

UNIVERSIDADE CESUMAR - UNICESUMAR
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS TECNOLÓGICAS E AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO ENG. CONTROLE E AUTOMAÇÃO

MELHORIA DE UMA CÉLULA ROBOTIZADA
INTEGRADA COM TORNO CNC USANDO SISTEMA POKA-YOKE

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia De Controle e Automação da Universidade Cesumar – UNICESUMAR como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel(a) em Eng. Mecatrônica, sob a orientação do Prof. Dr. Fernando Pereira Calderaro.

FOLHA DE APROVAÇÃO
LUAN CONRADO TELES DA SILVA

MELHORIA DE UMA CÉLULA ROBOTIZADA
INTEGRADA COM TORNO CNC USANDO SISTEMA POKA-YOKE

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em engenharia de controle e automação da
Universidade Cesumar –UNICESUMAR como requisito parcial para a obtenção do título de
Bacharel(a) em engenharia de controle e automação, sob a orientação do Prof. Dr.
Fernando Pereira Calderaro.

Aprovado em: 6 de dezembro de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Nome do professor – (Titulação, nome e Instituição)

Nome do professor - (Titulação, nome e Instituição)

Nome do professor - (Titulação, nome e Instituição)

RESUMO

Este projeto versa acerca do desenvolvimento de uma melhoria que consiste no desenvolvimento de uma esteira com um sistema de separação de peças, por meio do controle de atuadores pneumáticos em uma célula robotizada integrada a um torno CNC utilizando do sistema Poka-yoke, a fim de projetar e colocar em prática os conteúdos estudados durante o curso, tendo como intuito acabar com falhas operacionais da célula. Desta maneira, a montagem do sistema é realizada seguindo um esquema elétrico e, por conseguinte, além do desenvolvimento da programação, o projeto também inclui a aplicação real na planta industrial da Empresa Real X. Esta melhoria proporciona confiabilidade na operação, pois permite que o autômato possa trabalhar cada vez mais sem vigilância humana.

Palavras-chave: Automação, Robótica Industrial, Usinagem.

ABSTRACT

This project concerns the development of an improvement that consists of creating a conveyor belt with a part separation system, through the control of pneumatic actuators in a robotic cell integrated with a CNC lathe, utilizing the Poka-yoke system. The aim is to design and implement the contents studied during the course to eliminate operational failures in the cell. In this way, the system assembly is carried out following an electrical schematic, and consequently, besides the programming development, the project also includes the real application in the industrial plant of Empresa Real X. This improvement provides reliability, as it allows the automaton to work increasingly without human supervision..

Keywords: Automation, Industrial Robotics, Maching.

1.INTRODUÇÃO

Desde a pré-história, a humanidade tem desenvolvido maneiras de transformar matérias-primas, remontando às primeiras formas de usinagem, quando ferramentas de pedra eram utilizadas para cortar e moldar. No entanto, foi durante a Idade do Bronze e do Ferro que surgiram as primeiras ferramentas metálicas, as quais permitiram maior durabilidade e eficácia nos processos de corte e perfuração. Nesse sentido, a invenção do torno simples, acionado manualmente ou por pedal, fora um marco indelével nesta evolução, permitindo pela primeira vez o giro controlado de peças para a criação de objetos simétricos.

Em seguimento, a primeira Revolução Industrial no final do século XVIII e início do XIX, trouxe inovações fundamentais na tecnologia de usinagem. Não obstante, Henry Maudslay, engenheiro britânico, é frequentemente creditado pela criação do torno de precisão moderno em 1797, o qual utilizava uma guia roscada, permitindo a produção de peças com alta precisão e repetibilidade. De maneira análoga, Maudslay também introduziu o conceito de intercambialidade de peças, revolucionando a produção em massa (Singer et al., 1958), e, por consequência, enfatizando sua lucratividade para a tecnologia de usinagem.

Destarte, o século XX testemunhou avanços rápidos na tecnologia de usinagem, impulsionados pela demanda crescente por peças complexas e precisas em indústrias como a automotiva, aeroespacial e a de defesa. Logo, o desenvolvimento das primeiras máquinas de controle numérico (NC) na década de 1940 marca o início da automação no processo de usinagem, utilizando fitas perfuradas para controlar os movimentos da máquina, estes sistemas permitiram uma produção precisa e repetível de peças complexas (Roe, 1916).

À vista disso, uma verdadeira revolução na usinagem ocorreu devido à introdução do Controle Numérico Computarizado (CNC) na década de 1960. Com a integração de computadores aos sistemas de controle numérico, os tornos CNC permitiram a automação completa e o controle preciso dos processos de usinagem, possibilitando a programação e execução de movimentos complexos. Essa integração aumentou significativamente a eficiência, precisão e flexibilidade da produção, viabilizando a fabricação de peças com geometria complexa e tolerâncias rigorosas, atendendo às demandas das indústrias modernas (Groover, 2020). Como efeito, a automação industrial tem evoluído significativamente nas últimas décadas, de maneira incontestável, com a inserção de robôs nos meios de produção. A robótica, no âmbito industrial, tornou-se cada vez mais presente, passando a ser altamente

necessária para as produções de precisão, todavia, ao retratar robôs, é necessário considerar a existência de uma vasta gama de aplicações e automações.

Isto posto, algumas aplicações dos robôs não são apenas para fins lucrativos, mas sim para fins ergonômicos e de segurança, uma vez que o operador é exposto a gases tóxicos, calor e radiação eletromagnética. Dessa maneira, torna-se interessante a integração de robôs aos processos de fabricação perigosos, garantindo melhor qualidade de vida para o operador, bem como precisão e repetibilidade do processo. Desta forma, “Quando o trabalho e o ambiente no qual ele é desempenhado são perigosos, inseguros, nocivos à saúde, desconfortáveis ou, de outro modo, desagradáveis para as pessoas, é desejável (também moral e socialmente necessário) considerar o uso de um robô industrial para a tarefa.” (Groover, 2010 p.183)

Nesse ínterim, robôs como os manipuladores são amplamente utilizados na indústria, por sua vasta gama de aplicabilidades e por garantir maior consistência na repetibilidade do movimento. De acordo com Pazos (2002 p. 16) “Os robôs produzem com muito maior eficiência que os humanos, pois a repetição sem fim de uma tarefa, por monótona que seja, não implica em perda de precisão”.

