

Projeto de Sistema de Ferramenta de Engate Rápido Como Complemento às Aulas da Disciplina de Robótica

Design of a Quick-change Tool System as a Complement to Robotics Classes

El Diseño de un Sistema de Herramienta de Acoplamiento Rápido como Complemento a las Clases de la Asignatura de Robótica

DOI:10.34117/bjdvXXnX-

Submitted: Mar 23th, 2025

Approved: Mar 25st, 2025

Lucas Santos Savi Modno

Engenheiro

Instituição de formação: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Santa Catarina (IFSC)

Endereço: R. Heitor Villa Lobos, 225, São Francisco, CEP: 88506-400,
Lages – SC, Brasil

E-mail: lucas.savimondo@gmail.com

Rogério da Silva

Mestre em Engenharia

Instituição de formação: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Santa Catarina (IFSC)

Endereço: R. Heitor Villa Lobos, 225, São Francisco, CEP: 88506-400,
Lages – SC, Brasil

E-mail: rogerio.silva@ifsc.edu.br

RESUMO

O tema do presente artigo é projeto de sistema de ferramenta de engate rápido como complemento às aulas da disciplina de robótica. O objetivo é a construção de um sistema de ferramenta de engate rápido que sirva de material de aula para os alunos dos cursos técnicos e de graduação do IFSC Campus Lages, que tenham contato com aulas da disciplina de robótica. Para atingir o objetivo foi buscado desenvolver um equipamento que pudesse ser construído com baixo custo, para tanto foi escolhido a impressão 3d como forma de manufatura do corpo principal, para a interface entre o robô e a ferramenta foi usado um Arduino Nano. O porta-ferramentas e a ferramenta desenvolvida funcionaram conforme esperado.

Palavras-chave: robótica, troca rápida de ferramentas, SMED, impressão 3d.

ABSTRACT

The theme of this article is the design of a quick-change tool system as a complement to robotics classes. The objective is to build a quick-change tool system that serves as a teaching material for students in technical and undergraduate courses at IFSC Campus Lages who take robotics classes. To achieve this goal, an effort was made to develop a low-cost device, choosing 3D printing as the manufacturing method for the main body.

An Arduino Nano was used as the interface between the robot and the tool. The tool holder and the developed tool functioned as expected.

Keywords: robotics, quick tool change, SMED, 3d printing.

RESUMEN

El tema del presente artículo es el diseño de un sistema de herramienta de acoplamiento rápido como complemento a las clases de la asignatura de robótica. El objetivo es la construcción de un sistema de herramienta de acoplamiento rápido que sirva como material didáctico para los estudiantes de los cursos técnicos y de grado del IFSC Campus Lages que tengan contacto con clases de robótica. Para alcanzar este objetivo, se buscó desarrollar un equipo de bajo costo, eligiendo la impresión 3D como método de fabricación del cuerpo principal. Para la interfaz entre el robot y la herramienta, se utilizó un Arduino Nano. El portaherramientas y la herramienta desarrollada funcionaron según lo esperado.

Palabras clave: robótica, cambio rápido de herramientas, SMED, impresión 3d.

1 INTRODUÇÃO

O tema do presente artigo é projeto de sistema de ferramenta de engate rápido como complemento às aulas da disciplina de robótica.

Atualmente o IFSC campus Lages tem um robô ABB IRB 140 para aulas da disciplina de robótica, porém este carece de ferramentas para o ensino dos alunos.

O objetivo desse trabalho é a criação de um sistema de ferramenta de engate rápido que proporcione aprendizado aos alunos da disciplina de robótica dos cursos técnicos e de graduação do IFSC campus Lages, não apenas na interação entre a programação do robô e manipulação de objetos por este, mas também pelo desenvolvimento de novas ferramentas para a base criada. Sistemas de troca rápida de ferramentas estão presentes na indústria e este projeto garante uma interação do aluno com essa tecnologia, auxiliando ainda no aumento do arsenal de ferramentas didáticas para as aulas de robótica.

Esse projeto implica em desafios de manufatura prática e acessível, dessa forma trazendo teorias de integração entre sistemas distintos. O desenvolvimento por parte desse ecossistema de ferramentas será de enriquecimento educacional para a disciplina de robótica como um todo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O objetivo da troca rápida de ferramenta (TRF) é a redução e simplificação do setup (SANSON FOGLIATTO; RICARDO MOTTA FAGUNDES, 2003).

Uma metodologia para implementação da SMED (*Single-Minute Exchange of Die*, que pode ser traduzida para TRF em tempos inferiores a 10 minutos) é apresentada em 4 estágios (SHIGEO SHINGO, 1983):

- a) Estágio preliminar, onde os setups internos e externos são indistinguíveis (setup interno é aquele que ocorre com máquina parada e o setup externo ocorre com a máquina em operação);
- b) O estágio 1 é a separação dos setups interno e externo;
- c) No estágio 2 ocorre a conversão do setup interno em setup externo;
- d) O estágio 3 é onde ocorre a melhoria de cada operação de setup interno e externo.

