

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL MECÂNICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**

LEONARDO JOSÉ

**FLEXIBILIZAÇÃO DE ROBÔ INDUSTRIAL DE SOLDAGEM VIA O
DESENVOLVIMENTO DE ACOPLADOR DE FERRAMENTAS**

FLORIANÓPOLIS, 2022.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL MECÂNICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**

LEONARDO JOSÉ

**FLEXIBILIZAÇÃO DE ROBÔ INDUSTRIAL DE SOLDAGEM VIA O
DESENVOLVIMENTO DE ACOPLADOR DE FERRAMENTAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Santa
Catarina como parte dos requisitos para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecatrônica.

Orientador:
Prof. Nelso Bonacorso, Dr. Eng.

FLORIANÓPOLIS, 2022.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

José, Leonardo

Flexibilização de robô industrial de soldagem via o desenvolvimento de acoplador de ferramentas / Leonardo José; orientação de

Nelso Gauze Bonacorso. - Florianópolis, SC, 2022.

48 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Mecatrônica. Departamento Acadêmico de Metal Mecânica.

Inclui Referências.

1. Acoplador Automático de ferramentas. 2. Automação da solda. 3. Soldagem robotizada. 4. Garra pneumática I. Gauze Bonacorso, Nelso. II. Instituto Federal de Santa Catarina. III. Flexibilização de robô industrial de soldagem via o desenvolvimento de acoplador de ferramentas.

**DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL MECÂNICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**

LEONARDO JOSÉ

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia em Mecatrônica e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Engenharia em Mecatrônica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 28 de julho, 2022.

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **NELSO GAUZE BONACORSO**
Data: 24/08/2022 18:05:25-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Nelso Gauze Bonacorso, Dr. Eng. (orientador)



ERWIN WERNER TEICHMANN:74409506900
CN=ERWIN WERNER TEICHMANN:
74409506900, OU=IFSC - Instituto Federal de
Santa Catarina, O=ICPEdu, C=BR
IFSC - Campus Florianópolis
2022-08-25 11:22:24

Erwin Werner Teichmann, Dr. Eng.
IFSC Florianópolis

Documento assinado digitalmente
 **RAIMUNDO RICARDO MATOS DA CUNHA**
Data: 25/08/2022 18:31:29-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Raimundo Ricardo Matos de Cunha, Dr. Eng.
IFSC Florianópolis

Dedico este trabalho aos meus
queridos pais, Mari Cristiane
de Matos e Hélio Irineu José.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a deus que me concedeu esse momento e me forneceu os meios para alcançar meu objetivo. Agradeço aos meus pais e a minha família, que não mediram esforços para me ajudar nessa jornada. Aos meus queridos amigos que me apoiaram e inspiraram a alcançar o meu melhor. Ao IFSC que me forneceu conhecimento e equipamento para desenvolver o presente trabalho. Durante o decorrer do projeto algumas pessoas participaram me auxiliando diretamente na idealização e na fabricação do produto, sendo elas, o professor orientador Nelso Bonacorso, meu pai Hélio José, os técnicos do IFSC Florianópolis Fagney da Cunha, Giovani Camara e Charles da Silva, o professores Erwin Teichmann, Raimundo Cunha e meu amigo Luca Rampinelli.

“A mente que se abre a uma
nova ideia jamais voltará ao
seu tamanho original”
Albert Einstein

RESUMO

Com o surgimento da indústria 4.0 empresas no mundo todo se veem obrigadas a aderir aos novos modelos ágeis e flexíveis, propostos pela quarta revolução industrial, sendo que no processo de soldagem, empregado na indústria Brasileira e mundial, não é diferente. Cada vez mais é possível ver células de soldagem utilizando robôs para manipular objetos ou soldá-los, a exemplo das linhas produtivas automobilísticas. Visando proporcionar uma solução de baixo custo e de cunho nacional na área de soldagem robotizada, o presente trabalho descreve o processo de idealização, desenvolvimento e teste de um acoplador para múltiplas ferramentas de soldagem. A utilização de um acoplador automático para múltiplas ferramentas possibilita reduzir o tempo para a troca de efetadores finais, agrega autonomia para o robô executar diferentes tarefas e evita o risco do operador se acidentar no espaço de trabalho do robô. O acoplador desenvolvido utiliza um sistema de garra pneumática para segurar e soltar automaticamente uma tocha de solda, esse sistema é eficiente pois ao soltar a ferramenta possibilita que a garra pneumática possa ser utilizada para posicionar uma nova peça. O desvio padrão em X e Y do robô Fanuc M10iA utilizando o dispositivo ficou em $\pm 0,002$ mm, valor aceitável para um processo de soldagem industrial. O equipamento foi feito em aço e alumínio, pesando no total 3,11 kg. Ao realizar a programação da trajetória verificou-se que o encaixe com o suporte da ferramenta não se mostrou adequado, sugerindo revisão do projeto.

Palavras-chave: Acoplador automático de ferramentas, Automação da Soldagem, Soldagem robotizada e Garra pneumática.

ABSTRACT

With the emergence of the industry 4.0 companies worldwide are forced to adhere to the new agile and flexible models proposed by the fourth industrial revolution. In the welding process, much used in the Brazilian and global industry, is no different. More and more it is possible to see welding cells using robots to manipulate objects or weld them, like automotive production lines. In order to provide a low cost and national solution in the area of robotic welding, the present work describes the process of idealization, development and testing of a coupler for multiple welding tools. The use of an automatic coupler for multiple tools makes it possible to reduce the time for the change of final effectors, adds autonomy for the robot to perform different tasks and avoids the risk of the operator crashing in the robot's workspace. The developed coupler uses a pneumatic gripper system to automatically hold and release a welding torch, this system is efficient because by loosening the tool allows the pneumatic gripper to be used to position a new part. The standard deviation in X and Y of the Fanuc M10iA robot using the device was +/- 0.002 mm, an acceptable value for an industrial welding process. The equipment was made of steel and aluminum, weighing a total of 3.11 kg. When programming the trajectory it was found that the fitting with the tool support is difficult, requiring a second version of the project.

Keywords: Robotic tool changer, Welding Automation, Robotic Welding and Pneumatic Gripper.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Célula de pick-and-place.....	18
Figura 2 - Efetuador garra mecânica.....	19
Figura 3 - Efetuador ferramenta especial.....	20
Figura 4 - Tochas de soldagem para robôs.....	21
Figura 5 - Catálogo da Smartshift.....	22
Figura 6 - Acoplador manual da Destaco.....	23
Figura 7 - Acoplador automático da ATI Industrial Automation.....	23
Figura 8 - Catálogo de acoplador pela empresa McMASTER-CARR.....	24
Figura 9 - Acoplador desenvolvido por Diego Romani.....	25
Figura 10 - Acoplador do Prabin Dhakal.....	26
Figura 11 - Primeira concepção.....	30
Figura 12 - Concepção final.....	30
Figura 13 - Maquinário utilizado na fabricação.....	32
Figura 14 - Base da tocha.....	33
Figura 15 - Encaixe da base da tocha.....	34
Figura 16 - Suporte flange.....	34
Figura 17 - Pinças da tocha.....	35
Figura 18 - Pinças para manipulação.....	36
Figura 19 - Suporte da ferramenta.....	37
Figura 20 - Acoplamentos via pinos guias.....	38
Figura 21 - Sistema do acoplador.....	39
Figura 22 - Targets para as rotinas do acoplador.....	40
Figura 23 - Fluxograma da célula de múltiplos processos.....	40
Figura 24 - Programa para acoplar ferramenta.....	41
Figura 25 - Sistema do acoplador finalizado.....	42
Figura 26 - Encaixe do suporte da tocha.....	44
Figura 27 - Bancada de teste para medir repetibilidade.....	44
Figura 28 - Resultado dos testes de precisão.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAD	<i>Computer-aided Design</i>
CAM	<i>Computer-aided Manufacturing</i>
GMAW	<i>Gas Metal Arc Welding</i>
GTAW	<i>Gas Tungsten Arc Welding</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
IFSC	Instituto Federal de Santa Catarina
LAM	Laboratório de Automação da Manufatura
MAG	<i>Metal Active Gas</i>
MIG	<i>Metal Inert Gas</i>
MOP	Máquinas e Operatrizes
PAW	<i>Plasma Arc Welding</i>
RSW	<i>Resistance Spot Welding</i>
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TCP	<i>Tool Center Point</i>
TIG	<i>Tungsten Inert Gas</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	JUSTIFICATIVA.....	14
2.1	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	15
2.2	OBJETIVO GERAL.....	15
2.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
2.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	16
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
3.1	CÉLULAS ROBOTIZADAS.....	17
3.2	EFETUADORES FINAIS.....	18
3.2.1	Efetadores Garras Mecânicas.....	19
3.2.2	Efetadores Ferramentas Especiais.....	19
3.3	SOLUÇÕES PRESENTES NA INDÚSTRIA.....	21
3.3.1	Acopladores manuais para múltiplos processos.....	22
3.3.2	Acopladores automáticos para múltiplos processos.....	23
3.4	SOLUÇÕES NO MEIO ACADÊMICO.....	24
3.5	TOLERÂNCIAS DO PROJETO.....	26
4	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	27
4.1	IDEALIZAÇÃO DO PRODUTO.....	27
4.2	MUDANÇAS E SOLUÇÕES.....	29
4.3	PROCESSO DE FABRICAÇÃO.....	30
4.3.1	Base da Tocha.....	32
4.3.2	Encaixe da base da Tocha.....	32
4.3.3	Suporte Flange.....	33
4.3.4	Pinças da Tocha.....	34
4.3.5	Pinças para Manipulação.....	35
4.3.6	Fabricação do suporte da ferramenta.....	36
4.4	MONTAGEM DOS COMPONENTES.....	36
4.5	SISTEMA ELETROELETRÔNICO DO ACOPLADOR.....	37
4.6	PROGRAMAÇÃO DO ACOPLADOR.....	38
5	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	41
5.1	TESTE DE REPETIBILIDADE DO ROBÔ COM O ACOPLADOR.....	43
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	44

6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	44
	APÊNDICE A – Desenho Pinça da Tocha.....	45
	APÊNDICE B – Desenho Encaixe do Suporte da Tocha.....	46
	APÊNDICE C – Desenho do Suporte da Flange.....	47
	APÊNDICE D – Desenho do Suporte da Tocha.....	48
	APÊNDICE E – Desenho das Pinças para Manipulação.....	49
	REFERÊNCIAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

A utilização de ferramentas para executar tarefas e trabalhar com os materiais é uma cena que remonta os primórdios do homem. Na pré-história o ser humano utilizava-se de pedras para lapidar outras pedras, já existiam na era do bronze ferramentas e técnicas para moldar os metais, na primeira revolução industrial as ferramentas já eram utilizadas para produzir peças em grande quantidade.

Após décadas de desenvolvimento tecnológico surge o primeiro conceito de robô, vindo pelo tcheco Karel Capek, na peça Robôs Universais de Rossum. Derivado das palavras tchecas “rabota”, “trabalho obrigatório” e “robotnik”, “servir”, o termo robô já predizia qual o propósito da robótica para o ser humano, a automação do serviço (MATARIĆ, 2014).

Em 1961, a Unimate lança o primeiro robô do mundo projetado para serviços industriais, o Unimate 1900 e em 1974, na mesma empresa, é desenvolvido o robô PUMA, muito famoso por ser o primeiro robô reprogramável e com múltiplos propósitos de sua época (“Unimate - The First Industrial Robot”, [s.d.]), (PAZOS, 2002).

Atualmente, operações e ferramentas que antes eram manipuladas por seres humanos, cada vez mais são automatizadas com a robótica. Visando alcançar a destreza humana de se utilizar diferentes processos de fabricação com suas respectivas ferramentas, o acoplador proposto neste trabalho permitirá que o robô execute múltiplas operações sem precisar de auxílio humano.