Desta forma, é necessário abordar alguns tópicos antes da implementação dos robôs, ao passo que existem variados tipos de aplicações de automação, e para cada uma dessas atende-se um tipo específico de fabricação. Assim, existem 3 tipos de automação (PAZOS, 2002): a automação fixa, consistindo em lotes com grandes números de peças, nessa aplicação quase não é realizada programação, visto que o robô segue sempre um mesmo programa. Porém, existem alguns riscos neste tipo de automação, devido ao alto investimento na sua aplicação, caso haja uma queda na produção o preço unitário do produto aumenta, diminuindo ainda mais as vendas. Além disso, uma mudança de produto fará com que o ativo se torne passivo e comece a gerar prejuízo por não estar em operação. A segunda aplicação é a automação programável, a qual se baseia em um equipamento capaz de atender a uma variedade de produtos com características diferentes. Esse tipo de automação é muito utilizada quando o volume de produção de peças é baixo, só sendo possível devido à operação do equipamento sob controle de um programa de instruções preparado para o produto. O programa pode ser introduzido por um teclado numérico ou até mesmo por meio de uma IHM (Interface Homem-Máquina). Por fim, a terceira aplicação é a automação flexível, que origina-se de uma célula onde o manipulador é capaz de operar mais de uma máquina e produzir mais de um tipo de peça ao mesmo tempo, devido ao uso com volumes médios de peças. Essa abordagem combina características da automação fixa e da automação

programável.

Diante disso, um sistema muito utilizado nas aplicações de automação industrial com integração de robôs, é o sistema Poka Yoke, que consiste no método para obter zero defeitos na produção, ou, neste caso, na operação do robô, com a finalidade de garantir uma melhor qualidade dos produtos e das máquinas que os produzem, existindo há muito tempo e de diferentes formas (SHIMBUN, 1989). Segundo Nikkan Kogyo Shimbun (1989) o sistema Poka Yoke existe há muito tempo e de diferentes formas. Shigeo Shingo, engenheiro japonês, foi quem desenvolveu a ideia de alcançar zero falhas, consequentemente, eliminando o controle de qualidade.

Portanto, indubitavelmente, a busca por qualidade e eficiência na indústria tem crescido e, de modo adjacente à implementação de novas tecnologias nas indústrias, tendo como objetivo melhorar a confiabilidade nos processos produtivos, reduzindo perdas e otimizando tempo. Nesse contexto, os robôs manipuladores surgem como uma abordagem promissora para a otimização do tempo e da produção. Contudo, é fundamental acompanhá-los com um sistema essencial para qualquer processo produtivo: o sistema Poka-yoke. Tal sistema previne erros e garante a qualidade e a confiabilidade no funcionamento de uma célula robotizada como um todo.

Tão logo, o objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema Poka-Yoke para melhorar a esteira de uma célula robotizada integrada a um torno CNC em uma Empresa Real X. Essa célula apresentava algumas problemáticas, desde não atender às demandas relacionadas ao processo de usinagem até não ser adequada ao estilo das peças utilizadas. Durante a utilização do robô, ficaram evidentes alguns erros cruciais para a máxima produtividade da célula, bem como para a confiabilidade do funcionamento. Um dos desafios enfrentados pela empresa foi em relação ao projeto estrutural da célula robotizada, na qual a esteira não era adequada para os tipos de peças produzidas nem para o processo de usinagem.

2. DESENVOLVIMENTO

Nessa seção, será descrito todo o processo realizado na elaboração e desenvolvimento do projeto

2.1. METODOLOGIA

A melhoria será desenvolvida através da elaboração de um projeto mecânico, elétrico e de programação visando o desenvolvimento de tecnologia para uso empresarial. Esse sistema tem por objetivo melhorar a eficiência de funcionamento do robô em relação aos tipos de peças que manipula, contribuindo para melhor uso e cuidado com equipamento.

O mecanismo consiste em um atuador pneumático capaz de controlar o fluxo de peças fazendo com que, apenas, uma por vez chegue ao final da esteira, evitando que as seguintes sejam levantadas em virtude do tipo de usinagem. Destarte, devido ao diâmetro do material, torna-se mais vantajoso fazer a usinagem em duas etapas separadas, onde será, para o guia, utilizada a rosca e os canais externos, e para o êmbolo apenas os canais externos. Quando o manipulador coleta a peça na entrada, o canal da peça seguinte encaixa no que está com o robô, dessa maneira, ambas são erguidas simultaneamente. Na figura 1 é apresentado o exemplo desta problemática.

Figura 1 - Peça levantando em conjunto



Fonte: Autor

Nesse sentido, serão realizadas análises em torno da problemática, visando fundamentar a solução desenvolvida e fomentar a aplicabilidade do sistema proposto. A Metodologia será dividida nas seguintes etapas:

2.2. MATERIAIS

Nesta seção, serão apresentados os materiais utilizados para a elaboração e desenvolvimento da tecnologia, bem como suas especificações e funções.

2.3. LISTA DE MATERIAIS

Os materiais utilizados para a elaboração e desenvolvimento do projeto são os seguintes:

- 2 x Atuadores pneumáticos SMC;
- 2 x Válvula direcional SMC;
- 4 x Sensor Magnético SMC;

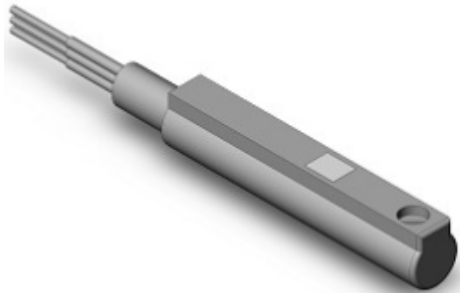
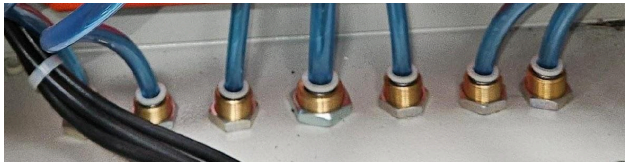
- 1 x Sub-base manifold para 4 válvulas SMC;
- 4 x Conexão passa muro 8mm;
- 10 x Borne duplo;
- 3m x Tubo poliuretano 8mm;
- 1 x Módulo de expansão de saída TM3DQ16TK Schneider;
- 1 x Módulo de expansão de entrada TM3DI16K Schneider;
- 2 x Cabos conector HE10 20 vias;
- 5 x Relé ;
- 5m x Cabo 5x12 vias;

2.4. DESCRIÇÕES DOS MATERIAIS

No quadro 1 apresenta a descrição dos materiais, com uma foto e nome de cada item utilizado para confecção do sistema.

