garra 2):** O robô deverá entregar a tubulação processada para a rampa e em seguida reabastecer a segunda garra.

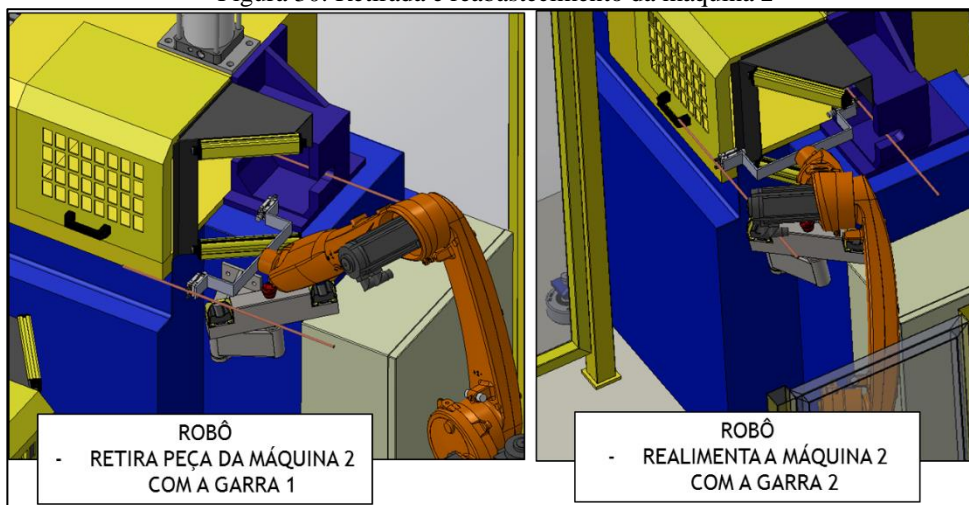
Figura 29: Entrega do Item processado e reabastecimento



Fonte: O autor.

- **Etapa 6 (Retirar peça da máquina 2):** O robô realiza o movimento para a máquina 2 e retira a peça processada com a garra 1 e realimenta a máquina com a garra 2.

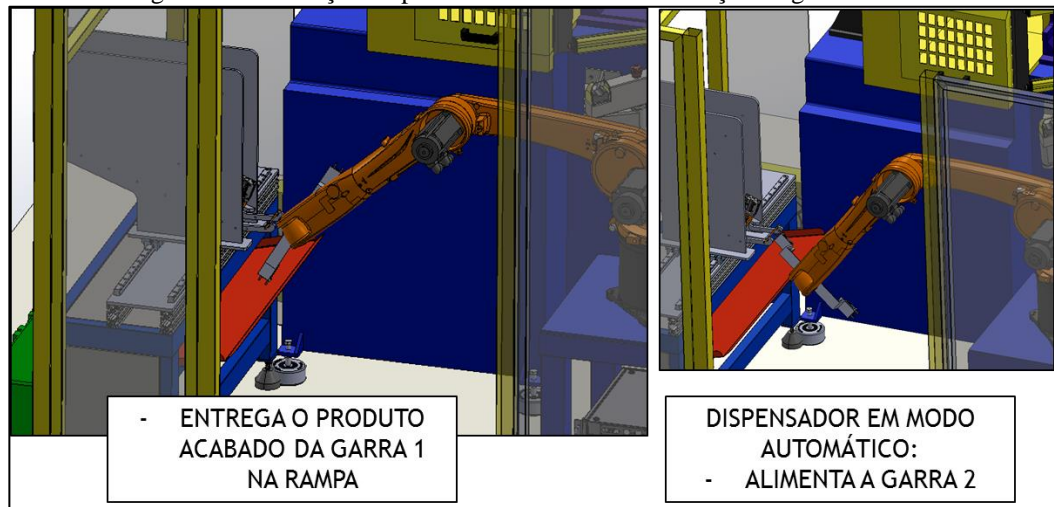
Figura 30: Retirada e reabastecimento da máquina 2



Fonte: O autor.

- **Etapa 7 (Devolução do produto acabado e realimentação da garra 2):** o robô realiza o movimento em direção ao dispensador para entregar a peça processada da garra 1 na rampa. Após a devolução, o robô alimenta a garra 2.