Um estudo de caso realizado no segundo semestre de 2001 em uma empresa de móveis apresenta as melhorias citadas no setup através da implementação da TRF. Os produtos da família “roupeiros” representam 65% do faturamento da empresa estudada, dessa família de produtos o produto analisado representou 30,17% do faturamento da empresa no primeiro semestre de 2001. O processo qual apresenta maior setup na produção desse produto é a furação e foi esse processo o escolhido para a implementação da TRF. Os resultados de diminuição do valor do custo unitário de preparação, bem como do EOQ (*economic order quantity*), podem ser vistos no quadro abaixo (Quadro 1), nele é possível destacar a redução no tempo de setup, assim consolidar a vantagem quando comparado a um sistema sem aplicação da TRF (SANSON FOGLIATTO; RICARDO MOTTA FAGUNDES, 2003).

Quadro 1: Antes e depois da aplicação do TRF.

Antes da aplicação da TRF			Depois da aplicação da TRF		
C	Custo unitário do item	R\$ 4,5	C	Custo unitário do item	R\$ 4,5
D	Demanda do item/mês	5.600 un.	D	Demanda do item/mês	5.600 un.
A	Custo unit. De preparação: Lote médio de fab. – 180 un. Tempo de setup – 34’47” Produção máq. – 16 pç./min. Produção em 34’47” – 557un. Custo unit. de prod. – R\$ 0,419 Valor da prod. 557 un. – R\$ 233 Custo unit. prep. – 233/180	R\$ 1,3	A	Custo unit. De preparação: Lote médio de fab. – 180 un. Tempo de setup – 06’17” Produção máq. – 16 pç./min. Produção em 06’17” – 100un. Custo unit. de prod. – R\$ 0,419 Valor da prod. 100 un. – R\$ 41,9 Custo unit. prep. – 41,9/180	R\$ 0,23
i	Taxa de encargos financeiros sobre o estoque	2,4% ao mês	i	Taxa de encargos financeiros sobre o estoque	2,4% ao mês
EOQ (<i>Economic Order Quantity</i>)		367 pç.	EOQ (<i>Economic Order Quantity</i>)		154 pç.

Fonte: Adaptado de SANSON FOGLIATTO PAULO RICARDO MOTTA FAGUNDES (2003).

Pode-se elencar 4 vantagens principais decorrentes da diminuição dos custos e tempos de produção (ANTÔNIO VALLE ANTUNES JR; HENRIQUE RODRIGUES, 1993):

- a) Responder mais rapidamente as variações de demanda do mercado;
- b) Reduzir os inventários existentes na fábrica;
- c) Minimizar a possibilidade de erros no ajuste da máquina;
- d) Dar uma capacidade adicional à máquina.

Essas vantagens podem ser vistas no sistema Toyota de produção, onde o objetivo é a “produção em pequenos lotes e troca rápida de ferramentas.” Nesse sistema de produção os tamanhos dos lotes são reduzidos, o fluxo contínuo de um item em grande quantidade é evitado, diminuindo os estoques e se beneficiando da flexibilidade na produção (TAIICHI OHNO, 1997).

Já a adoção de equipamentos robóticos na América do Norte no início da década de 1980 apresentou grande alta. A partir desse ponto o mercado seguiu crescendo, apesar de algumas oscilações de mercado (JOHN J. CRAIG, 2012).

Um dos principais motivos para a adoção dos robôs industriais é o seu custo declinando e em contrapartida o aumento do custo da mão de obra. Além de mais baratos os robôs estão ficando mais eficientes (mais rápidos, precisos e flexíveis) (JOHN J. CRAIG, 2012).

Haja visto o aumento significativo de equipamentos robóticos na indústria e as vantagens da técnica de TRF, uma formação técnica completa, que torne os alunos, futuros profissionais, capazes de compreender e implementar tal tecnologia na indústria é de grande valia. Aliado a isso, há envolvimento dos alunos no desenvolvimento de novas ferramentas, colocando-os não apenas na operação e programação do robô, e ainda aumenta o arsenal de ferramentas para o robô do IFSC Campus Lages.