Quadro 1 - Lista de materiais

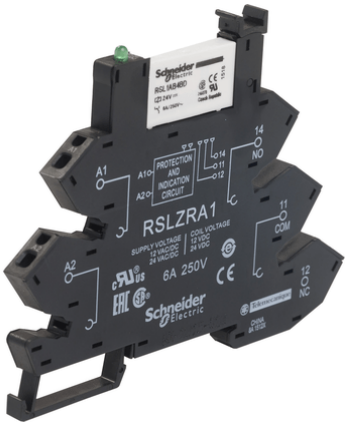
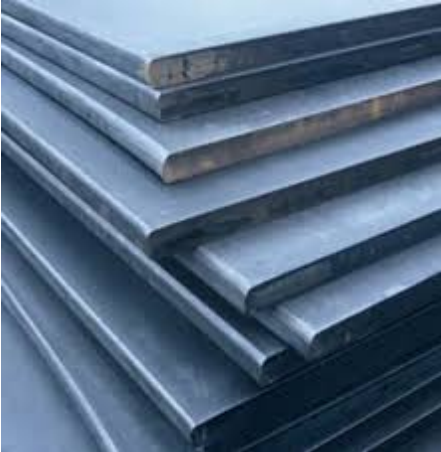
Atuador Pneumático SMC		O atuador é um dispositivo que converte força pneumática em movimento mecânico pela compressão do ar. Tal movimento é realizado devido a um estímulo elétrico, com a finalidade de controlar a abertura do cilindro por meio de automação liberando que fique apenas uma peça no
---------------------------------------	--	---

		batente.
Válvula direcional SMC		A válvula direcional é utilizada para fazer o controle da vazão de ar que vai para o atuador pneumático. Possibilitando a automação e controle da movimentação do cilindro.
Sensor magnético SMC		O sensor magnético para cilindros pneumáticos tem como função a identificação da posição atual da abertura do cilindro.
Sub-base manifold para 4 válvulas SMC		A sub-base manifold para quatro válvulas é uma base de fixação das válvulas para o sistema de alimentação pneumática.
Conexão passa muro		Tem como funcionalidade passar as mangueiras pneumáticas

8mm		do lado de dentro do painel pneumático para a célula.
Borne duplo		O borne duplo é usado quando há uma necessidade de ligar mais de um cabo para uma mesma saída.
Tubo poliuretano 8mm		Muito utilizado na indústria, o tubo poliuretano, habitualmente chamado de mangueira de ar, tem como funcionalidade neste projeto o transporte do ar para os atuadores.

Módulo de expansão de saída TM3DQ16 TK Schneider		O módulo de expansão TM3 16 Saídas da Schneider é utilizado quando o número de saídas do CLP já não é mais suficiente, então é necessário adquirir um módulo de expansão. No projeto este módulo tem como objetivo enviar os sinais de saída para as solenóides das válvulas pneumáticas, quando acionado gera uma reação do atuador abrindo-o ou fechando-o.
---	--	--

Módulo de expansão de entrada TM3DI16K Schneider	 The image shows a Schneider TM3DI16K expansion module. It is a dark blue, rectangular unit with a DIN rail mounting bracket on the left. The front panel features a label with the Schneider logo and model number. On the right side, there is a vertical row of 16 gold-plated terminal pins. At the bottom, there is a DC IN terminal block.	O módulo de expansão TM3 16 entradas da Schneider é utilizado quando o número de entradas do CLP já não é mais suficiente, então é necessário adquirir um módulo de expansão. No projeto este módulo tem como objetivo receber os sinais de entrada dos sensores do atuador, quando sinal gerado for alto o controle compreenderá que o atuador está aberto ou fechado.
Cabos conector HE10 20 vias	 The image shows a coiled cable with a grey braided outer jacket. At one end, there is a 20-pin HE10 connector with a black plastic housing and gold-plated pins. The other end of the cable has several individual wires exposed, with some colored (red, blue, green, yellow, black).	Cabo utilizado para conectar nos módulos de expansão de entrada e saída, as 20 vias vão para o circuito elétrico, sendo 12 para os sinais do sensor (entrada) e oito para as solenóides das válvulas (saída).

Relé		Os relés têm como objetivo fazer a segurança contra curto-circuito, prevenindo de queimar o CLP ou os módulos de expansão em causa de uma sobrecarga no sistema.
Cabo 5x12 vias		Utilizado para fazer as conexões entre as partes, como entre o relé e o borne duplo, entre o cabo do sensor e o módulo de expansão.
Chapas de aço.		Utilizada para confecção da esteira onde será aplicado o sistema poka-yoke.

Fonte: Autor

Desta maneira o preço total do projeto é apresentado na tabela 1 onde indica a quantidade, marca e preço de cada componente.

Tabela 1 - Preço final do projeto

ITEM	QTDE.	PRODUTO	DESCRIÇÃO	MARCA	V. UNIT.	V. TOTAL
1	2	TWDFCW30K	CABO CONECTOR HE10 20 VIAS 3M MODULO DE EXPANSAO	SCHNEIDER	R\$ 290,73	R\$ 581,46
2	1	TM3DQ16TK	MODULO DE EXPANSAO TM3 16 SAIDAS	SCHNEIDER	R\$ 1.539,72	R\$ 1.539,72
3	1	TM3DI16K	MODULO DE EXPANSAO TM3 16 ENTRADAS HE10	SCHNEIDER	R\$ 1.239,02	R\$ 1.239,02
4	5	RSL1PRBU	RELE DE INTERFACE SLIM MONTADO 1NAF 6A 24VCC/CA - c/ LED BASE MOLA	SCHNEIDER	R\$ 60,85	R\$ 304,25
5	10	BTWD 2,5N	BORNE DUPLO 2,5MM WEG PARAFUSO	WEG	R\$ 11,86	R\$ 118,60
6	10	TF-BTWD 2,5-4N CZ	TAMPA P/ BORNE DUPLO 2,5N E 4N WEG	WEG	R\$ 3,44	R\$ 34,40
7	8	BTWI 2,5	BORNE PUSH-IN 2,5MM	WEG	R\$ 4,71	R\$ 37,68
8	2	SY5420-5LZ-01	VALVULA DIRECIONAL	SMC	R\$ 833,30	R\$ 1.666,60
9	4	D-M9P	SENSOR MAGNETICO	SMC	R\$ 238,49	R\$ 953,96
10	1	SS5Y5-20-04	SUB BASE MANIFOLD	SMC	R\$ 329,06	R\$ 329,06
11	4	KQ2H08-02AS	CONEXAO RETA 1/4X08	--	R\$ 7,75	R\$ 31,00
12	4	KQ2E08-00A	CONEXAO PASSA MURO 8MM	--	R\$ 25,24	R\$ 100,96
13	50	TU0805BU-100	TUBO POLIURETANO	--	R\$ 11,32	R\$ 566,00
14	58	--	Material para confecção da esteira	--	--	R\$ 4.795,08
15	20	FLEX 0,50 AZ 750V RL	CABO FLEX 0,50MM -750V	--	R\$ 0,80	R\$ 16,00
16	1	--	KIT TERMINAL 1200 UNID.	--	--	R\$ 54,79
TOTAL						R\$ 12.368,58

Fonte: Autor

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. RETOMADA DA PROBLEMÁTICA

O projeto teve como objetivo desenvolver uma melhoria em relação aos altos índices de colisão do robô em peças mal posicionadas e em geração de sucata por meio do refugo de peças com colisão, na Empresa Real X, decorrente da falta do sistema de separação. Inicialmente, identificou-se que o problema central estava na forma em que as peças eram depositadas para serem coletadas pelo robô, conseqüentemente acarretando em dois problemas, altos índices de peças que não atendem aos padrões de qualidade exigidos e à colisão do robô com a peça mal posicionada. Essa situação não apenas afeta a eficiência da produção, mas também gera custos adicionais e o desgaste dos equipamentos.