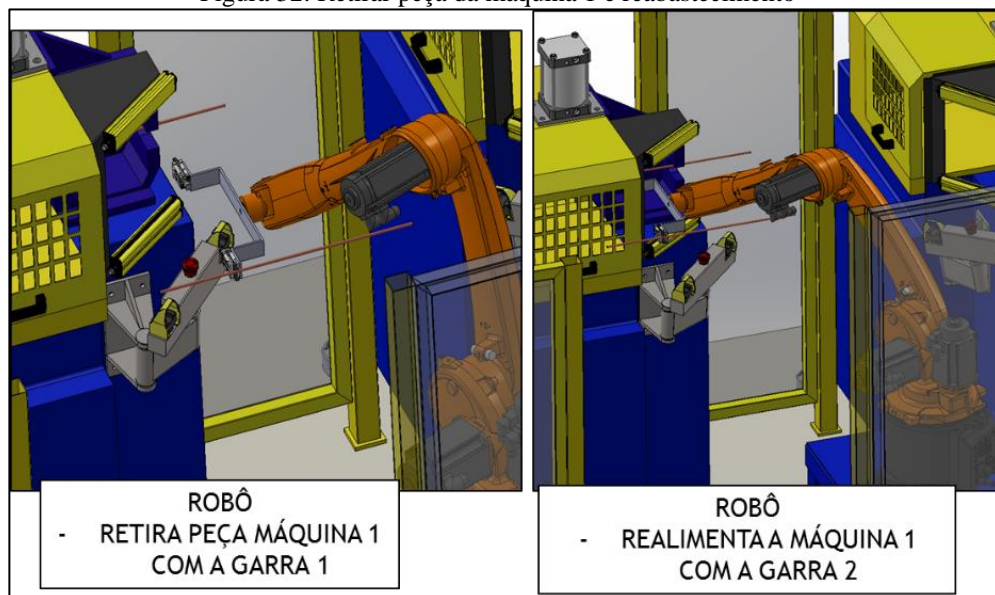
Figura 31: Devolução do produto acabado e realimentação da garra 2



Fonte: O autor.

- **Etapa 8 (Retirar peça da máquina 1):** o robô faz o movimento em direção à máquina 1, retira a peça processada com a garra 1 e realimenta a máquina 1 com a garra 2. Robô repete os passos da etapa 7.

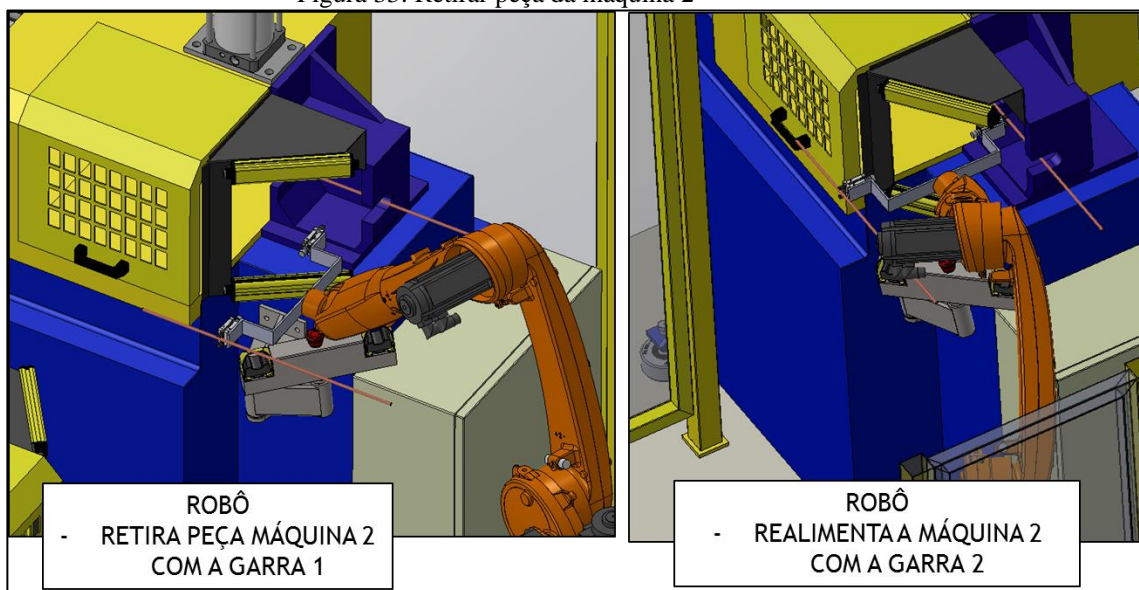
Figura 32: Retirar peça da máquina 1 e reabastecimento



Fonte: O autor.