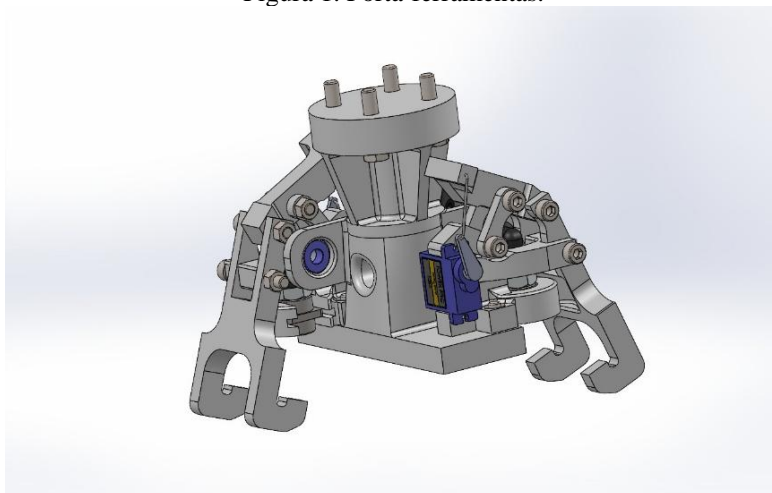
3 METODOLOGIA

O sistema foi desenvolvido em um software CAD, as peças, com exceção da conexão de união entre o engate e a ferramenta que são de aço 1020 usinado e as conexões pneumáticas comerciais, foram pensadas para serem produzidos com manufatura aditiva (impressão 3d).

O porta-ferramentas (Figura 1) tem dois grampos de fixação (Figura 2), cada um com um servo motor MG90S, essa montagem permite a utilização de um servo de baixo

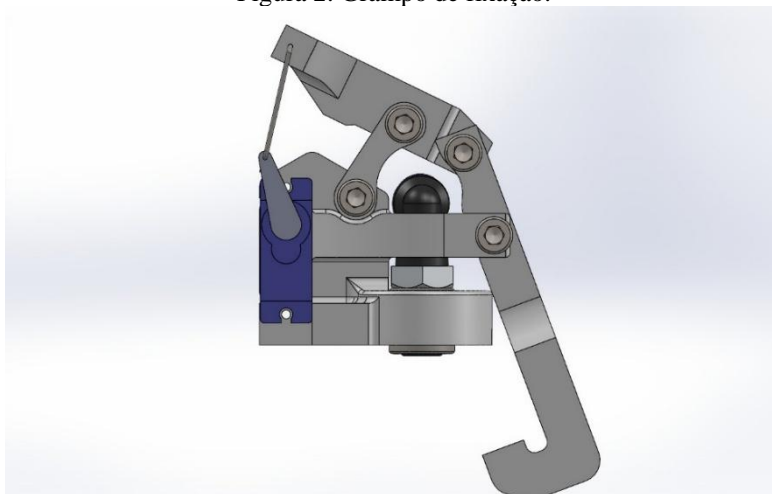
custo e baixo torque garantindo um aperto suficiente graças às alavancas do mecanismo.

Figura 1. Porta-ferramentas.



Fonte: Próprio autor.

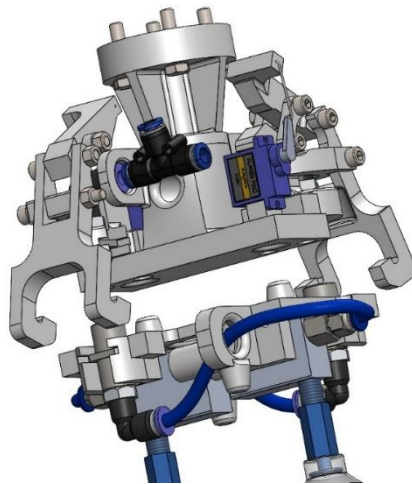
Figura 2. Grampo de fixação.



Fonte: Próprio autor.

Para garantir alinhamento antes de engatar a ferramenta foi desenvolvido dois pinos guia conforme a Figura 3.

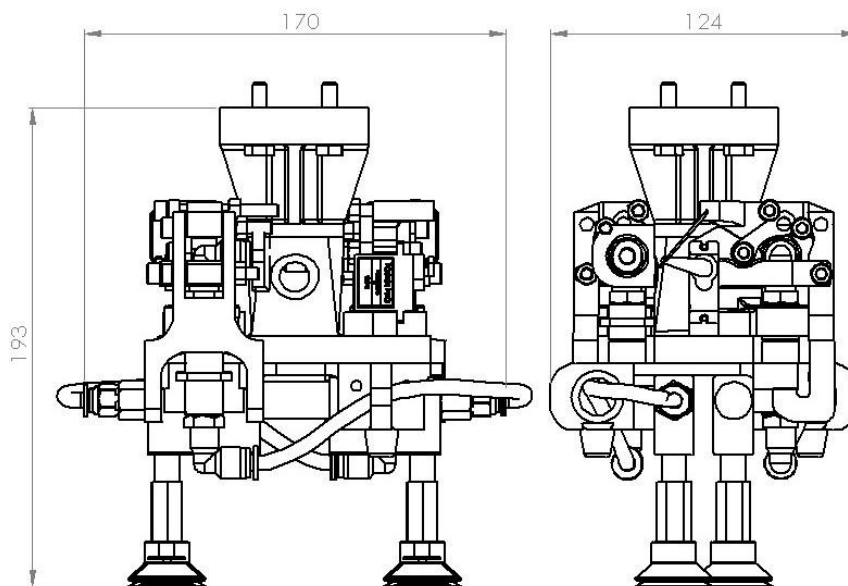
Figura 3. Pinos para alinhamento entre porta-ferramentas e ferramenta.