2 JUSTIFICATIVA

Na indústria 4.0 a automação de uma célula de produção significa versatilidade pois um mesmo robô, ao trocar sua ferramenta, pode executar vários tipos de operações diferentes. Ao utilizar um acoplador que facilite a troca dessas ferramentas, o robô passa a ser mais independente do ser humano para executar diferentes tarefas. A exemplo, um mesmo robô pode executar uma tarefa de metalurgia aditiva, trocar para uma ferramenta de corte a plasma, remover a sobra de material ou executar um processo de acabamento na peça.

Na indústria brasileira o acoplador agrega como uma solução de baixo custo para desenvolver células robotizadas que executam múltiplas tarefas de forma independente. O tempo que o robô aguarda um processo finalizar na linha produtiva pode ser utilizado para executar outra tarefa paralela com outra ferramenta.

No IFSC o acoplador possibilita que diferentes trabalhos acadêmicos possam ser executados de forma simultânea, sem que seja necessário desmontar, montar manualmente e determinar o TCP das diferentes ferramentas acopladas no manipulador do robô. A exemplo, um aluno trabalhando em uma pesquisa com solda TIG pode executar um ciclo de operação com o robô para trocar a ferramenta para uma tocha MIG/MAG, para que em seguida, outro aluno possa utilizar em um diferente projeto, trocando no robô apenas o TCP da tocha TIG para o TCP da tocha MIG/MAG.

2.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Instituições de ensino como o IFSC compartilham o mesmo robô para as aulas práticas das unidades curriculares de Robótica, TCCs e para os diferentes projetos de pesquisa, cada uma dessas distintas atividades necessitam das respectivas ferramentas acopladas no robô. O tempo de trocar uma ferramenta manualmente e determinar o seu TCP inviabiliza a utilização de um mesmo robô para diferentes atividades.

O acoplador para múltiplos processos transpõem esse problema pois possui um sistema de encaixe rápido, assim possibilitando uma troca rápida, bastando apenas atualizar na programação o TCP da ferramenta em uso.

2.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral é desenvolver um acoplador universal de baixo custo para o robô Fanuc M10iA do IFSC, que possibilite a troca rápida de ferramentas para processos de soldagem a arco elétrico como o GMAW, GTAW, o PAW e outros processos de fabricação em que se consiga promover a troca de ferramentas usando-se o acoplador proposto em processos de oxicorte, solda ponto, etc.

2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar o objetivo de desenvolver o acoplador algumas metas devem ser transpostas, sendo elas:

- a) Modelar e desenvolver protótipo(os) de acoplador(es) para a flange do robô Fanuc M10iA;
- b) Aplicar os conhecimentos de engenharia de precisão no processo de desenvolvimento do acoplador;

- c) Validar se o(s) acoplador(es) se enquadra(m) nos requisitos de projeto desejados para executar tarefas de soldagem;
- d) Determinar e adicionar os novos TCPs das ferramentas ao banco de ferramentas do robô Fanuc M10iA;
- e) Desenvolver os circuitos de acionamento e de detecção do acoplador de ferramentas;
- f) Configurar as entradas e saídas digitais (I/O) da Controladora do robô Fanuc M10iA;
- g) Testar e documentar os resultados experimentais obtidos;

2.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O conteúdo do trabalho está dividido em Fundamentação Teórica, Desenvolvimento do Projeto, Análise e Discussão dos Resultados e Considerações Finais. Visando uma melhor compreensão do trabalho, o capítulo Fundamentação Teórica aborda os principais conceitos e soluções encontradas que permeiam o tema. O capítulo Desenvolvimento do Projeto contempla o processo de idealização, desenvolvimento das peças, montagem e a configuração do conjunto. Após o desenvolvimento do projeto, o capítulo Análise e Discussão dos Resultados, discute se o produto alcançou os resultados esperados. Por fim, o capítulo Considerações Finais, aborda uma visão do autor do que deveria ter sido feito diferente e quais alterações devem ser conduzidas no desenvolvimento de uma segunda versão do produto.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para o melhor entendimento do tema, antes de conceber o projeto do acoplador, buscou-se na bibliografia existente dados relacionados ao conteúdo, bem como soluções prontas.

3.1 CÉLULAS ROBOTIZADAS

Célula Robotizada é um conceito utilizado na indústria para denominar um conjunto de equipamentos que atuam juntamente de um robô para executar diferentes trabalhos com um fim específico. Em Robótica Industrial, pode-se encontrar alguns dos trabalhos comumente executados por robôs, como soldagem, transporte de peças, fixação de circuitos integrados, pintura e etc (ALVES et al., 2002). Seguindo uma definição mais formal a ISO 8373:2021 especifica que célula robotizada industrial é o conjunto de maquinários, efetadores finais e equipamentos em um mesmo espaço com o objetivo de executar tarefas (ISO, 2021).

Na figura 1 visualiza-se um exemplo de célula robotizada desenvolvida pela empresa Kuka.

Figura 1 - Célula de pick-and-place



Fonte: (KUKA - ROBOTS & AUTOMATION, 2016).

Nesta célula de *pick-and-place* o robô utiliza uma garra pneumática para segurar uma peça e posicioná-la em um Centro de Usinagem, no entanto, com um acoplador para múltiplas ferramentas, será possível mudar a configuração dessa célula para que o robô possa utilizar o tempo em que uma peça está sendo usinada para executar outro processo nas peças restantes.

Cada célula robotizada possui uma logística para a produção ou transporte de algum produto, adicionar mais processos com um acoplador pode agregar a essa logística. Por isso é importante o entendimento do funcionamento da célula robotizada, pois permite a compreensão das possibilidades que um acoplamento para múltiplas ferramentas gera na hora de se projetar uma célula robotizada.

3.2 EFETUADORES FINAIS

Para que um robô possa executar diferentes tarefas em uma célula robotizada, ele precisa acoplar diferentes efetuadores finais em sua flange. Efetuador final ou somente efetuator, é a ferramenta que possibilita ao robô executar algum processo de produção ou manipulação. Em Robótica Industrial os autores citam efetuador final como sendo um componente capaz de promover a integração entre a extremidade do robô e o objeto a ser trabalhado (ALVES et al., 2002).

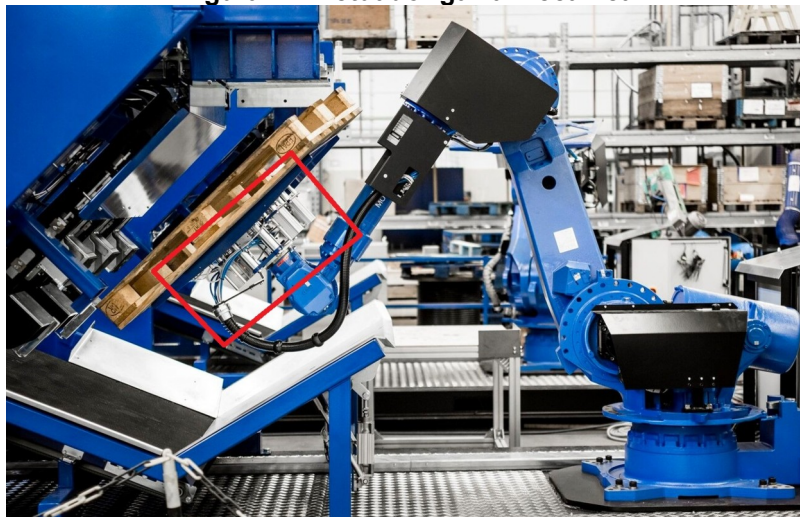
O entendimento dos diferentes tipos e geometrias de efetuadores finais é importante para o desenvolvimento do produto, pois o princípio do acoplador se baseia na possibilidade do robô trocar entre diferentes tipos de efetuadores durante o processo produtivo. Os diferentes tipos de efetuadores presentes no mercado se dividem em dois grandes grupos, o das garras mecânicas e o das ferramentas especiais (ALVES et al., 2002).

3.2.1 Efetuadores Garras Mecânicas

Efetuadores do tipo garra mecânica são associadas a propriedade de “agarrar” objetos, se diferenciam das ferramentas especiais por terem função auxiliar o robô a manipular ou transportar objetos (ALVES et al., 2002). Segundo Rosário, em Princípios de Mecatrônica, garras pneumáticas e ventosas, são alguns dos exemplos de efetuadores do tipo garra mecânica (ROSÁRIO, 2004).

Na figura 2, visualiza-se um robô da empresa Yaskawa utilizando um efetuador final do tipo garra mecânica, especificamente uma garra do tipo ventosa.

Figura 2 - Efetuador garra mecânica



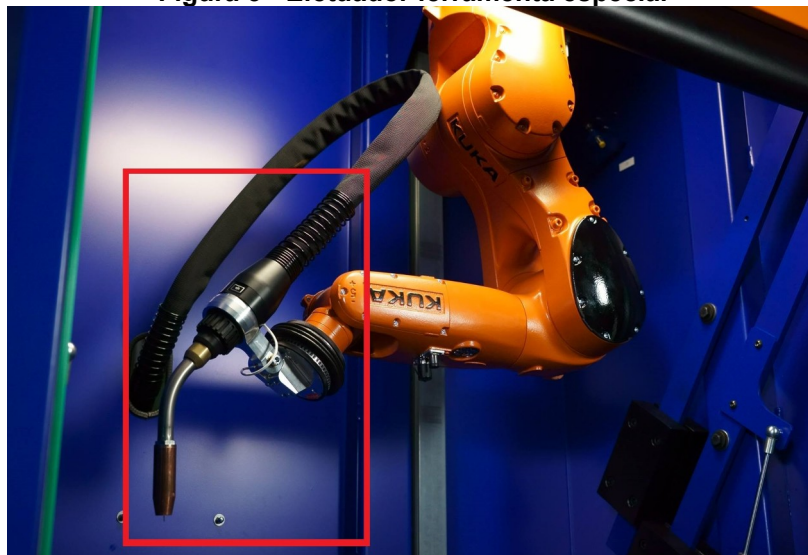
Fonte: ("Pallet Repair Systems", [s.d.], editado).

3.2.2 Efetuadores Ferramentas Especiais

Efetuadores do tipo ferramenta especial são associadas a propriedade de realizar uma ação ou trabalho sobre uma peça, os trabalhos que um efetuador final pode executar são ou de processamento ou de controle de qualidade. Segundo Rosário em Princípios de Mecatrônica, pistolas pulverizadoras, soldagem por resistência por pontos, soldagem por arco e dispositivos de furação são exemplos de algumas ferramentas especiais presentes no mercado (ROSÁRIO, 2004).

Na figura 3, visualiza-se um robô da empresa Kuka utilizando um efetuador final do tipo efetuador especial, especificamente uma tocha de solda.

Figura 3 - Efetuador ferramenta especial

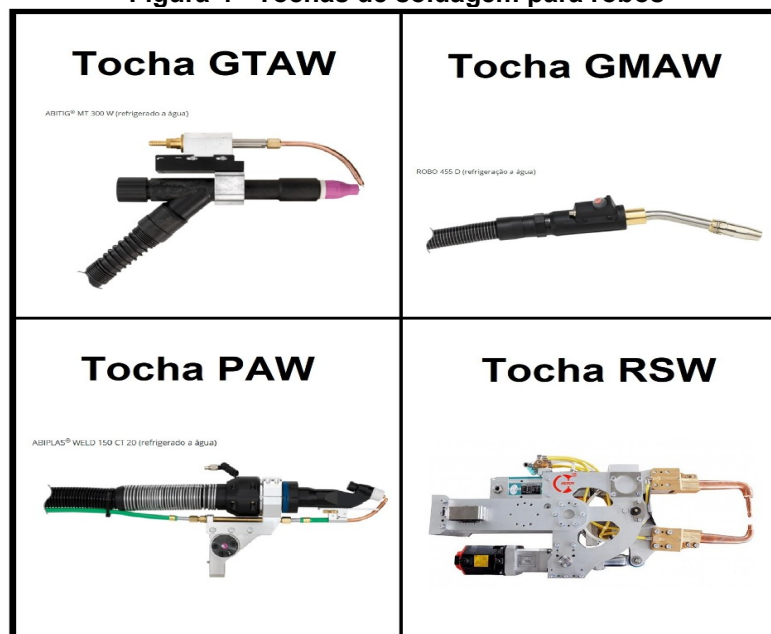


Fonte: ("Robô de pequeno porte da série KR AGILUS solda na minicélula de robô", [s.d.], editado).