3.2 PROBLEMÁTICA

O torno CNC onde o robô se encontra integrado e produz dois tipos de peça, o êmbolo e o guia roscado, representados pelas figuras 3 e 4, respectivamente. Por conseguinte, a máquina recebe a matéria-prima (figura 2) e a molda por meio da usinagem, formando, assim, a peça desejada.

Figura 2 - Tarugo de ferro fundido



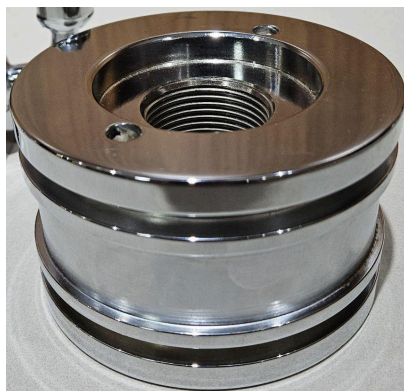
Fonte: Autor

Figura 3 - Guia Roscado



Fonte: Autor

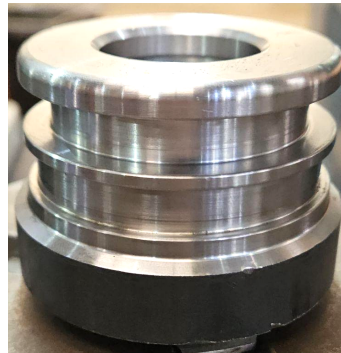
Figura 4 - Êmbolo



Fonte: Autor

Nesse sentido, a usinagem é dividida em duas etapas, onde se usina uma grande parte da peça (primeira etapa ou primeiro lado) e, posteriormente, outra na qual usina o restante (segunda etapa ou segundo lado), sendo que para diferentes peças, as etapas podem ser divergentes, como exemplificação disso, um êmbolo na etapa um é diferente da etapa um de um guia roscado. Durante a usinagem do êmbolo é realizada a furação, canais internos e externos e a rosca interna, já durante o processo do guia roscado é realizado a furação, canais internos e externos e a rosca externa, como representado nas figuras 5 e 6 respectivamente.

Figura 5 - Primeira etapa usinagem Êmbolo



Fonte: Autor

Figura 6 - Primeira etapa usinagem Guia Roscado



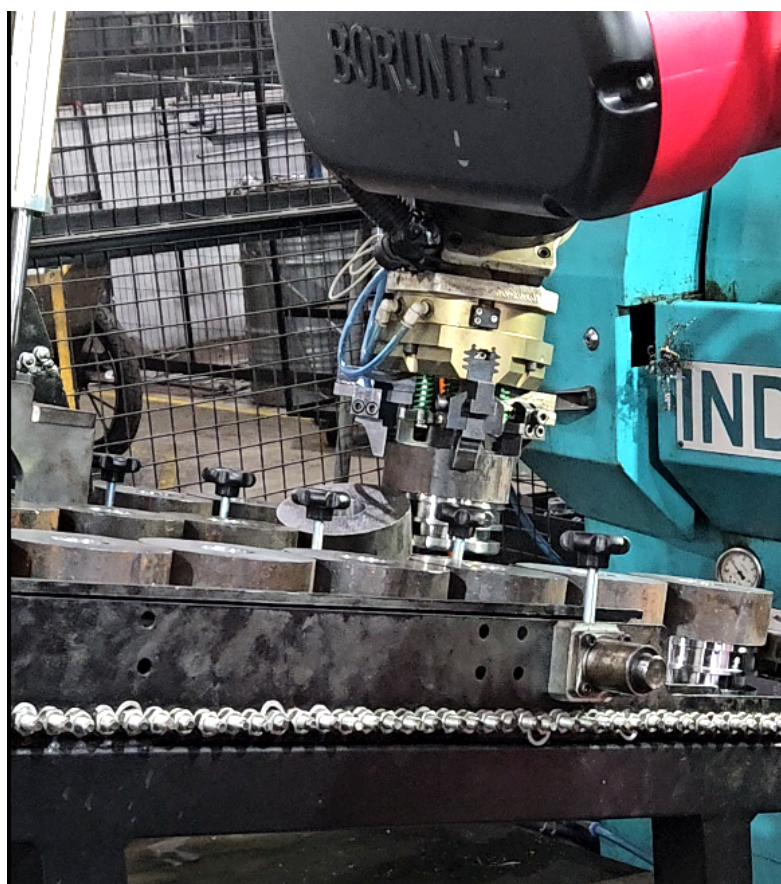
Fonte: Autor

A partir disso, a dificuldade surge com a usinagem da segunda etapa de ambas as peças, se intensificando no guia roscado devido a existência dos canais e da rosca externa na primeira etapa de usinagem, e, conseqüentemente, na segunda etapa, o processo de fabricação da base da peça (na figura 18). A problemática da usinagem do segundo lado ocorre quando as peças estão previamente e corretamente posicionadas para serem coletadas na esteira de entrada da célula robótica, porém, durante o processo de coleta pelo manipulador a peça conseguinte escorrega para frente, e acaba por colidir a parte bruta, ainda não usinada, na rosca da peça presa no efetuador do manipulador. Com isso, acarreta-se na reprovação por parte da inspeção de qualidade e a peça que teve a rosca avariada gera sucata.

Sob esse contexto, a produção do êmbolo também pode apresentar dificuldade em relação à

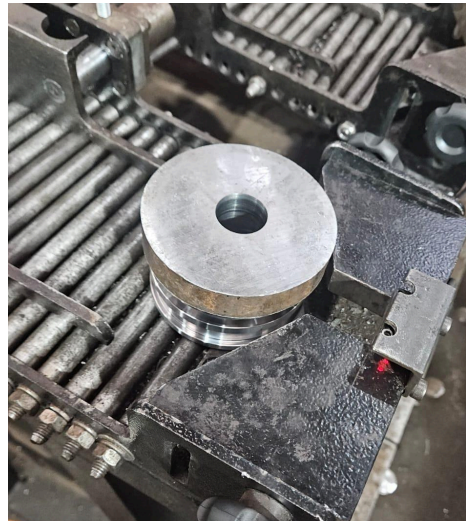
utilização do robô durante a usinagem do segundo lado. Nesse sentido, haver muitos canais na parte externa da peça, ocasiona no mau funcionamento do manipulador. Quando posicionada corretamente o robô coleta a primeira peça na esteira de entrada com facilidade, porém, ao escorregar para frente, acaba encaixando os canais dessa na peça presa no atuador do manipulador, com isso, a peça seguinte é levantada junto à coletada (figura 7) devido a movimentação do robô, no entanto, ao cair, fica propícia aos critérios adotados pelo robô para ser apanhada aos quais seriam, o sensor da bandeja acionado e a esteira selecionada na IHM (Interface Homem Máquina), como representado nas figuras 8 e 9, respectivamente.