Fonte: Próprio autor.

Na Figura 4 é possível ver as dimensões gerais da ferramenta já acoplada no porta-ferramentas, todas as dimensões estão em milímetros.

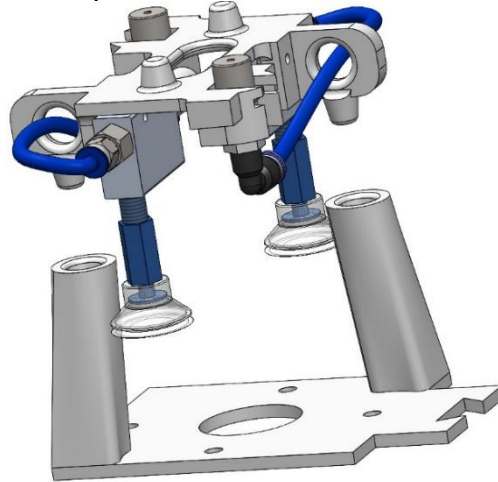
Figura 4. Dimensões da ferramenta engatada.



Fonte: Próprio autor.

Da mesma forma para garantir posicionamento da ferramenta no suporte foi colocado os mesmos pinos guia (Figura 5).

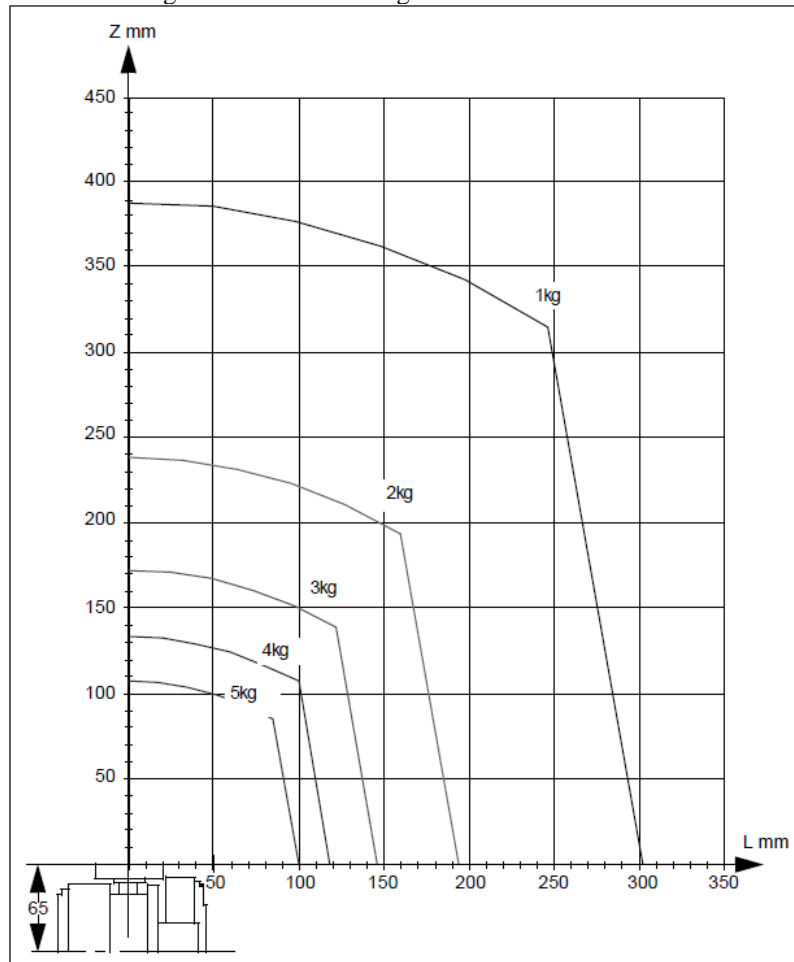
Figura 5. Pinos para alinhamento entre ferramenta e suporte.



Fonte: Próprio autor.

O porta-ferramentas e a ferramenta não podem exceder a carga máxima suportada pelo robô ABB IRB 140. Para garantir a operação foi consultado o manual do usuário do robô (Figura 6).

Figura 6. Gráfico de carga do robô ABB IRB 140.

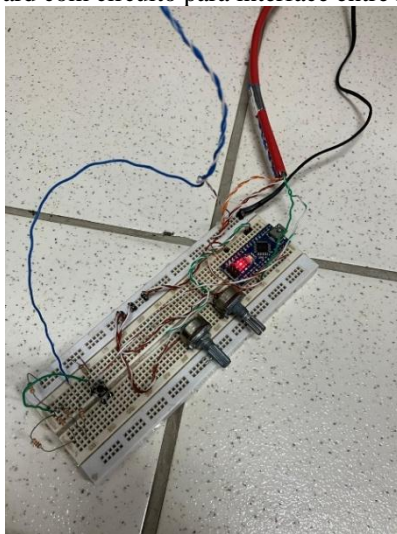


Fonte: ABB AUTOMATION TECHNOLOGIES AB ROBOTICS (2004).