Dentre as ferramentas especiais, as tochas de soldagem são as mais relevantes ao estudo deste trabalho, pois o desenvolvimento do acoplador visa principalmente equipar o robô de solda para a troca rápida entre diferentes tipos de tochas de soldagem. Analisar os diferentes tipos e geometrias de tochas de soldagem é imprescindível para se projetar o acoplador.

Na figura 4 visualiza-se alguns dos formatos de tochas utilizados em diferentes processos de soldagem automatizada. Vale ressaltar que, como visto na imagem a maioria das tochas de soldagem possuem um formato cilíndrico, o que ajuda a padronizar o encaixe do acoplador.

Figura 4 - Tochas de soldagem para robôs



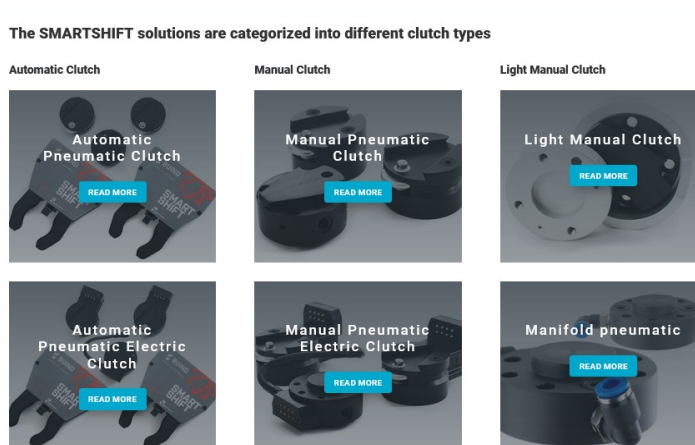
Fonte: (ABICOR BINZEL, [s.d.], editado), ("Robotic Spot Welding Gun | Welder Manufacturer| Heron", [s.d.], editado), ("Tocha Corte Plasma P80 Reta Para Mesa CNC Cabo 8Mts TechWeld", [s.d.], editado).

A tocha de soldagem recebe algumas tubulações com elementos necessários para se efetuar a soldagem, a depender do processo a ser executado. A exemplo, no caso da soldagem GMAW há a tubulação de gás, o cabo de alimentação da fonte, o conduíte do arame e tubos de refrigeração da tocha (MODENESI; MARQUES, 2000).

3.3 SOLUÇÕES PRESENTES NA INDÚSTRIA

O estudo de soluções similares agrega muitas ideias para o desenvolvimento de um produto, pois permite ao desenvolvedor analisar diferentes abordagens de soluções já consolidadas no meio industrial. Atualmente no mercado existem algumas soluções prontas para diminuir o tempo de instalação e automatizar o processo da troca de ferramentas em robôs. Ao verificar o catálogo de produtos das empresas voltadas a automação robótica, pode-se notar que elas dividem seus acopladores entre modelos de fixação manual e modelos de fixação automática, conforme mostra a figura 5.

Figura 5 - Catálogo da Smartshift



Fonte: ("Tool Changer » We are experts in quick pneumatic tool changers", [s.d.]).

Convém ressaltar que até a data de publicação deste trabalho, não foram encontrados produtos nacionais, quanto a troca automática de ferramentas em robôs industriais.

3.3.1 Acopladores manuais para múltiplos processos

Acopladores manuais são componentes intermediários entre a flange do robô e o efetuator final que necessitam de manipulação humana para executar a fixação. Diferente das fixações tradicionais, via parafusos, eles são muito mais rápidos de se encaixar e prender. Na figura 6, visualiza-se o sistema de encaixe por alavanca da empresa de acessórios robóticos Destaco.

Figura 6 - Acoplador manual da Destaco

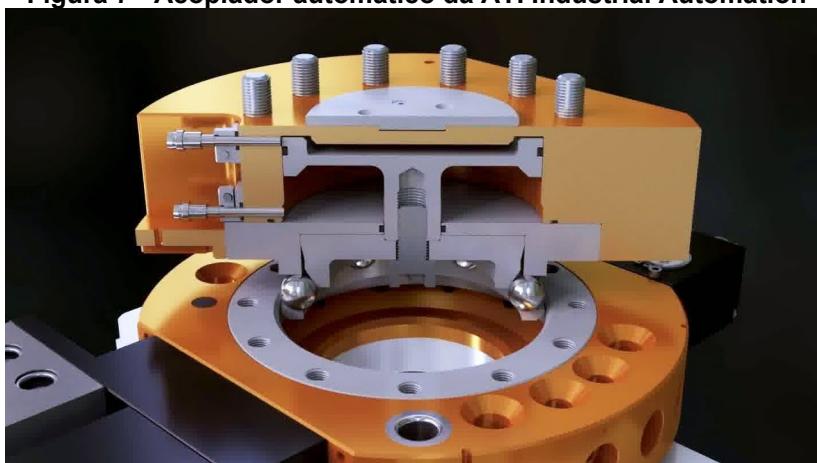


Fonte: (DESTACO, [s.d.]).

3.3.2 Acopladores automáticos para múltiplos processos

Com a mesma função de facilitar a troca de ferramentas, os acopladores automáticos garantem uma maior autonomia para os robôs executarem múltiplos processos sem auxílio humano para a troca de ferramentas. Acopladores automáticos garantem maior segurança em relação aos manuais, pois não necessitam que operadores acessem o espaço de trabalho do robô para efetuar a troca de ferramenta, reduzindo o risco de acidentes. Na figura 7 visualiza-se o sistema de encaixe pneumático da empresa de acessórios robóticos ATI Industrial Automation.

Figura 7 - Acoplador automático da ATI Industrial Automation



Fonte: (ATI INDUSTRIAL AUTOMATION, 2016).

Acopladores automáticos comerciais, como o da ATI Industrial Automation, possuem muitos aspectos positivos, como a alta precisão, rigidez e tamanho reduzido. No entanto, o preço dos acopladores comerciais pode ser elevado, como apresentado na figura 8, em que, somando-se todo o equipamento necessário é possível atingir o valor, de custo, acima de 3500,000 dólares.

Figura 8 - Catálogo de acoplador pela empresa McMaster-CARR

Automatic Robot Tool Changers

For each of your tools. All of these mounts have standard ISO mounting hole patterns, so they're compatible with the mounting hole patterns on most robot arms and tools. If you don't see your robot model number listed, measure the bolt circle diameter to determine mounting compatibility.

All of these mounts have air connections, so you can use compressed air to operate air-powered tools, such as grippers. They also have connections for adding electrical pass-through modules (sold separately) to power electrically controlled tools.

To create a tool docking system, use tool storage plates with tool storage bases and tool presence detectors, so tool changers can pick tools up or drop them off as they are needed.

For technical drawings and 3-D models, click on a part number.

End-of-Arm Mounts

End-of-robot-arm mounts with a coupling indicator use electrical signals to send information about the position of the latching cam to your robot controller. Let you know if the tool is latched or unlatched. Adapter plate patterns, choose from:

Each	Each	Each
3685N14 \$1,650.00 A	4964N19 \$566.67 B	4964N16 \$20.00

Robot-Tool Mounts

Robot-tool mounts buy a separate air tool up or drop it. Use blank adapter plates.

Each	Each
3685N16 \$500.00 C	
3685N17 985.00	4964N22D \$173.33

Tool Storage Plates

Tool storage plates consist of two pieces: the top piece mounts to your tool, which then rests on the bottom piece that mounts to the tool storage base. The top piece doubles as a blank plate, so you can machine custom mounting hole patterns.

Each
4964N12E \$630.00

Technical Specifications Table:

Bolt Circle Dia. (Mounting Hole Pattern Compatibility)	Bolt Hole Thread Size (No. of)	Mounting Hardware Included	Lg. mm	Max. Load Cap. Wt.	For Robot Arm Manufacturer (Series/Model Number)	Each
Anodized Aluminum 50 mm (ISO 50)	M6 x 1.0 mm (4)	No	27.5	55 lbs. / 25 kg	ABB (IRB 2400, IRB 2000) FANUC (CRX 10A, 10AL) Omron (CM-5, 12, 14) Productive Robotics (OB7) Stäubli (TX2 80) Universal Robots (UR3, UR3e, UR5, UR5e, UR10, UR16e, UR16e, UR20)	3685N14 \$1,650.00 4964N19 \$566.67 4964N16 \$20.00

Technical Specifications Table:

Bolt Circle Dia. (Mounting Hole Pattern Compatibility)	Bolt Hole Thread Size (No. of)	Mounting Hardware Included	Lg. mm	Max. Load Cap. Wt.	For Robot Arm Manufacturer (Series/Model Number)	Each
Anodized Aluminum 50 mm (ISO 50)	M6 x 1.0 mm (4)	No	28.5	55 lbs. / 25 kg	ABB (IRB 2400, IRB 2000) FANUC (CRX 10A, 10AL) Omron (CM-5, 12, 14) Productive Robotics (OB7) Stäubli (TX2 80) Universal Robots (UR3, UR3e, UR5, UR5e, UR10, UR16e, UR16e, UR20)	3685N16 \$500.00 3685N17 985.00 4964N22D \$173.33

Technical Specifications Table:

Lg. mm	Wd. mm	Dp. mm	Mount Type	Bolt Circle Dia. mm	No. of Bolt Holes	Mount Type	Bolt Hole Thread Size	No. of Bolt Holes	Mounting Fasteners Included	Max. Load Cap. Wt.	Material	Each
53.5	72	115	Bot On	M6 x 1.25 mm	2	Yes	110 lbs. / 50 kg	0.69 lbs. / 0.31 kg	Anodized Aluminum	4964N12	\$630.00	

Fonte: ("McMaster-Carr", [s.d.]).

3.4 SOLUÇÕES NO MEIO ACADÊMICO

Existem algumas soluções presentes no meio acadêmico visando possibilitar o acoplamento de múltiplas ferramentas em robôs. Soluções acadêmicas agregam uma boa fonte de conhecimento para se criar um produto, pois possuem muita documentação descritiva do procedimento e referências para outros trabalhos.

Na figura 9, visualiza-se o acoplador desenvolvido por Romani no IFSC Florianópolis. Este acoplador também utiliza um sistema de garra pneumática para segurar as peças e a tocha, solução adotada no desenvolvimento do acoplador.

Dentre os principais pontos positivos vistos no acoplador estão:

- A utilização da garra para fixar a tocha facilita uma posterior manipulação da peça soldada.

- O acoplador é composto por 3 peças de geometria simples, o que facilita sua fabricação em grande escala.

Dentre os principais pontos negativos vistos no acoplador estão:

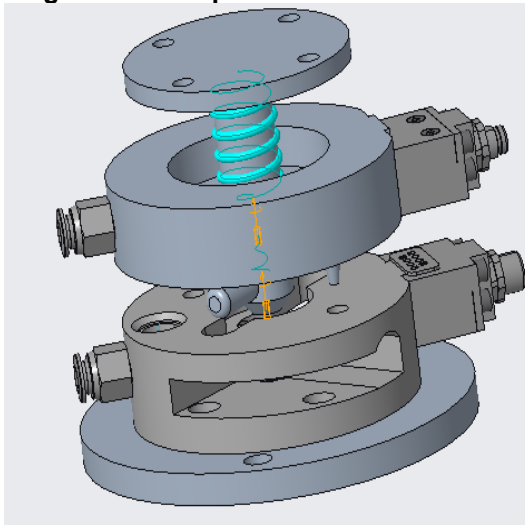
- A tocha está presa somente nas pinças da garra, ao movimentar o robô com maior velocidade, a inércia da tocha faz com que as folgas do acoplador aumentem.
- O suporte da tocha é bastante pesado, podendo ser feito um alívio de carga na peça.
- A garra pneumática modelo GX312025 do fabricante BelAir possui folgas.