Figura 7 - Robô ao coletar êmbolo



Fonte: Autor

Figura 8 - Peça acionando sensor



Fonte: Autor

Figura 9 - Botão seleciona esteira IHM



Fonte: Autor

Nesses critérios, com o sensor acionado e a esteira selecionada, os requisitos do programa do CLP para coletar a peça na entrada são atendidos. Sob esse contexto, o programa é um texto estruturado com uma lógica de máquina de estado desenvolvido a partir do software Machine Expert V2.0 da Schneider, representado pela figura 10.

Figura 10 - Programa CLP Schneider

```
//=====
10: (*ESTADO 10: Seleciona estacao para coleta*)
  IF (*Seleciona estacao 10*)
    GVL.g_STR_Software.Variable.xMemoriaEstacao4 THEN
      GVL.g_STR_Software.Variable.iEstacaoEntradaEstado:=20;
  END_IF

  IF (*Seleciona estacao 20*)
    GVL.g_STR_Software.Variable.xMemoriaEstacao1 THEN
      GVL.g_STR_Software.Variable.iEstacaoEntradaEstado:=30;
  END_IF

  IF (*Seleciona Estacao 30*)
    GVL.g_STR_Software.Variable.xMemoriaEstacao2 THEN
      GVL.g_STR_Software.Variable.iEstacaoEntradaEstado:=40;
  END_IF

  IF (*Seleciona Estacao 40*)
    GVL.g_STR_Software.Variable.xMemoriaEstacao3 THEN
      GVL.g_STR_Software.Variable.iEstacaoEntradaEstado:=50;
  END_IF

  (*Se não houver memoria da ultima, seleciona primeira disponivel*)
  IF NOT GVL.g_STR_Software.Variable.xMemoriaEstacao1
    AND NOT GVL.g_STR_Software.Variable.xMemoriaEstacao2
    AND NOT GVL.g_STR_Software.Variable.xMemoriaEstacao3
    AND NOT GVL.g_STR_Software.Variable.xMemoriaEstacao4 THEN
    IF (*Seleciona Estacao 40*)
      GVL.g_STR_Clp.I.xSensorIndBandeja_4 THEN
        GVL.g_STR_Software.Variable.iEstacaoEntradaEstado:=50;
    END_IF
    IF (*Seleciona Estacao 30*)
      GVL.g_STR_Clp.I.xSensorIndBandeja_3 THEN
        GVL.g_STR_Software.Variable.iEstacaoEntradaEstado:=40;
    END_IF
    IF (*Seleciona Estacao 20*)
      GVL.g_STR_Clp.I.xSensorIndBandeja_2 THEN
        GVL.g_STR_Software.Variable.iEstacaoEntradaEstado:=30;
    END_IF
    IF (*Seleciona Estacao 10*)
      GVL.g_STR_Clp.I.xSensorIndBandeja_1 THEN
        GVL.g_STR_Software.Variable.iEstacaoEntradaEstado:=20;
    END_IF
  
```

Fonte: Autor

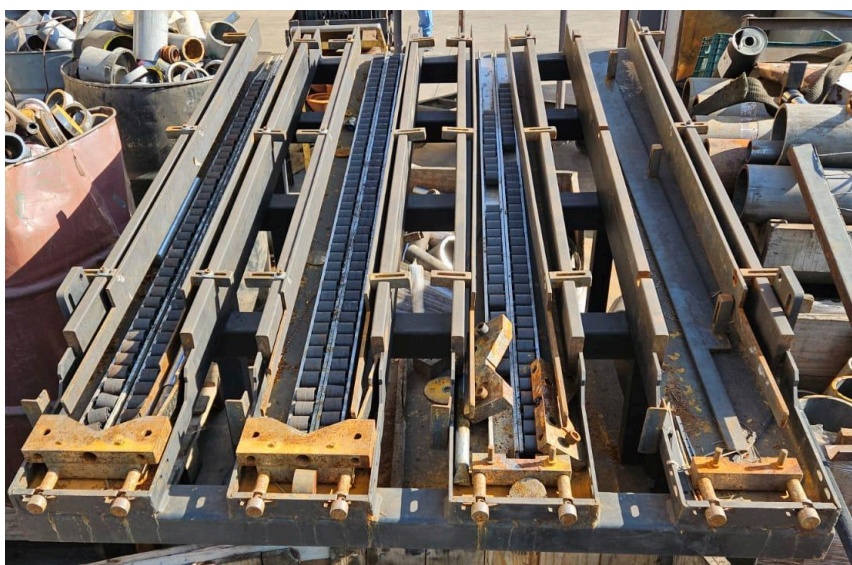
Logo, como demonstrado na figura 10, a variável EntradaEstacao se refere ao botão dedicado à seleção da esteira, disponível na IHM (demonstrado na figura 9) e a variável SensorBandeja refere-se ao sinal que o CLP recebe do periférico fixado no batente onde a peça fica aguardando ser coletada pelo manipulador, como demonstrado na figura 8.

3.3 MODIFICAÇÕES

Deste modo, após a identificação de todos esses problemas gerados pela forma de usinagem das peças, algumas modificações foram necessárias, incluindo a fabricação de uma nova esteira, fabricação do sistema de separação, adaptação do projeto elétrico, adaptação do sistema pneumático, alteração da IHM, desenvolvimento da lógica e da programação do sistema de separação, alteração no programa ponto-a-ponto(PTP) do robô.

Primeiramente foi desenvolvido uma esteira nova, visto que a anterior apresentava alguns pontos a serem melhorados. Como por exemplo, a quantidade de entradas na esteira, o comprimento delas, inclinação, batente sem regulagem e o mecanismo de deslize das peças, como apresentado na figura 11.