Nas dimensões máximas atingidas pelo robô a massa máxima é de 1kg, dessa forma o porta-ferramentas, a ferramenta e o material a ser manipulado (quando houver) não deverão exceder 1kg se for necessário operar em todo volume de trabalho do robô.

O porta-ferramentas tem dois servos para atuar os grampos de fixação, esses servos são acionados por um Arduino Nano (Figura 7).

Figura 7. Protoboard com circuito para interface entre robô e ferramenta.



Fonte: Próprio autor.

O código desenvolvido para o engate recebe um sinal do robô (Figura 8) para abrir ou fechar os grampos através de uma interface desenvolvida entre o robô e o Arduino.

Figura 8. Conexões no painel do robô.



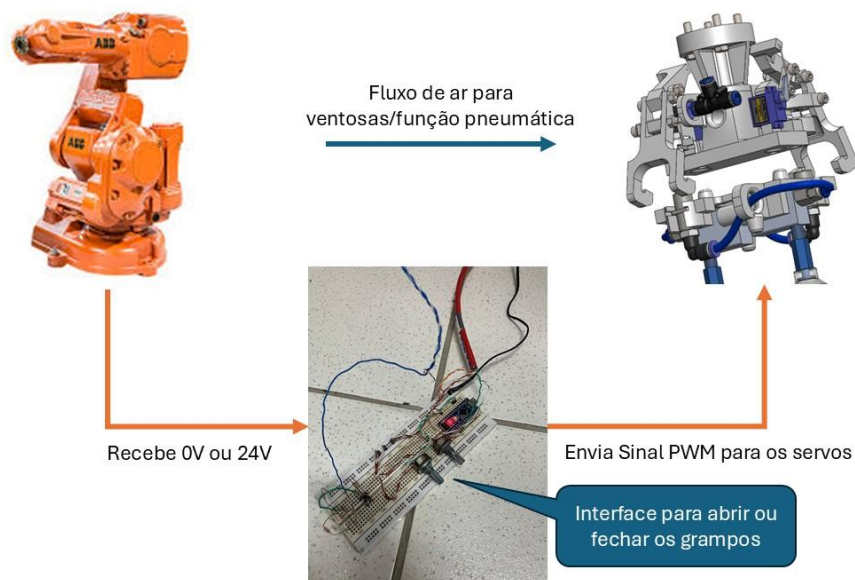
Fonte: Próprio autor.

Quando a leitura na porta digital do Arduino é igual a 0 então o grampo estará fechado, caso contrário o grampo estará aberto. Dessa forma se houver uma queda de energia e uma ferramenta estiver engatada então a mesma não será solta.

Como as peças são impressas ao longo do tempo haverá desgastes, dessa forma foi considerado um “Trim”, um ajuste por potenciômetro do fechamento dos grampos, para que as folgas possam ser compensadas, aumentando a vida útil dos engates. Todavia, considerando o baixo custo e facilidade de fabricação em caso que folgas excessivas ou quebras, uma peça nova é recomendada.

Um diagrama simplificado de comunicação entre o robô e a ferramenta pode ser visualizada na Figura 9.

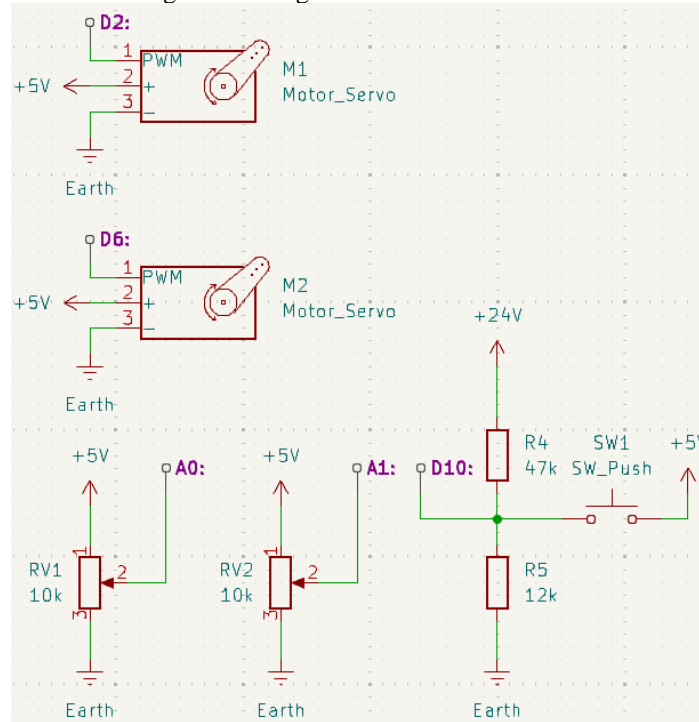
Figura 9. Interface de conexão.