- **Etapa 9 (Retirar peça da máquina 2):** o robô faz o movimento em direção à máquina 2, retira a peça com a garra 1 e realimenta a máquina 2 com a garra 2. Após isso, a célula robótica entra em ciclo com as etapas 7, 8 e 9 até processar a quantidade total de tubos de acordo com as ordens de produção. Ao finalizar a quantidade total de peças, a célula robótica voltará para a posição neutra.

Figura 33: Retirar peça da máquina 2



Fonte: O autor.

2.6.7 Cronograma da Implementação da Célula

O cronograma do projeto foi planejado considerando todo o tempo necessário para desenhar o projeto, comprar os materiais elétricos e mecânicos, realizar testes nos robôs e implementar as duas células robóticas no processo de conformação dos tubos.

Figura 34: Cronograma de Implementação do Projeto

Cronograma		2021																																																	
		Meses																																																	
ITEM	ATIVIDADES	Semana	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	
1	PREPARAR E ENVIAR MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO	PLANEJADO																																																	
	REALIZADO																																																		
2	ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA - ROBÔS KR3 x KR10	PLANEJADO																																																	
	REALIZADO																																																		
3	PROCESSO DE COMPRA	PLANEJADO																																																	
	REALIZADO																																																		
4	TESTE DOS ROBÔS	PLANEJADO																																																	
	REALIZADO																																																		
6	CHEGADA DO MATERIAL ELÉTRICO	PLANEJADO																																																	
	REALIZADO																																																		
7	FABRICAÇÃO DAS PARTES ELÉTRICAS E MECÂNICAS	PLANEJADO																																																	
	REALIZADO																																																		
8	SAÍDA DA MÁQUINA 1ª PARA O FORNECEDOR	PLANEJADO																																																	
	REALIZADO																																																		
9	INSTALAÇÃO / TRYOUT / ENTREGA - 1ª CÉLULA	PLANEJADO																																																	
	REALIZADO																																																		
10	SAÍDA DA MÁQUINA 2ª PARA O FORNECEDOR	PLANEJADO																																																	
	REALIZADO																																																		
11	INSTALAÇÃO / TRYOUT / ENTREGA - 2ª CÉLULA	PLANEJADO																																																	
	REALIZADO																																																		

Fonte O autor.

3 RESULTADOS E CONCLUSÕES

Os resultados e ganhos do projeto podem ser calculados de acordo com os “Savings Financeiros” (Economia por meio da redução dos custos de produção) e custo total do projeto sendo possível, desta forma, calcular em quanto tempo o projeto “se paga” e passa a ser lucrativo para a empresa. O custo total da implementação das duas células robóticas foi definido e mapeado pelo fornecedor responsável pela execução do projeto resumido na seguinte tabela abaixo (Tabela 7).

Tabela 6: Custos do Projeto

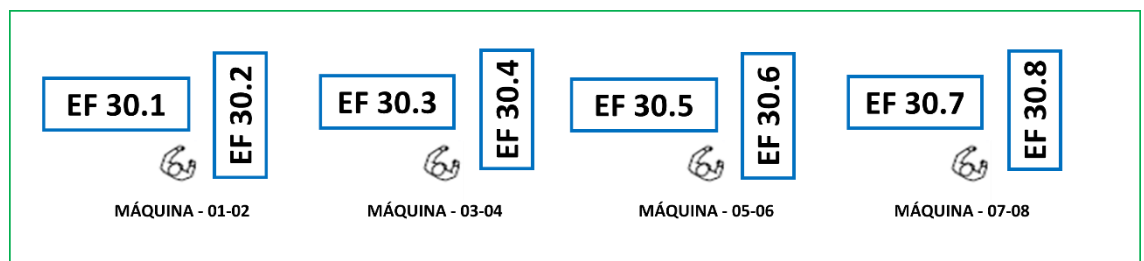
CUSTOS PLANEJADOS PARA IMPLEMENTAÇÃO	USD (\$)
CUSTO DAS CÉLULAS ROBÓTICAS	81.464
CUSTO PARA AUTOMAÇÃO DE HARDWARES	19.018
CUSTO PARA PERSONALIZAÇÃO DE SOFTWARE	6.071
PEÇAS DE REPOSIÇÃO	9.000
INSTALAÇÃO DA CÉLULA E FERRAMENTAS	10.161
CUSTO TOTAL DO PROJETO	125.714

Fonte O autor.