Figura 11 - Esteira antiga



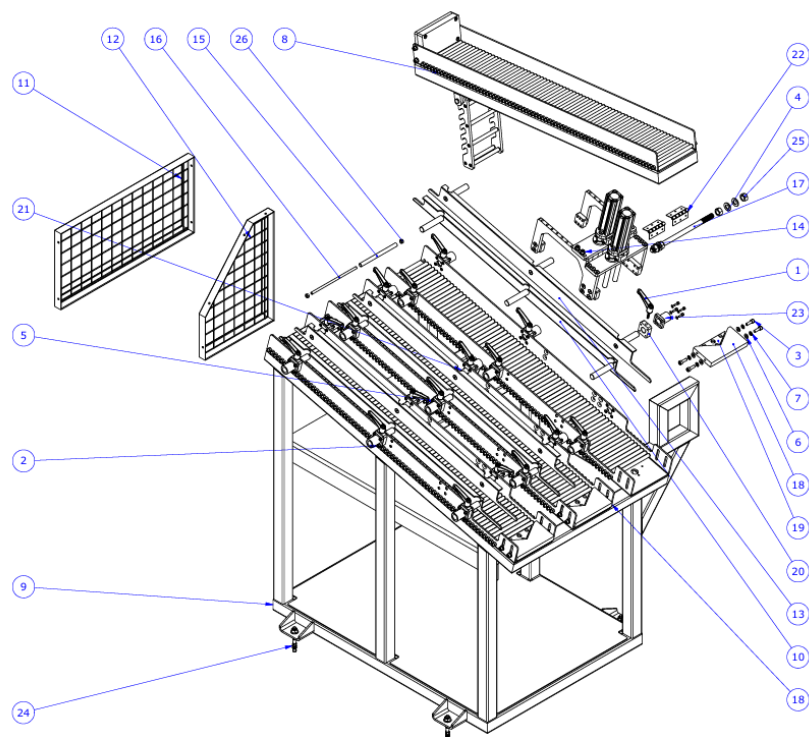
Fonte: Autor

Pode-se observar na figura 11 que na antiga esteira haviam 4 entradas de peças, das quais apenas três, as mais usadas, apresentam roletes de plástico. Devido ao peso das peças, os roletes quebravam ou então ficavam emperrados, acarretando em um não deslizar de peças. O tamanho das esteiras eram muito grandes, ao ponto de não conseguirem ser enchidas até o máximo possível, o que a tornava superdimensionada, consequentemente diminuía o espaço da célula, para quando o operador utilizasse o torno de modo manual. Juntamente a isso tem a angulação da esteira que por ser muito inclinada fazia com que as peças ganhassem muita velocidade e exercesse muita força na primeira peça, a qual era coletada pelo robô.

Juntamente a isso o batente, por não ter regulagem, era adaptado colocando mais um batente em cima para ficar operacionalmente melhor, devido ao mix de modelos de guias e êmbolos.

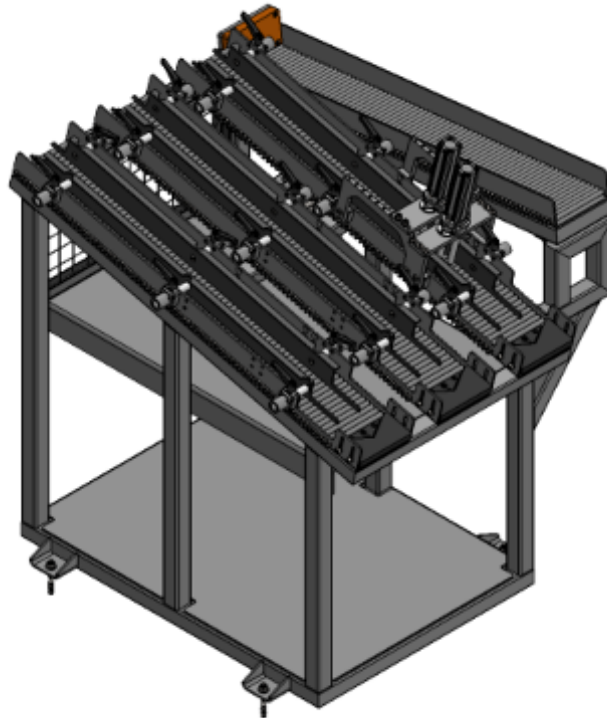
Assim sendo necessário o desenvolvimento de uma nova esteira. O projeto foi desenvolvido por meio do software SolidWorks. Como representado nas figuras 12, 13.

Figura 12 - Projeto esteira



Fonte: Autor

Figura 13 - Projeto esteira nova



Fonte: Autor

Diferentemente da esteira antiga, figura 11, a versão nova é menor em comprimento, apresenta apenas três entradas de peça e um sistema de separação, e suporte para implementação de mais separadores nas outras duas esteiras. Como pode ser observado o batente agora tem regulagem de altura, os roletes são de metal. Como demonstrado na figura 14. Para a instalação da esteira foi necessário usar 4 parafusos parabolt, fixados nas quatro extremidades.