Fonte: Próprio autor.

Para conseguir comunicar o robô com o Arduino foi usado um divisor de tensão para reduzir a tensão de 24V para próximo de 5V no sinal para abrir os grampos, também foi colocado em paralelo um push button para abrir intencionalmente os grampos durante os testes, esse sinal foi então lido na porta digital 10 do Arduino. Os dois potenciômetros foram colocados nas entradas analógicas 0 e 1 respectivamente, e os servos nos pinos digitais 2 e 6 conforme diagrama na Figura 10.

Figura 10. Diagrama eletrônico interface.



Fonte: Próprio autor.

Segue o código desenvolvido para a interface entre as partes:

```

/*
Programador: Lucas Santos Savi Mondo
Título: Controle engate rápido ER + Robô ABB
Data: 11/11/2024
*/

#include <Servo.h>

Servo Servo_1;
Servo Servo_2;
int Robot_Input = 10; //Pino digital que recebe o sinal do robô, 0 para fechar e 1 para abrir
int Trim_1 = A0; //Pino que recebe o sinal analógico a ser adicionado a posição fechado, ajuste de
desgaste do servo 1
int Trim_2 = A1; //Pino que recebe o sinal analógico a ser adicionado a posição fechado, ajuste de
desgaste do servo 2
int Trim_Value_1 = 0x00; //Variável que recebe o valor da leitura analógica de Trim_1
int Trim_Value_2 = 0x00; //Variável que recebe o valor da leitura analógica de Trim_2
int Open = 5; //Valor do angulo quando grampos abertos
int Close = 85; //Valor do angulo quando grampos fechados

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Servo_1.attach(2); //Servo 1 associado ao pino digital 2
  Servo_2.attach(6); //Servo 2 associado ao pino digital 6
  pinMode(Robot_Input, INPUT);
  pinMode(Trim_1, INPUT);
  pinMode(Trim_2, INPUT);
}

```

```
void loop() {
  if (digitalRead(Robot_Input) == 0) {
    Close_Clamp();
  } else {
    Open_Clamp();
  }
  Trim_Update();
  delay(1);
}

void Trim_Update() {
  Trim_Value_1 = map(analogRead(Trim_1), 0, 1023, 0, 50);
  Trim_Value_2 = map(analogRead(Trim_2), 0, 1023, 0, 50);
  Serial.print("Trim_1: ");
  Serial.print(Trim_Value_1);
  Serial.print("| Trim_2: ");
  Serial.println(Trim_Value_2);
  delay(250);
}

void Close_Clamp() {
  Servo_1.write(Close + Trim_Value_1);
  Servo_2.write(Close + Trim_Value_2);
  Serial.println("Fechado");
  delay(500);
}

void Open_Clamp() {
  Servo_1.write(Open);
  Servo_2.write(Open);
  Serial.println("Aberto");
  delay(500);
}
```

O código do robô ABB foi desenvolvido no FlexPendant do próprio robô e pode ser lido abaixo:

```
MODULE MainModule
  LOCAL CONST robtarget prtcc10:=[[324.37,-476.39,490.56],[0.00899141,-0.999833,-0.0110961,-0.0113964],[-1,0,1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget prtcc20:=[[601.97,-471.49,214.99],[0.00901006,-0.999833,-0.0110787,-0.0113785],[-1,0,1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget prtcc30:=[[464.23,121.91,704.13],[0.681178,-0.16765,0.694511,0.159827],[0,0,-1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget prtcc40:=[[464.23,121.91,704.13],[0.681177,-0.167646,0.694512,0.159828],[0,0,-1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget prtcc50:=[[551.43,265.01,635.59],[0.0100134,-0.705265,0.708873,-0.000399152],[0,0,-1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget prtcc60:=[[551.43,265.00,499.30],[0.0100091,-0.705257,0.708881,-0.000398203],[0,0,-1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget prtcc70:=[[464.23,121.91,704.13],[0.681177,-0.167649,0.694512,0.159827],[0,0,-1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget prtcc80:=[[601.97,-471.49,300.81],[0.00901759,-0.999833,-0.011077,-0.0113774],[-1,0,1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget prtcc90:=[[466.24,-18.78,300.81],[0.00901843,-0.999833,-0.0110697,-0.0113746],[-1,0,1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget prtcc100:=[[466.24,-18.78,202.33],[0.00901665,-0.999833,-0.0110678,-
```

```
0.0113718],[-1,0,1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST  robtarg  prtcc110:=[[466.24,-18.78,494.99],[0.00901609,-0.999833,-0.0110823,-
0.0113624],[-1,0,1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  PROC main()
    MoveJ prtcc10, v2500, z1, tool0; //Ponto inicial
    MoveJ prtcc80, v2500, z1, tool0; //Ponto sobre o magazine
    MoveL prtcc20, v2500, z1, tool0; //Ponto no magazine
    WaitRob\InPos; //Aguarda a confirmação da posição do robô fisicamente
    Set DO10_6; //Abre as garras da troca da ferramenta e deixa a ferramenta
    WaitTime 2; //Delay
    MoveL prtcc80, v2500, z1, tool0; //Ponto sobre o magazine
    MoveJ prtcc10, v2500, z1, tool0; //Ponto inicial
    MoveJ prtcc80, v2500, z1, tool0; //Ponto sobre o magazine
    MoveL prtcc20, v2500, z1, tool0; //Ponto no magazine
    WaitRob\InPos; //Aguarda a confirmação da posição do robô fisicamente

    Reset DO10_6; //Fecha as garras da troca da ferramenta, pegando a ferramenta
    WaitTime 2;
    MoveL prtcc80, v2500, z1, tool0; //Ponto sobre o magazine
    MoveJ prtcc90, v2500, z1, tool0; //Ponto sobre a peça a ser manipulada
    MoveL prtcc100, v2500, z1, tool0; //Ponto na peça
    WaitRob\InPos;
    Set Close_Garra;
    WaitTime 2;
    MoveL prtcc110, v2500, z1, tool0; //Ponto acima para representar a movimentação da
peça.

    MoveL prtcc100, v2500, z1, tool0;
    WaitRob\InPos;
    Reset Close_Garra;
    WaitTime 2;
    MoveL prtcc90, v2500, z1, tool0;
  ENDPROC
ENDMODULE
```