Os resultados obtidos pós implementação das células robóticas estão diretamente associados com as reduções da quantidade de operadores necessários para operar as máquinas de conformação mecânica das tubulações de cobre.

O cenário antes das implementações apresentava um contexto de 4 colaboradores operando as 8 máquinas (2 Operadores para cada máquina de conformação) como mostrado no layout abaixo:

Figura 35: Layout antes da Implementação das Células

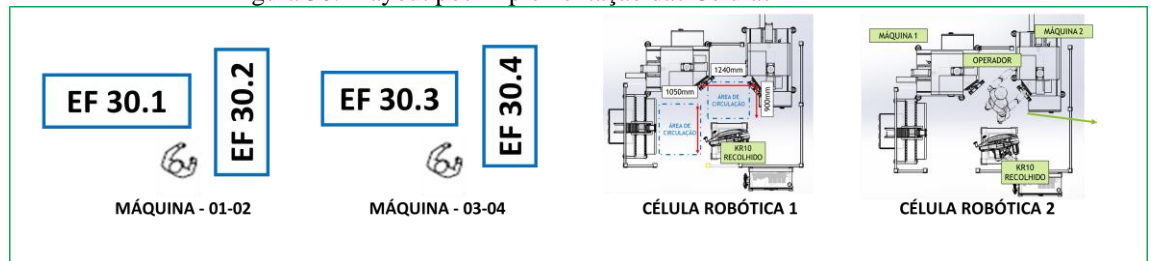


Fonte: O Autor.

Após as implementações, o layout das máquinas de conformação foi alterado de tal forma que passou a apresentar um cenário com apenas 2 operadores operando os pares de

máquina 01-02 e 03-04. Já os pares de máquina 05-06 e 07-08 se tornaram células robóticas sem que haja a necessidade de um colaborador operando as máquinas.

Figura 36: Layout pós Implementação das Células



Fonte: O Autor.

Com base nessa proposta de redução de 2 operadores, é possível calcular o “Saving Financeiro” para o período de 1 ano por meio da seguinte fórmula:

$$\text{Saving} = (\text{Qty de Operadores} \times \text{Qty de Turnos} \times \text{Quantidade de Meses}) \times \text{Custo do Op. para 1 Mês}$$

Para o cenário de implementação, a análise deve ser realizada considerando a variação da quantidade de operadores durante 1 ano completo. Neste caso em específico, a realidade do processo necessita da adoção das seguintes premissas:

- Primeiro Semestre: redução dos HCs considerando apenas 2 turnos de produção em um dia. Esta adoção se dá devido à necessidade de produção ser baixa no primeiro semestre (Low Season).
- Segundo Semestre: redução dos HCs considerando os 3 turnos de produção em um dia, pois o último semestre do ano apresenta uma demanda significativa de produção havendo a necessidade de mais turnos para atender o volume requerido (High Season).

Portanto, calcula-se o Saving com base nessas premissas adotadas acima e considerando o custo mensal de um operador igual a \$1000.

$$\text{Saving} = ((2 \text{ hc} \times 2 \text{ turnos} \times 6 \text{ meses}) + (2 \text{ hc} \times 3 \text{ turnos} \times 6 \text{ meses})) \times 1.000\text{USD}$$

$$\text{Saving} = \$ 60.000$$

Com base neste valor de saving financeiro para 1 ano e do valor de custo, é possível calcular o payback simples do projeto:

Payback = Investimento Inicial / Ganhos

Payback = \$ 125.714 / \$ 60.000

Payback = 2,1 anos

Por meio do cálculo acima é possível afirmar que a partir de 2,1 anos de uso das células robóticas, esta implementação passará a gerar lucros para fábrica.