Figura 9 - Acoplador desenvolvido por Diego Romani



Fonte: (ROMANI, 2019).

Na figura 10, visualiza-se outra solução desenvolvida para automatizar o acoplamento de ferramentas em robôs colaborativos. Quando o pino central encaixa no outro lado do acoplador, o robô rotaciona o efetuador para que com a força da mola, o pino central fique travado na posição fechada e dessa forma manter a nova ferramenta fixa no flange do robô. O acoplador da figura 10 possui também uma conexão para passagem de ar comprimido e um conector para comunicação de dados.

Figura 10 - Acoplador do Prabin Dhakal

Fonte: (DHAKAL, 2019).

3.5 TOLERÂNCIAS DO PROJETO

Existem muitas variáveis aleatórias envolvidas na soldagem, para se assegurar a precisão final do processo, deve-se certificar que elementos mecânicos, como o robô, o acoplador para ferramentas e a fixação das peças, possuam a maior precisão possível. A exemplo, segundo o manual do robô M10iA, a repetibilidade total no posicionamento do robô é de $\pm 0,08$ mm (FANUC, 2008).

Para que o projeto alcançasse a precisão desejada foi necessário compreender as tolerâncias mecânicas relativas a soldagem automatizada, para tal, foi adotada a norma da empresa Renault, para soldagem de chassis automotivos.

Como as chapas soldadas terão espessura superior a 3,00 mm, pela norma, a distância entre centro da junta soldada e a ponta do arame deve variar no máximo 1,50 mm (TEICHMANN, 2012). Levando-se em consideração as variáveis aleatórias envolvidas no processo de soldagem, espera-se que o acoplador para múltiplas ferramentas possua uma folga máxima de 0,50 mm.

4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O capítulo Desenvolvimento do Produto aborda a evolução desde a idealização até a concretização do produto, para dessa forma poder explicar os motivos que levaram o acoplador a possuir o formato descrito no capítulo Apresentação dos Resultados.

4.1 IDEALIZAÇÃO DO PRODUTO

A primeira etapa do desenvolvimento desse projeto foi a concepção do produto, o que ele deveria fazer e os requisitos que deveria atender. O acoplador deveria satisfazer as seguintes demandas:

- Uma extremidade deveria ficar fixa na flange do robô Fanuc M10iA e a outra extremidade ter um acoplamento que possibilitasse a fixação rápida e automática de diferentes tipos de tochas de soldagem;
- O acoplamento deveria ser rígido o suficiente para impedir que a inércia da movimentação do robô não pudesse gerar folgas e consecutivamente imperfeições na soldagem;
- A carga máxima que o robô consegue levantar é de 10,00 kg, dessa forma o projeto deveria ter menos de 5,00 kg levando-se em consideração que o robô ainda teria a possibilidade de levantar um objeto de até 5,00 kg;
- O projeto deveria possuir concepção que favorecesse a fabricação com os maquinários presentes no IFSC Florianópolis;
- O acoplador deveria prever a possibilidade de manipular e posicionar objetos;
- A folga máxima esperada para o acoplador deve ser de 0,50 mm.

Após o levantamento da concepção e dos requisitos, foram buscadas informações de produtos e projetos relacionados ao acoplamento de ferramentas em robôs. A descrição e as imagens de algumas dessas soluções podem ser

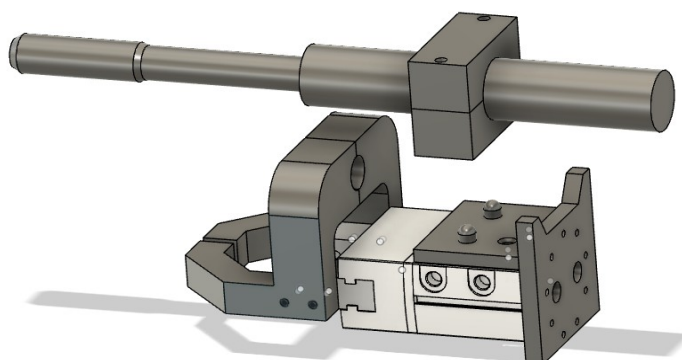
encontradas no capítulo de Fundamentação Teórica. A partir da análise das soluções existentes, foram encontradas e escolhidas algumas ideias para utilizar no projeto:

- A utilização de uma garra pneumática para fixação da tocha, ideia implementada no projeto do Pasquali, pois ao soltar a tocha, pode-se utilizar a garra pneumática para manipular objetos;
- A utilização de pinos guia para posicionar e restringir graus de liberdade das folgas no acoplador. Solução presente na maioria dos acopladores para múltiplas ferramentas comerciais.

Alguns robôs, como no caso do Fanuc M10iA, possuem a possibilidade de haver a passagem do cabeamento que alimenta a tocha por dentro do punho e antebraço do robô. Como visto na figura 7, alguns modelos comerciais de acopladores restringem ou não utilizam a opção de se conectar a alimentação da tocha por dentro do braço do robô. Também foi optado por não passar os cabos de alimentação da tocha por dentro do braço do robô, pois dessa forma previne-se que ao rotacionar excessivamente os eixos do robô o cabeamento seja rompido.

Com informações suficientes sobre o projeto e com um esboço já desenhado, o produto entrou na etapa de desenho técnico. Foi utilizado o *software* Fusion 360 da empresa Autodesk para o desenho do produto. Para se ter certeza das medidas e encaixes no momento do desenvolvimento, foram utilizadas escalas dos componentes no tamanho real. Na figura 11, visualiza-se a primeira versão do acoplador.

Figura 11 - Primeira concepção

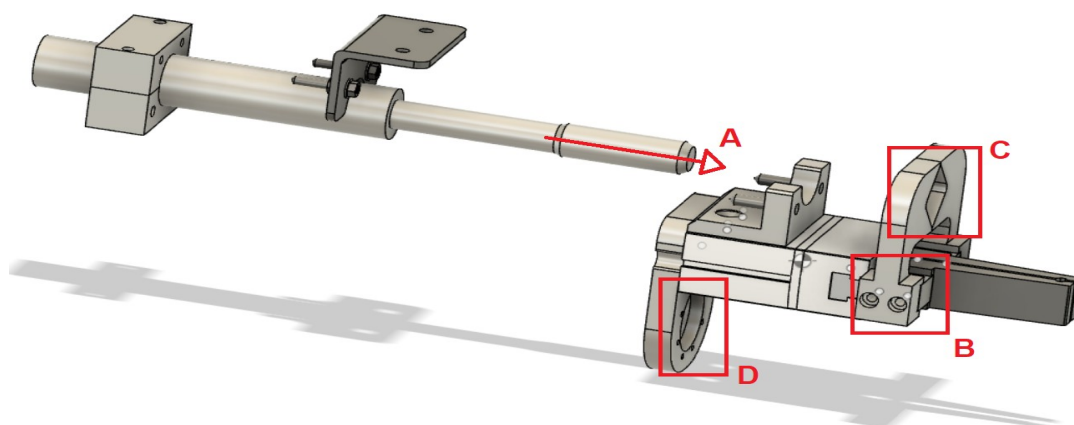


Fonte: Autoria própria (2022).

4.2 MUDANÇAS E SOLUÇÕES

Para o desenvolvimento de um produto muitas vezes somente um esboço não é o suficiente para conceber uma versão final fabricável do mesmo. Após debater possíveis alterações na concepção inicial do produto com o orientador, viu-se que seria necessário alterar algumas peças para facilitar a construção e o encaixe rápido da tocha. Na figura 12, visualiza-se a concepção final do acoplador com as devidas alterações.

Figura 12 - Concepção final



Fonte: Autoria Própria (2022).

Dentre as alterações aplicadas no produto enfatizam-se quatro que mais se destacaram, sendo elas:

- A tocha deve encaixar por trás do acoplador (seta A da figura 12), pois foi visto que o deslocamento máximo de abertura da garra é de 25mm e o diâmetro da tocha é de 37mm o que impediria a tocha de encaixar lateralmente entre as pinças, região C;
- Elementos complexos deveriam ser divididos em subelementos para facilitar a fabricação. Outra vantagem de se dividir elementos mecânicos complexos em subelementos é a possibilidade de se fazer ajustagens nas folgas. No retângulo B, figura 12, visualiza-se as pinças horizontais e verticais divididas em subelementos unidos por parafusos nos mordentes da garra pneumática;

- Em C, figura 12, observa-se que foi utilizada a geometria de losangolo em vez de uma geometria circular para encaixe da tocha. Como a tocha possui formato cilíndrico, utilizar um formato de losangolo proporciona uma maior pressão pontual na superfície da tocha e assim uma melhor aderência;
- Em D, figura 12, é possível perceber que foi alterada a posição do encaixe do flange do robô em relação ao centro da garra. O modelo M10iA da Fanuc possibilita passar o cabeamento elétrico e alimentação pneumática da garra por dentro do antebraço e punho do robô, ao fazer essa alteração, esses elementos ficam internos ao robô.

4.3 PROCESSO DE FABRICAÇÃO

Neste capítulo serão discutidos métodos de fabricação, o maquinário utilizado para fabricar as peças, a montagem e a configuração dos componentes do acoplador.

Com o projeto do produto concluído começou a etapa de fabricação. Cada peça que compõe o acoplador possui uma geometria, grau de precisão e resistência mecânica diferente, por esse motivo cada peça foi analisada de forma isolada, no intuito de se alcançar o melhor procedimento de fabricação desejado para cada peça.

Foram utilizados dois tipos de maquinário para a fabricação, a fresadora ferramenta e o centro de usinagem. Os dois equipamentos são muito comuns na indústria pois possibilitam a fabricação de diferentes geometrias de forma precisa e rápida, principalmente o centro de usinagem. Na figura 13, visualiza-se a esquerda o centro de usinagem e a direita a fresadora ferramenta, sendo usados para fabricar as peças do trabalho.

Figura 13 - Maquinário utilizado na fabricação

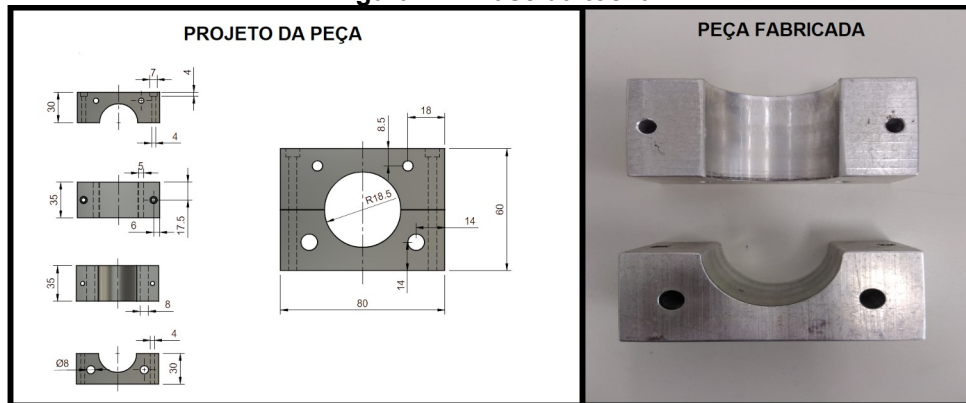


Fonte: Autoria Própria (2022).