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os testes seguiram com uma placa de circuito impresso usada para avaliar a capacidade de sucção da ferramenta, o suporte da ferramenta foi posicionado ao lado do robô e os movimentos seguiram-se conforme a Figura 11.

Figura 11. Movimentos do robô.

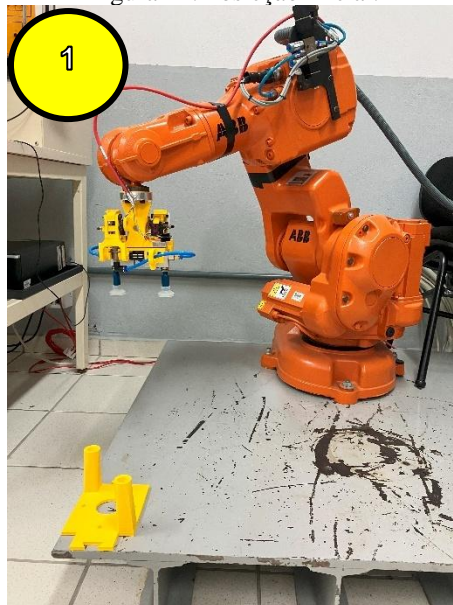


Fonte: Próprio autor.

A seguir são apresentadas as imagens do sistema durante os testes com a respectiva etapa indicada no canto superior esquerdo de cada imagem.

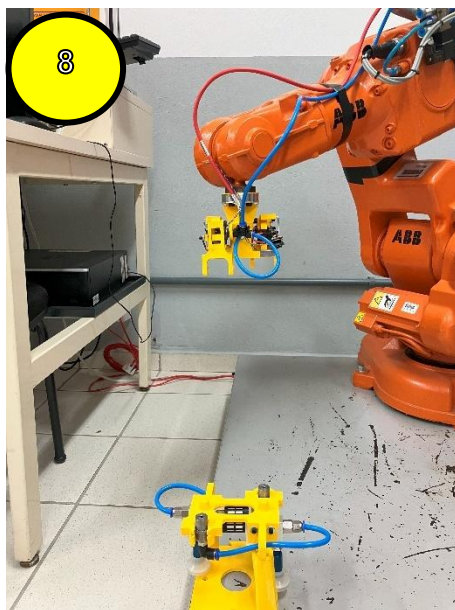
As Figuras 12 e 13 mostram a posição inicial com a ferramenta acoplada e a posição da ferramenta no suporte.

Figura 12. Posição inicial.



Fonte: Próprio autor.

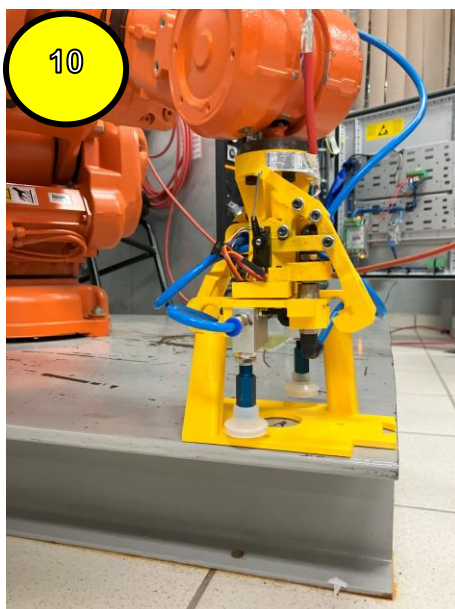
Figura 13. Ferramenta no suporte.