Neste trabalho objetivou-se descrever passo a passo o processo de implementação de duas células robóticas que foram responsáveis pela substituição humana na execução das atividades no processo de conformação de tubos de cobre. Para tanto, foi realizado um estudo de caso sobre as características do processo de conformação e as principais premissas do projeto e sua relação com os dispositivos de segurança conforme a Norma Regulamentadora 12. Em seguida foi feito um estudo de viabilidade técnica para analisar os ganhos do projeto e quando este passará a ser lucrativo para a fábrica.

Este trabalho foi executado com êxito, uma vez que os robôs foram implementados e concluíram seu propósito conforme planejado

REFERÊNCIAS

MARSON, M. D. A industrialização brasileira antes de 1930: uma contribuição sobre a evolução da indústria de máquinas e equipamentos no estado de São Paulo, 1900-1920. **SciELO**, São Paulo, out/dez. 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-41612015000400753>. Acesso em: 01 maio 2022.

BOETTCHER, M. Revolução Industrial - Um pouco de história da Indústria 1.0 até a Indústria 4.0. **LinkedIn**. 26 nov. 2015. Disponível em: <<https://pt.linkedin.com/pulse/revolu%C3%A7%C3%A3o-industrial-um-pouco-de-hist%C3%B3ria-da-10-at%C3%A9-boettcher>>. Acesso em: 01 maio 2022.

SILVA, D. B. da. et al. **O Reflexo da Terceira Revolução Industrial na Sociedade**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 22., 2012, Curitiba. Curitiba, ABEPRO, 2012. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2002_tr82_0267.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2022.

SILVEIRA, C. B. O que é a Indústria 4.0 e como ela vai impactar o mundo. **Citisystems**. 2017. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/industria-4-0/>>. Acesso em: 27 mar. 2022.

OESTERREICH, T. D.; TEUTEBERG, F. **Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry**. Computers in Industry. 2016.

ZAWADZKI, P.; ŻYWICKI, K. **Smart product design and production control for effective mass customization in the Industry 4.0 concept**. Management and Production Engineering Review. 2016.

SPONG, Mark W. VIDYASAGAR, Mathukumali. **Robot Dynamics and Control**. New York: JOHN WILEY & SONS, 1989.

ROMANO, Vitor Ferreira. **Rede de automação da manufatura**. 1 ed. São Paulo: EDGAR BLUCHER Ltda, 2002.

ROSARIO, João; **Os princípios da mecatrônica**. São Paulo- SP: Prentice Hall, 2012.

RIVIN, E. Mechanical Design of Robots. New York: McGraw-Hill Inc, 1988.

BORODIN, N. Machine Design. Moscow: MIR Publishers, 1988.

PAZOS, Fernando. Automação de Sistemas e Robótica. Disponível em:

<<https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbmZlZXJlYXV5b2FwYXpvc3xneDphM2NhZjM5ZTc2ZTg0Y2U>>. Acesso em: 23 de mar. 2022.

RIASCOS, Luís. Fundamentos de Robótica: manipuladores e robôs móveis. Ed. Pleiade, São Paulo, 2010. Disponível em:

<<https://graduacao.ufabc.edu.br/ear/conteudo/ensino/disciplinas/Robotica/FundamentosRobotica.html#:~:text=Rob%C3%B4s%20podem%20ser%20classificados%20utilizando,do%20espa%C3%A7o%20de%20trabalho%2C%20etc>>. Acesso em: 01 maio 2022.

KUKA. Robô Articulado KR10 R1420. Disponível em:

< https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/6b77eecacfe542d3b736af377562ecaa/0000255784_pt.pdf?rev=68b39280d9a54dabb4362802d3053da4&hash=417F0025342397513EFA0DDE3317F573#:~:text=O%20KR%2010%20R1420%20est%C3%A1,ser%20ver%2D%20ificado%20com%20KUKA.>. Acesso em: 12 de mar. 2022.

SUPLINO, Lucas. Aplicação de Redes Neurais Artificiais com Topologia Definida por Algoritmos Genéticos para Resolução da Cinemática Inversa de um Manipulador Robótico com 6 Graus de Liberdade. UFRJ. Rio de Janeiro, 2018.

BARRIENTOS, Antonio et al. Fundamentos de Robótica. 1. ed. Madrid: Concepción Fernández Madrid, 1997. 327 p.

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: 30/04/22.