O centro de usinagem utilizado foi o modelo ROMI D600 presente no laboratório LAM do IFSC Florianópolis. Para o centro de usinagem produzir as peças primeiramente foi necessário produzir o código G, utilizando um *software* de CAD/CAM (*Computer-aided Design/Computer-aided Manufacturing*). O *software* CAM utilizado foi o SprutCAM, nele foram importados os desenhos 3D das peças, modelada a rotina de processos de usinagem e gerado o código G necessário para o Centro de Usinagem. A fresadora ferramenteira utilizada foi a Diplomata com painel de controle digital, presente no laboratório MOP do IFSC Florianópolis.

4.3.1 Base da Tocha

A base da tocha é a peça que fica fixa permanentemente a tocha e a conecta ao acoplador, cada tipo de ferramenta deve possuir essa base para fixar em seu suporte ou no acoplador do robô. Como o robô operará com mais de um tipo de ferramenta, se faz necessário o uso várias bases. Por isso, optou-se por produzir no centro de usinagem, pois com o código G pronto pode-se facilmente fabricar vários exemplares do componente no centro de usinagem. Para diminuir a carga na extremidade do robô, optou-se em utilizar alumínio como material. Na figura 14, visualiza-se o projeto técnico a esquerda e a direita a peça pronta.

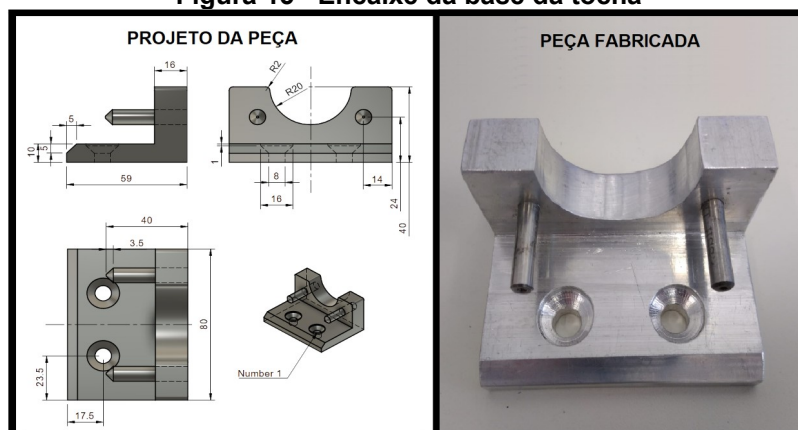
Figura 14 - Base da tocha

Fonte: Autoria própria (2022).

4.3.2 Encaixe da base da Tocha

O encaixe da base da tocha é o primeiro encaixe que o conjunto da tocha encontra ao se conectar ao acoplador, ele tem por função posicionar a tocha em relação as pinças verticais. Com o posicionamento correto, as pinças podem fechar sobre a tocha e concluir a fixação da mesma.

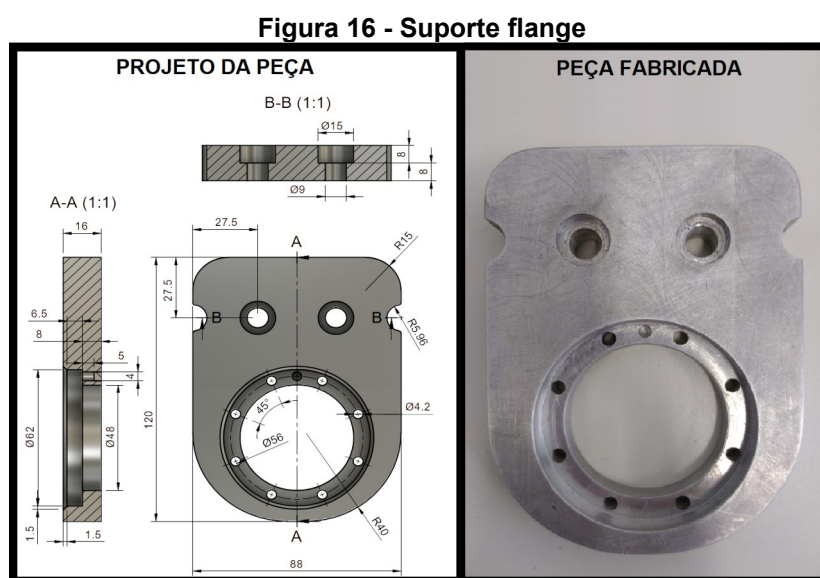
Por possuir uma geometria simples que possibilitasse a fabricação em uma fresadora ferramenteira optou-se utilizar esta máquina para a fabricação do encaixe da base da tocha. O material escolhido foi o alumínio, pois esta peça não sofre grande esforço sendo um material leve em comparação ao aço. Na figura 15 visualiza-se o projeto técnico a esquerda e a direita a peça pronta.

Figura 15 - Encaixe da base da tocha

Fonte: Autoria própria (2022).

4.3.3 Suporte Flange

O componente Suporte Flange do robô tem por função unir o flange do robô com a garra pneumática. Na figura 16, visualiza-se o projeto técnico a esquerda e a direita a peça pronta.



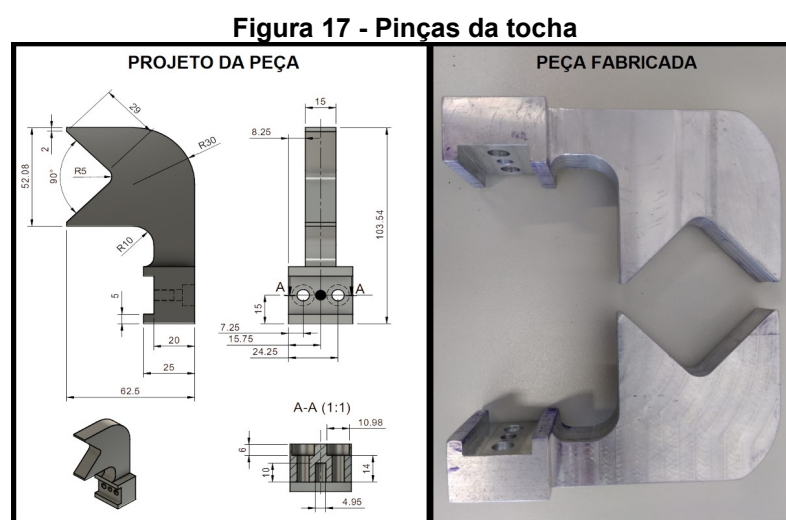
Fonte: Autoria própria (2022).

Este componente possui geometria complexa e demanda um elevado grau de precisão, pois caso o componente Suporte Flange fique com folgas, todo o conjunto do acoplador perde a rigidez. Por causa da necessidade de precisão e ser complexo de fabricar em equipamentos manuais, optou-se utilizar um Centro de Usinagem para fabricá-lo. O material de fabricação foi o alumínio por ser acessível, e, com relação ao aço, ser mais leve e de fácil usinabilidade.

4.3.4 Pinças da Tocha

As pinças da tocha são o segundo elemento de fixação do acoplador, elas só são acionadas quando a ferramenta está posicionada de forma correta no encaixe da base da tocha. As pinças garantem que a tocha não se movimente, impedindo que saia do encaixe da base.

Para a fabricação, optou-se pelo alumínio, para diminuir a carga na extremidade do robô e por possuir uma geometria complexa demais para se fazer na fresadora ferramenteira, optou-se por fabricá-las no centro de usinagem. Na figura 17, visualiza-se o projeto técnico a esquerda e a direita a peça pronta.



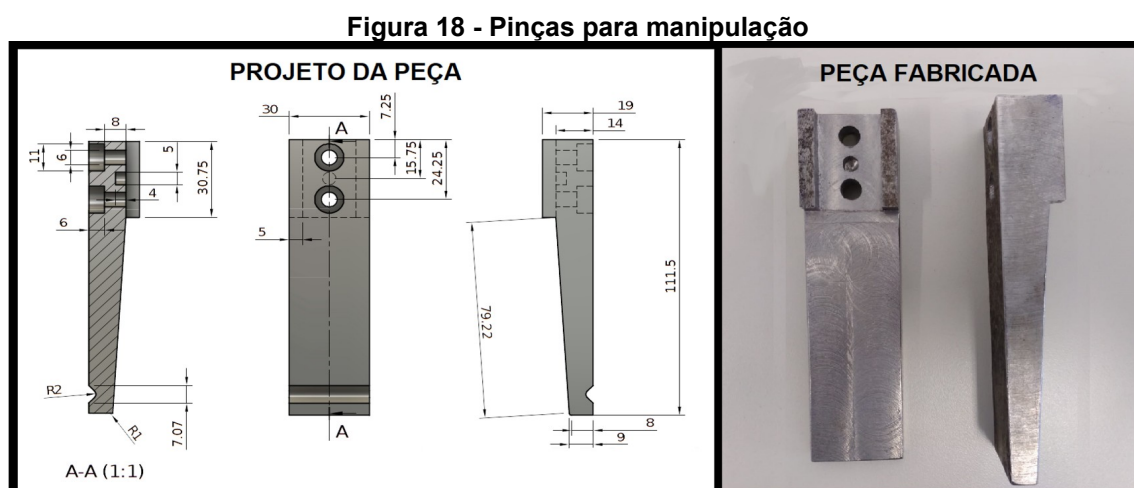
Fonte: Autoria própria (2022).

4.3.5 Pinças para Manipulação

As pinças para manipulação tem o propósito de possibilitar que o robô possa manipular componentes e peças soldadas, enquanto a ferramenta, no caso a tocha de solda estiver desacoplada.

Para evitar que com o tempo as pinças deformem ao segurar diferentes formatos de objetos optou-se por utilizar aço 1020 para a fabricação das mesmas, sendo muito comum na indústria a utilização de aço como material para fabricação

de pinças. Por possuir uma geometria que permite facilmente a fabricação em uma fresa ferramenta, optou-se em utilizar tal máquina para fabricar as pinças. A figura 18 mostra a esquerda o projeto e a direita as pinças fabricadas.



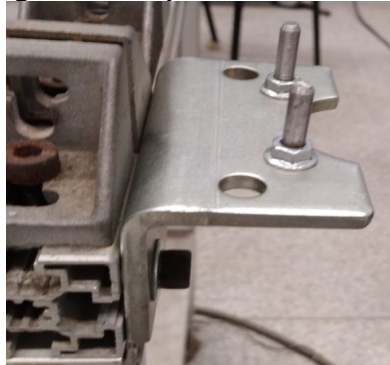
Fonte: Autoria própria (2022).

Para aumentar o atrito das pinças ao manipular objetos, após o processo de fabricação, foram feitas ranhuras na superfície das pinças para se obter uma maior aderência ao segurar peças, principalmente peças metálicas planas.

4.3.6 Fabricação do suporte da ferramenta

Enquanto o acoplador opera com uma ferramenta ou utiliza a garra para manipular um objeto, as outras ferramentas que não estão em uso, devem ficar em seus respectivos suportes em locais estratégicos do espaço de trabalho do robô. O robô, por sua vez, deve saber a posição e a orientação de cada ferramenta em seu respectivo suporte para acoplar ou desacoplar as mesmas.

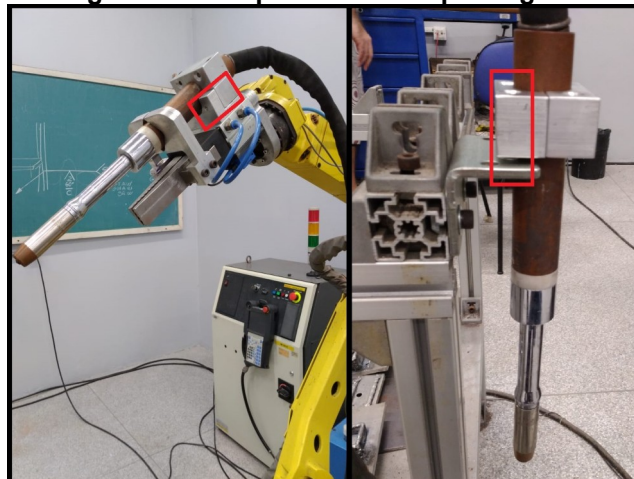
Para a fabricação do suporte da ferramenta optou-se em utilizar uma cantoneira em aço e foram utilizados dois parafusos como pinos de encaixe, para que o componente suporte da tocha possa ser encaixado nos pinos. Na figura 19, visualiza-se o resultado final de fabricação desta peça.