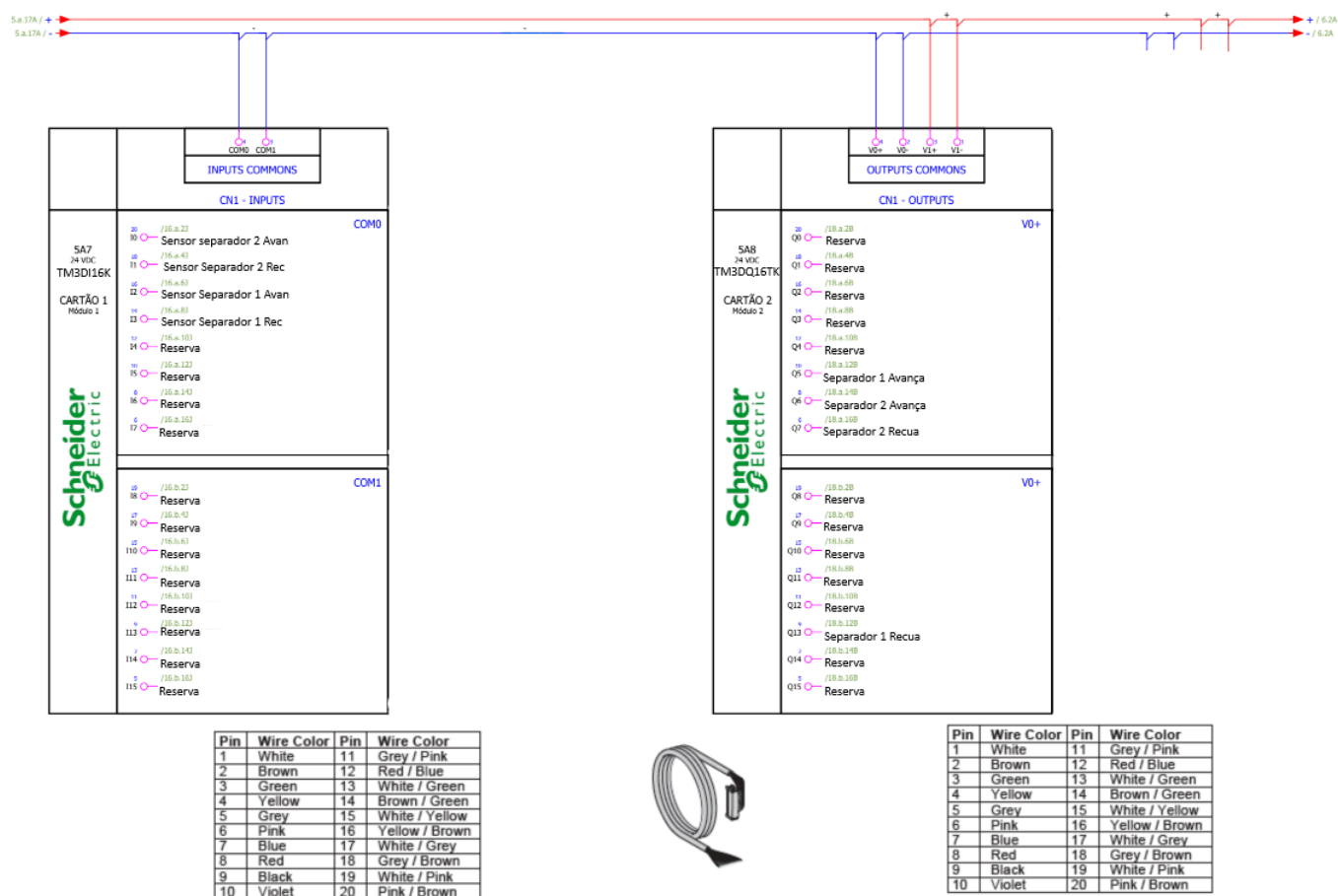
Figura 14 - Esteira montada



Fonte: Autor

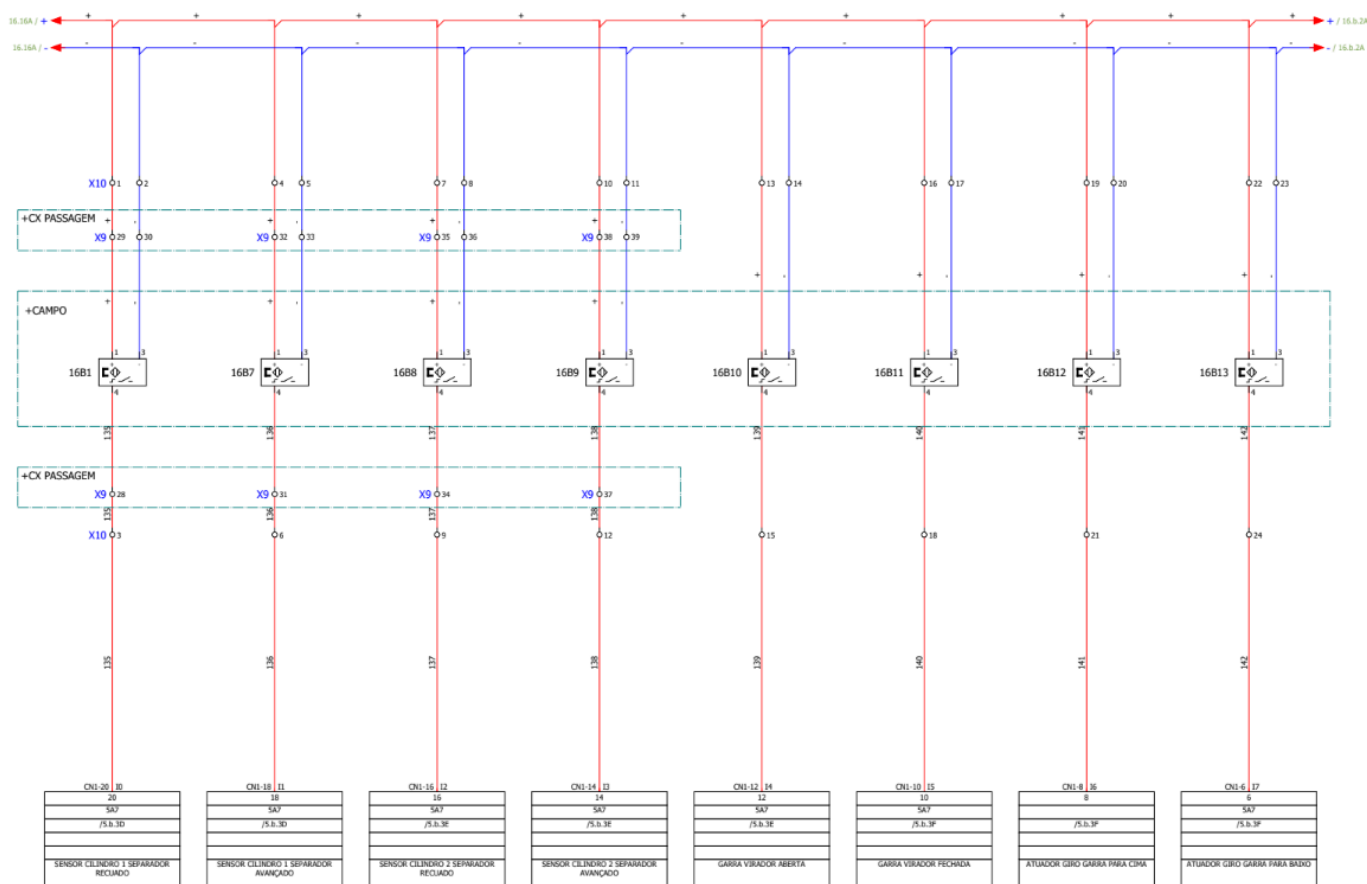
Entretanto foi necessário fazer uma adaptação do projeto elétrico da célula para contemplar a alteração da esteira com os novos sensores, solenóides e atuadores. Para o desenvolvimento foi utilizado o software EPLAN Electric P8. Na alteração consta os cartões de expansão, sensores dos atuadores, relés e o acionamento elétrico das válvulas pneumáticas. Como demonstrado nas figuras 15, 16, 17, 18, 19.