Fonte: Próprio autor.

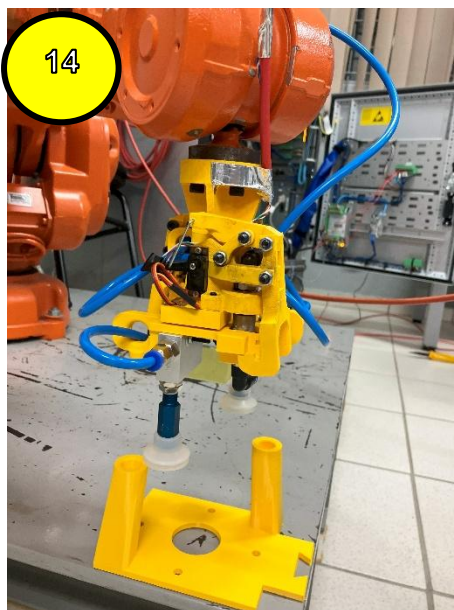
As Figuras 14 e 15 apresentam o robô sobre a ferramenta antes de acoplar e após acoplar já deslocando-se para a peça que seria levantada nos testes.

Figura 14. Posicionado antes do acoplamento.



Fonte: Próprio autor.

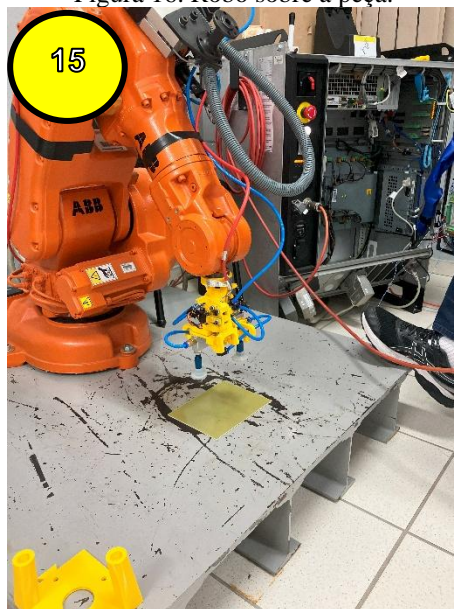
Figura 15. Ferramenta engatada.



Fonte: Próprio autor.

As Figuras 16 e 17 apresentam a posição do robô sobre a peça a ser levantada e levantando a peça.

Figura 16. Robô sobre a peça.



Fonte: Próprio autor.

Figura 17. Peça na ferramenta.



Fonte: Próprio autor.

O sistema se comportou conforme o projetado, conseguindo pegar a ferramenta, retirar do suporte e pegar a peça, repetindo esse ciclo durante os testes.

O tempo de realização do ciclo de funcionamento descrito na Figura 11 foi de aproximadamente 11,72 segundos.

5 CONCLUSÃO

O projeto do sistema de ferramenta de engate rápido para o ambiente educacional proporciona ao aluno a familiarização com esse tipo de técnica (TRF) aplicada na indústria. Como foi pensado para ser de baixo custo de produção também garante aos alunos o desenvolvimento de outras ferramentas, envolvendo-os em mais que apenas a operação e programação do robô.

A adição de mais suportes para ferramentas e sua automatização permitem o desenvolvimento de um magazine, que é um sistema onde ficam armazenadas as ferramentas de uma máquina, podendo ser ponto de estudo em trabalhos futuros.

A capacidade de carga da ferramenta projetada não é o objetivo desse trabalho podendo ser um futuro desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

ABB AUTOMATION TECHNOLOGIES AB ROBOTICS. Product specification Articulated robot. Västerås, 2004.

ANTÔNIO VALLE ANTUNES JR, J.; HENRIQUE RODRIGUES, L. A Teoria das Restrições como Balizadora das Ações Visando a Troca Rápida de Ferramentas. *Production*, v. 3, p. 73–85, 1993.

JOHN J. CRAIG. *Robótica*. Tradução: Heloísa Coimbra de Souza. 3. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2012.

SANSON FOGLIATTO, F.; RICARDO MOTTA FAGUNDES, P. TROCA RÁPIDA DE FERRAMENTAS: PROPOSTA METODOLÓGICA E ESTUDO DE CASO. *Gestão & Produção*, v. 10, n. 2, p. 163–181, 5 fev. 2003.

SHIGEO SHINGO. *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Tokyo: Shinguru Dandori, 1983.

TAIICHI OHNO. *O SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO ALÉM DA PRODUÇÃO EM LARGA ESCALA*. Tradução: Cristina Schumacher. Porto Alegre: Bookman, 1997.