Figura 19 - Suporte da ferramenta

Fonte: Autoria própria (2022).

4.4 MONTAGEM DOS COMPONENTES

Após todos os componentes terem sido fabricados, começou a etapa de montagem. A fixação de todos os componentes que compõem o acoplador ocorre por meio de parafusos allen, sendo que alguns, como o suporte do flange do robô, o suporte e o encaixe da base da tocha, possuem pinos guias para restringir sua movimentação, conforme mostra as fotos da figura 20, onde a esquerda mostra a ferramenta acoplada ao robô e do lado direito acoplada no suporte. Para fabricação dos pinos, foram cortadas brocas de aço rápido e utilizado somente a extremidade de fixação das mesmas, pois dessa forma pode-se garantir a precisão no diâmetro dos pinos de fixação.

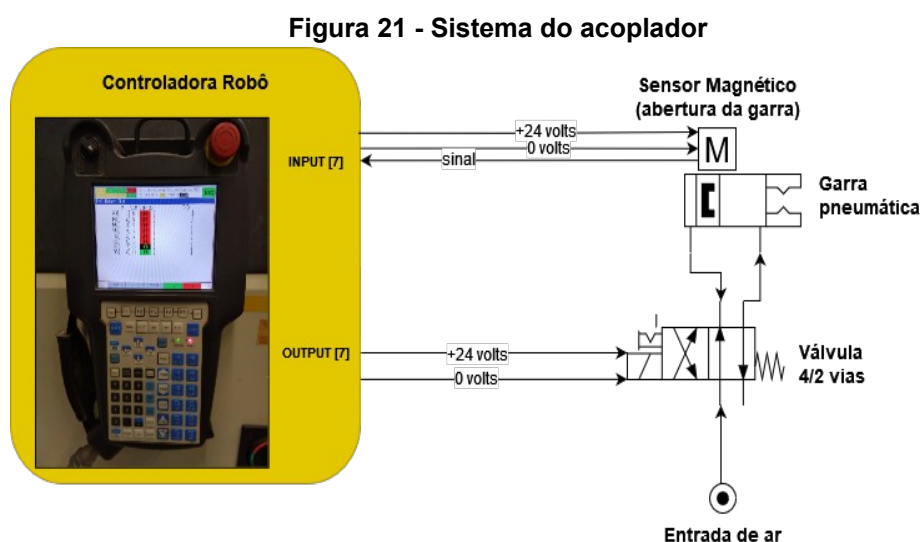
Figura 20 - Acoplamentos via pinos guias

Fonte: Autoria própria (2022).

4.5 SISTEMA ELETROELETRÔNICO DO ACOPLADOR

Para o correto funcionamento da garra pneumática foi necessário projetar o sistema eletroeletrônico do acoplador. Este sistema é composto por uma eletroválvula pneumática de 4/2 vias com comando manual por botão ou por simples solenoide de 24 V DC e um sensor magnético PNP de 24 volts para detectar se a garra está na posição aberta. O acionamento da eletroválvula pneumática é realizado por uma das saídas digitais do robô, *output 7*, em 24 VDC, enquanto que o sinal de saída do sensor magnético é conectado a uma das entradas digitais do robô, *input 7*, em 24 VDC conforme mostra a figura 21.

Vale ressaltar que a válvula pneumática 4/2 escolhida, possui a possibilidade de acionamento manual, permitindo que a tocha possa ser trocada manualmente por um operador.



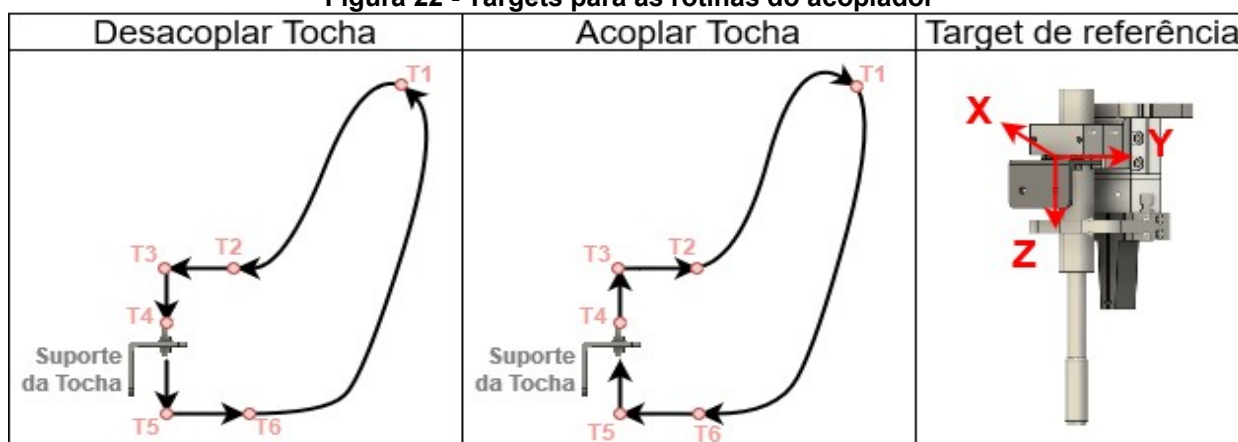
Fonte: Autoria própria (2022).

4.6 PROGRAMAÇÃO DO ACOPLADOR

Para realizar a correta programação referente as rotinas de acoplamento e de desacoplamento de ferramentas, é necessário primeiro definir as posições com suas respectivas orientações no espaço de trabalho do robô (*targets*: T1 à T6) referentes as aproximações, o acoplamento/desacoplamento e os afastamentos. Em segundo lugar, foi definido um *target* de referência (Tr) no robô para a execução dessas rotinas. Esse *target* pertence a face frontal da peça base da tocha, na posição central entre os furos por onde passam os pinos guias da peça suporte da tocha. Esse *target* de referência foi gerado apenas pelo movimento de translação do TCP do centro do flange do robô, conforme mostra a figura 22.

Na rotina de desacoplar a tocha com a ferramenta acoplada no robô, o *target* Tr vai percorrer a trajetória passando sequencialmente por: T1, T2, T3, T4, T5, T6 e T1. O *target* T1 é a posição de *home* do robô, os *targets* T2 e T3 são as posições de aproximação, o *target* T4 é a posição de desacoplamento da ferramenta onde a garra deve abrir no seu suporte, e os *targets* T5 e T6 são as posições de afastamento. Para a rotina de acoplar a tocha no robô, o *target* Tr vai percorrer um sequencia inversa: T1, T6, T5, T4, T3, T2, e T1. Novamente, o *target* T4 é a posição de acoplamento da ferramenta onde a garra deve fechar, conforme mostra a figura 22.

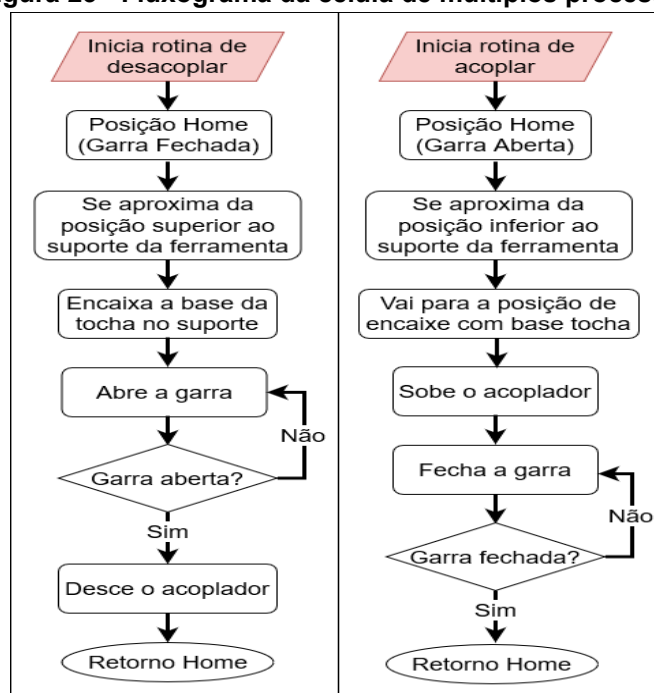
Figura 22 - Targets para as rotinas do acoplador



Fonte: Autoria própria (2022).

A figura 23 mostra os fluxogramas referentes as rotinas de desacoplamento e acoplamento da ferramenta ao robô.

Figura 23 - Fluxograma da célula de múltiplos processos



Fonte: Autoria própria (2022).

Em acoplamentos comerciais, como os apresentados nas figuras 6 e 7, constata-se que estes não possuem um sistema de fixação utilizando garra pneumática. No protótipo desenvolvido e descrito neste trabalho, o robô ao desacoplar a ferramenta fica com a disponibilidade para utilizar a garra pneumática para poder manipular objetos. Ou seja, o acoplador já possui uma garra embutida não necessitando acoplar ou desacoplar esse tipo de ferramenta de manipulação.

Na figura 24 visualiza-se o programa desenvolvido no *teach-in-pedant* relativo a rotina de pegar a ferramenta, nota-se que foi utilizado o sinal do sensor magnético na *input 7* para verificar se o acoplador realmente fixou a ferramenta.

Figura 24 - Programa para acoplar ferramenta

```

1: RO[7]=ON
2:L @P[1] 2000mm/sec FINE
3:L P[6] 100mm/sec FINE
4:L P[5] 100mm/sec FINE
5:L P[4] 100mm/sec FINE
6:L P[3] 100mm/sec FINE
7: LBL[2]
8: RO[7]=OFF
9: IF RI[7]=ON, JMP LBL[2]
10:L P[2] 100mm/sec FINE
11:L @P[7] 100mm/sec FINE
  
```

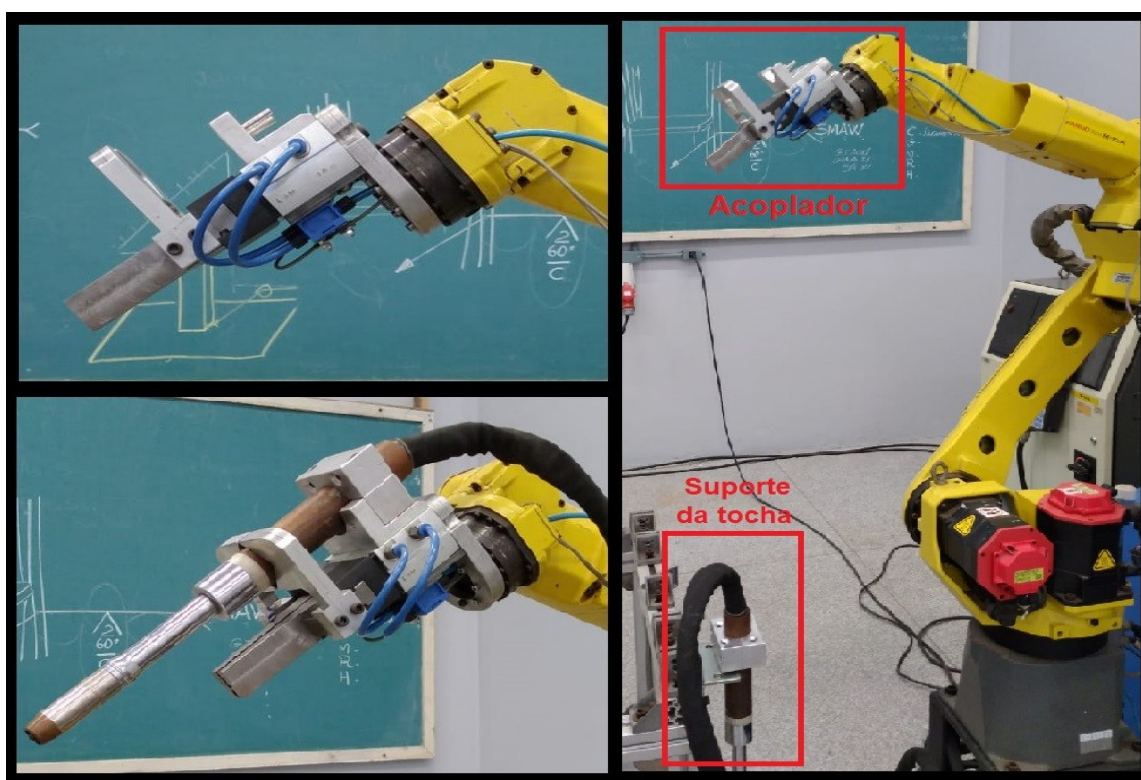
Fonte: Autoria própria (2022).

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para compreender as contribuições obtidas com a pesquisa e o resultado do desenvolvimento do acoplador, em Análise e Discussão dos Resultados são revistos os Objetivos Gerais, Específicos e se estes foram atendidos. O capítulo também discute se o produto satisfaz aos requisitos mecânicos propostos durante a idealização do acoplador e aqueles abordados no subcapítulo Idealização do Produto.

Com o projeto montado e instalado iniciou-se a etapa de testes e análise do produto. Na figura 25, observa-se o sistema de acoplamento para múltiplas ferramentas finalizado e pronto para uso.

Figura 25 - Sistema do acoplador finalizado



Fonte: Autoria própria (2022).

Como visto na figura 25, o objetivo geral de se desenvolver um acoplador que suportasse a troca de ferramentas para o robô Fanuc M10iA foi atendido.

Os objetivos específicos para o acoplador foram concluídos ao finalizar o desenvolvimento do produto, sendo os objetivos contemplados:

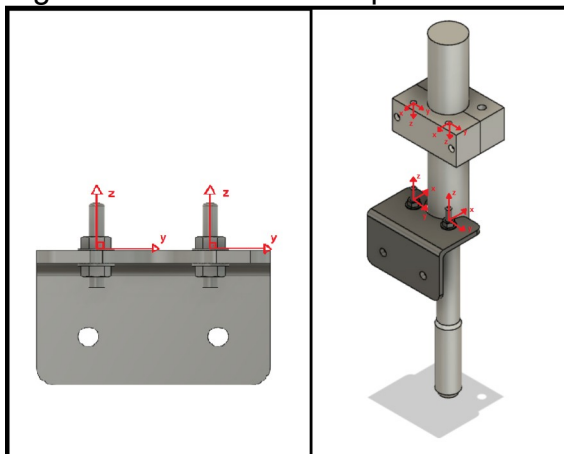
- O acoplador foi modelado e fabricado segundo as especificações feitas no modelo;
- Conhecimentos de métodos precisos de fabricação foram utilizados durante a fabricação do produto;
- Os TCPs da tocha e da garra pneumática foram criados usando o respectivo procedimento do fabricante Fanuc para o robô M10iA;
- Foi desenvolvido, integrado ao robô e testado o sistema eletropneumático do acoplador;
- Foi desenvolvido um programa para acoplar e desacoplar a tocha;
- Todo o processo de idealização e fabricação foi documentado.

Durante o processo de idealização do produto algumas demandas mecânicas foram levantadas para que o produto pudesse alcançar uma concepção que favorecesse o processo de soldagem com o robô, podendo-se visualizar essas demandas no subcapítulo Idealização do Produto.

- A versão final do acoplador, permite que diferentes ferramentas cilíndricas possam ser acopladas;
- O peso total do conjunto do acoplador é de 3,11 kg, inferior aos 5,00 kg máximos estipulados;
- Todas as peças foram concebidas com geometria que favorece a fabricação com os maquinários presentes no IFSC Florianópolis.

Durante testes utilizando o acoplador, foi possível verificar que, os pinos do suporte da ferramenta, possuem um difícil encaixe com os orifícios da base da tocha. Como se pode visualizar na figura 26, para que não exista interferência no encaixe, o eixo Z dos dois componentes devem estar alinhados axialmente. Posicionamentos precisos como este necessitam de mais tempo para configuração da trajetória do robô.

Figura 26 - Encaixe do suporte da tocha



Fonte: Autoria própria (2022).

5.1 TESTE DE REPETIBILIDADE DO ROBÔ COM O ACOPLADOR

Foram feitos testes de repetibilidade para aferir quanto o acoplador poderia interferir na precisão fornecida pelo robô. Para o teste executou-se um programa para fazer o robô repetir o mesmo trajeto cinco vezes em X e em Y, verificando com um relógio apalpador a posição do ponto final da trajetória do robô (TEICHMANN, 2016). A precisão do relógio apalpador utilizado foi de 0,01 mm e a velocidade do robô de 600 cm/min em modo *FINE*. Na figura 27 visualiza-se a bancada montada para executar os testes.

Figura 27 - Bancada de teste para medir repetibilidade



Fonte: Autoria própria (2022).

Na figura 28, visualiza-se o desvio padrão relativo aos testes feitos com o robô deslocando no eixo X e Y. O desvio padrão linear, obtido nos testes com robô utilizando o acoplador, é de $\pm 0,002$ mm, sendo inferior ao limite estabelecido no capítulo Idealização do Produto, de $\pm 0,5$ mm de tolerância mecânica.

Figura 28 - Resultado dos testes de precisão

Eixo X			
Amostras em X	Média	Desvio	Desvio Padrão (Repetibilidade)
0,500	0,503	-0,003	0,002
0,501		-0,002	
0,502		-0,001	
0,505		0,002	
0,505		0,002	
Eixo Y			
Amostras em Y	Média	Desvio	Desvio Padrão (Repetibilidade)
0,460	0,463	-0,003	0,002
0,463		0,000	
0,463		0,000	
0,463		0,000	
0,466		0,003	

Fonte: Autoria própria (2022).

Os resultados com o teste também demonstraram que o acoplador apresenta uma rigidez mecânica satisfatória, pois caso houvessem folgas, interfeririam no resultado encontrado na figura 28.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante a programação da rotina de troca de ferramentas com o robô percebeu-se que o tamanho do acoplador dificulta o acesso da tocha em lugares estreitos e por consequência torna mais complexa a programação do robô. Vale ressaltar que o sistema de troca manual da ferramenta é bem eficiente, sendo uma boa solução caso o operador deseje não utilizar o sistema de troca automática.

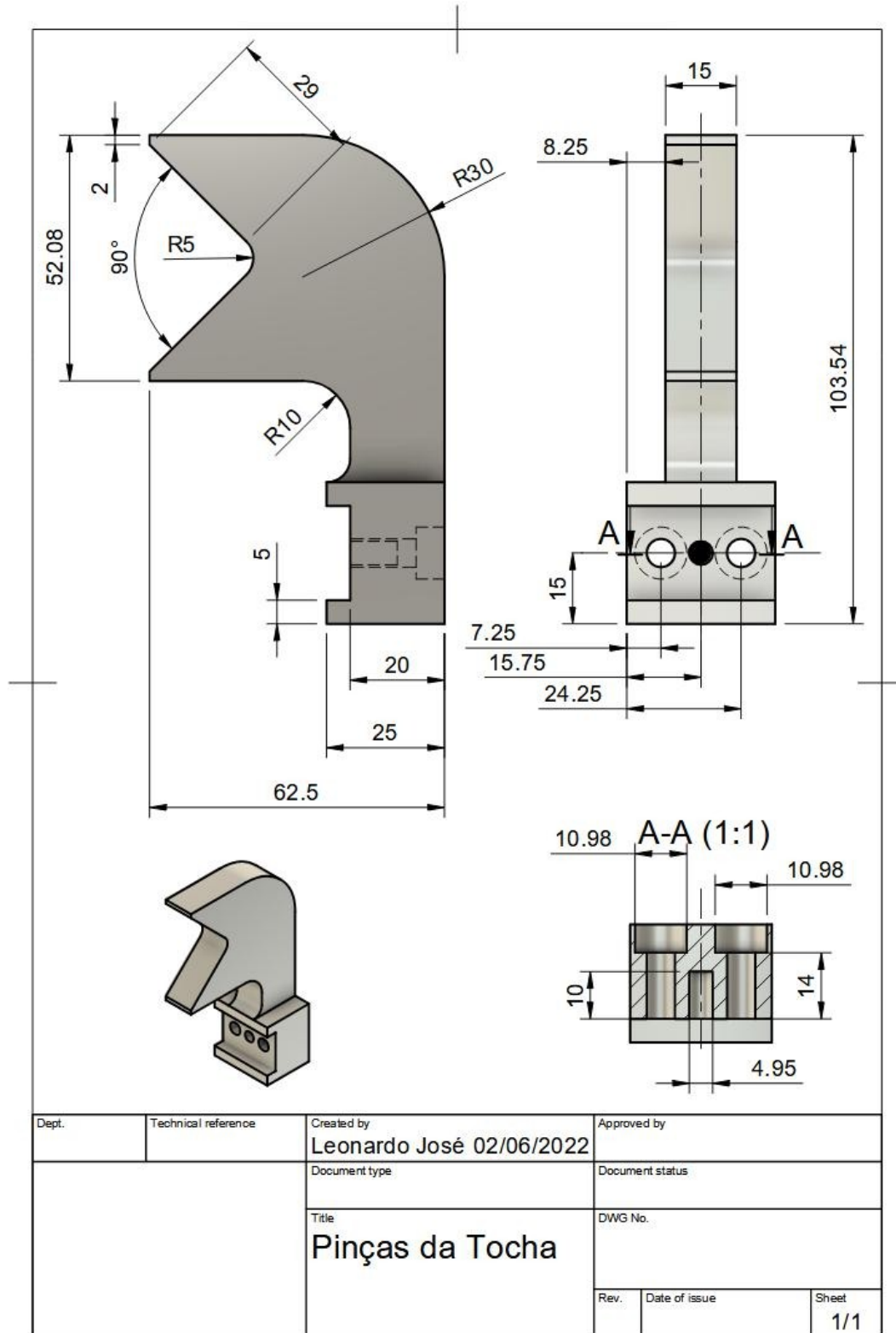
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se para um trabalho futuro o desenvolvimento de uma segunda versão do sistema de troca de ferramentas, sendo que para essa nova versão é possível aproveitar muitas das partes mecânicas já desenvolvidas, como a base, o encaixe e as pinças da tocha, o suporte do flange e as pinças para manipulação. Já o suporte da ferramenta deve ser refeito por completo, pois o encaixe apresenta atrito, dificultando no desenvolvimento da programação da trajetória do robô.

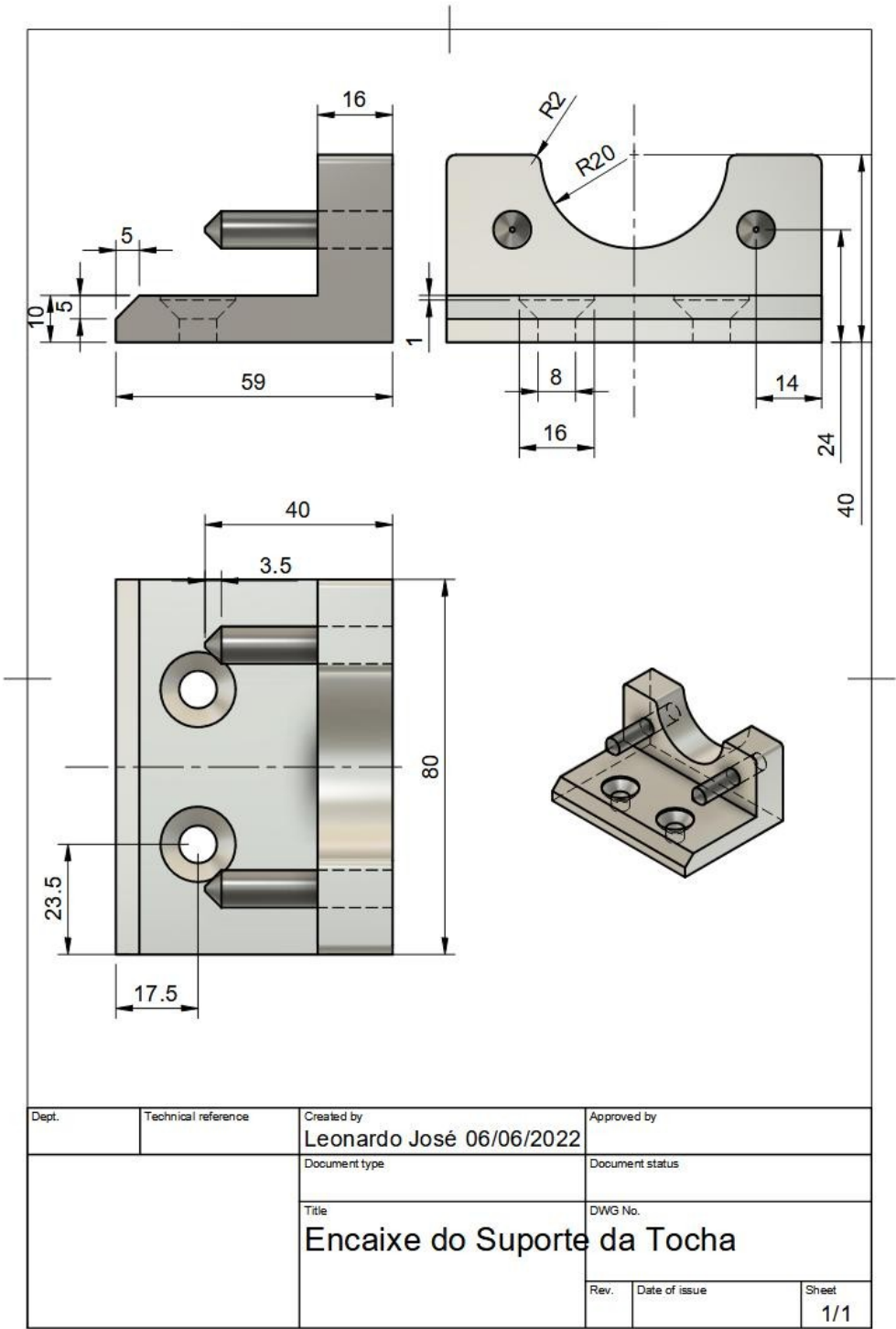
Foram utilizados parafusos como pinos guia para o suporte da ferramenta, em vista de possível melhora, não se recomenda utilizar essa abordagem para uma segunda versão do sistema.

A válvula 4/2 vias utilizada não é a ideal. Para um trabalho futuro, recomenda-se utilizar uma válvula 4/3 vias para reter o estado da garra fechada ou aberta em caso de falta de ar comprimido, possibilitando maior segurança em uma possível falha no sistema.

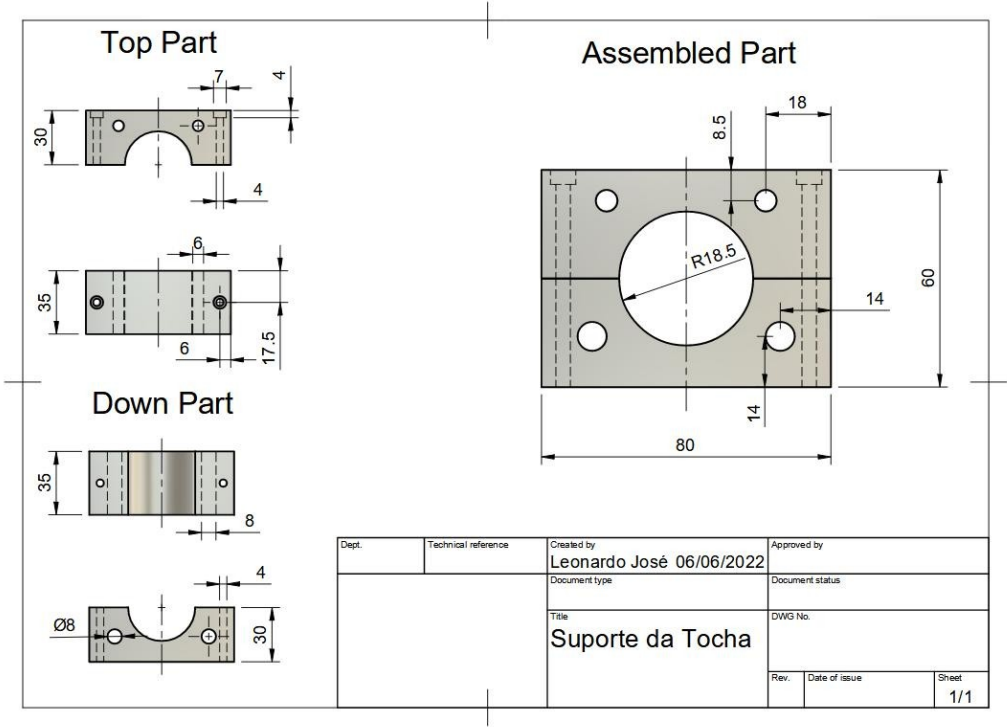
APÊNDICE A – Desenho Pinça da Tocha



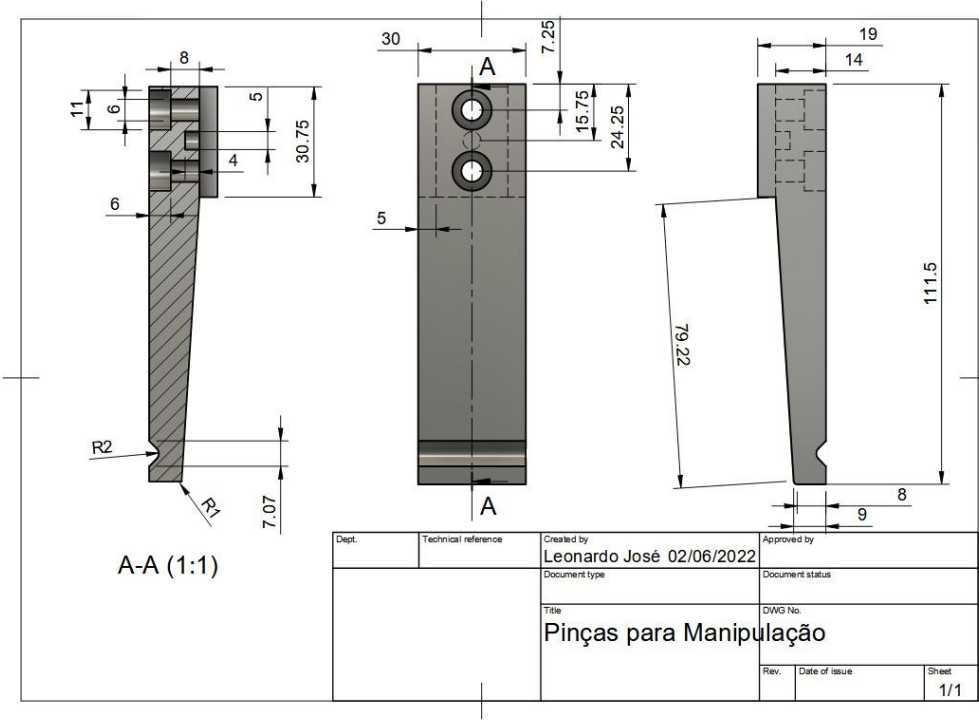
APÊNDICE B – Desenho Encaixe do Suporte da Tocha



APÊNDICE D – Desenho do Suporte da Tocha



APÊNDICE E – Desenho das Pinças para Manipulação



REFERÊNCIAS

ABICOR BINZEL. **Tochas de Soldagem Robô**. Disponível em: <<https://www.binzel-abicor.com/BR/por/produtos/robotic-systems/tochas-de-soldagem-robo/>>. Acesso em: 6 jul. 2022.

ALVES, A. J. et al. **Robótica Industrial**. 1. ed. São Paulo: Edgar Blücher LTDA, 2002.

ATI INDUSTRIAL AUTOMATION. **Why ATI Tool Changers?** , 5 fev. 2016. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=kDP-oofDn4w>>. Acesso em: 6 jul. 2022

DESTACO. **Manual Tool Changers (Series)**. Disponível em: <<https://www.destaco.com/robotic-tooling/tool-changers/manual-tool-changers.html>>. Acesso em: 6 jul. 2022.

DHAKAL, P. Design of automatic tool changer for universal collaborative robot. **Automatic tool changer for UR5**, p. 55, 2019.

FANUC. **ArcMate_100_RJ3.pdf**. , 2008. Disponível em: <https://motioncontrolsrobotics.com/downloads/techdocs/ArcMate_100_RJ3.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2022

FESTO. **DHPS-35-A Technical Specifications**. , jun. 2021. Disponível em: <https://www.festo.com/us/en/c/products-id_pim1/>

ISO. **ISO 8373:2021(en), Robotics — Vocabulary**. Entidade Normatizadora. Disponível em: <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-3:v1:en>>. Acesso em: 6 jul. 2022.

KUKA - ROBOTS & AUTOMATION. **Flexible and Portable Robotic Machine Tending Solution**. , 18 jul. 2016. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=kXK5bRnRrWo>>. Acesso em: 6 jul. 2022

MATARIĆ, M. J. **Introdução à robótica**. 1. ed. [s.l.] Unesp, 2014.

McMaster-Carr. Disponível em: <<https://www.mcmaster.com/>>. Acesso em: 17 jul. 2022.

MODENESI, P. J.; MARQUES, P. V. Soldagem I Introdução aos Processos de Soldagem. p. 52, 2000.

Pallet Repair Systems. Disponível em: <https://www.yaskawa.eu.com/systems/robotic-systems/seriesdetail/serie/pallet-repair-systems_774>. Acesso em: 6 jul. 2022.

PAZOS, F. **Automação de sistema e robótica**. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2002.

Robô de pequeno porte da série KR AGILUS solda na minicélula de robô. Disponível em: <<https://www.kuka.com/pt-br/ramos-de-atividade/banco-de-dados-de-solu%C3%A7%C3%B5es/2017/11/solution-robotics-paul-von-der-bank-gmbh>>. Acesso em: 6 jul. 2022.

Robotic Spot Welding Gun | Welder Manufacturer| Heron. Disponível em: <<http://www.heron-spotwelding.com/2-3-robotic-spot-welding-gun.html>>. Acesso em: 10 jul. 2022.

ROMANI, D. P. Flexibilização de robô industrial de soldagem via integração de efetuator final. p. 51, 2019.

ROSÁRIO, J. M. **Princípios de Mecatrônica**. São Paulo: Pearson Universidades, 2004.

TEICHMANN, E. Análise de variantes de processos de soldagem visando o revestimento com Iconel 625 de tubos em aço API x46 .p 213, 2016.

TEICHMANN, E. Soldagem a Arco Aplicada na Industria Automobilística Chassis. IFSC, 2012.

Tocha Corte Plasma P80 Reta Para Mesa CNC Cabo 8Mts TechWeld. Disponível em: <<https://www.techweld.com.br/tocha-corte-plasma-p80-reta-para-mesa-cnc-cabo-8mts-techweld>>. Acesso em: 10 jul. 2022.

Tool Changer » We are experts in quick pneumatic tool changers. SMARTSHIFT robotics, [s.d.]. Disponível em: <<https://smartshift-robotics.com/tool-changer/>>. Acesso em: 6 jul. 2022

Unimate - The First Industrial Robot. Disponível em: <<https://www.automate.org/a3-content/joseph-engelberger-unimate>>. Acesso em: 6 jul. 2022.