Figura 15 - Módulos de expansão



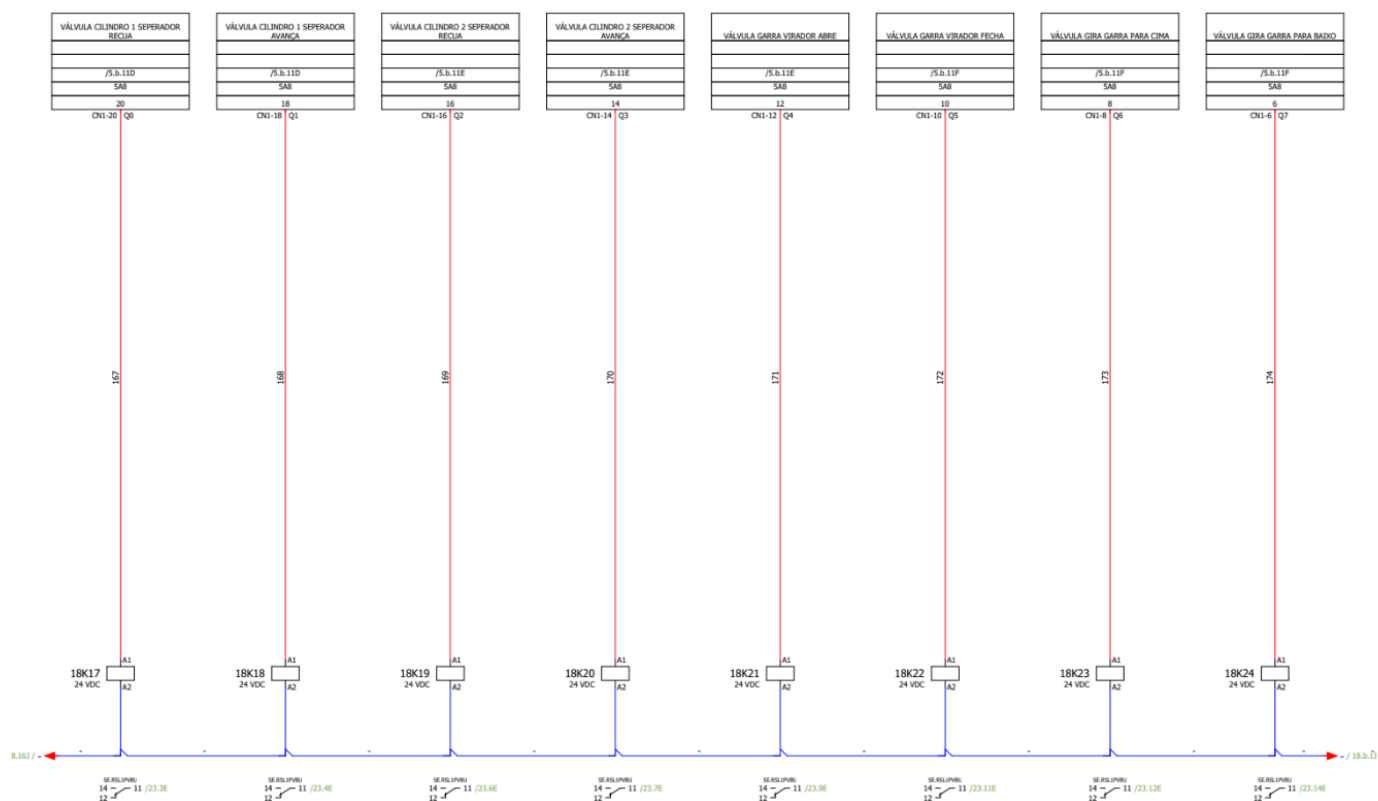
Fonte: Autor

Figura 16 - Sensor magnético SMC



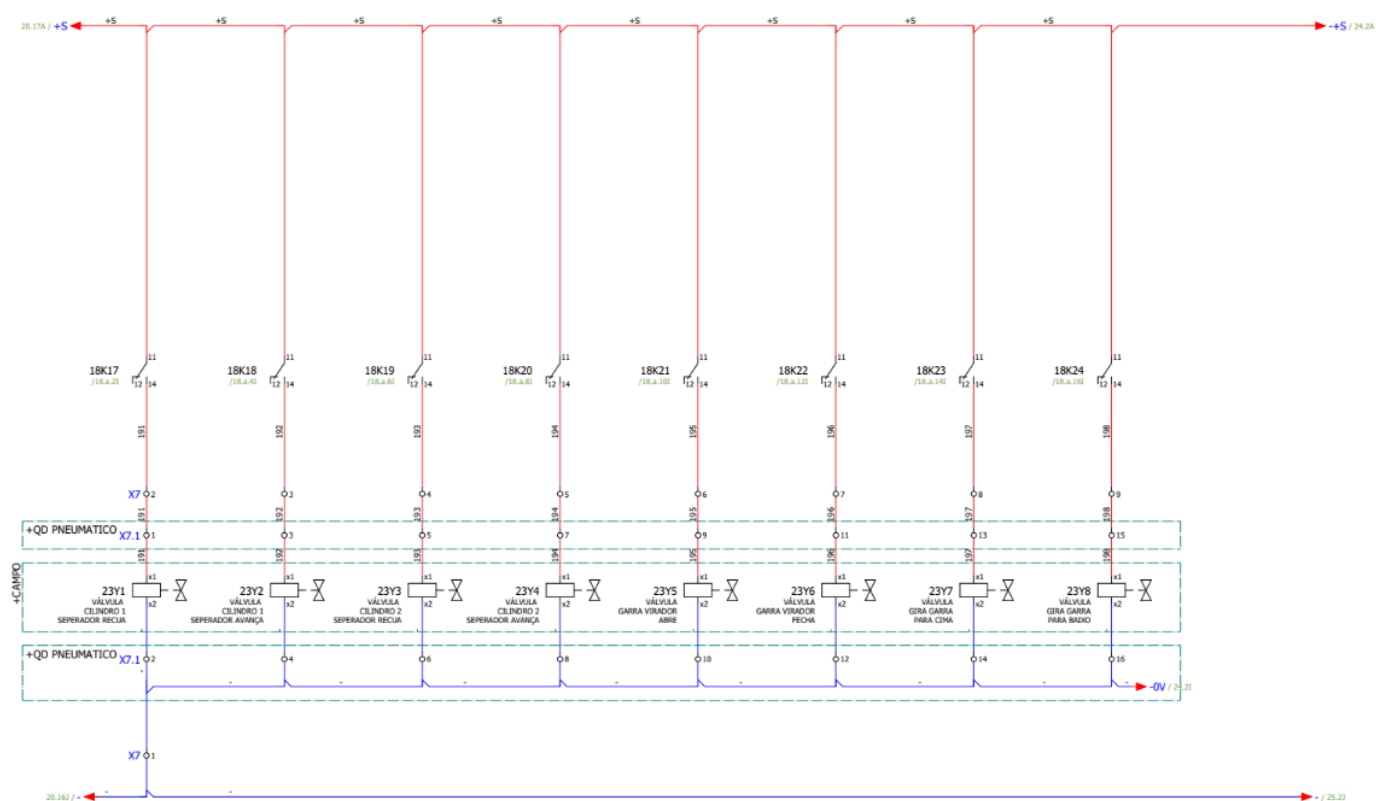
Fonte: Autor

Figura 17 - acionamento do CLP para relé do acionamento pneumático



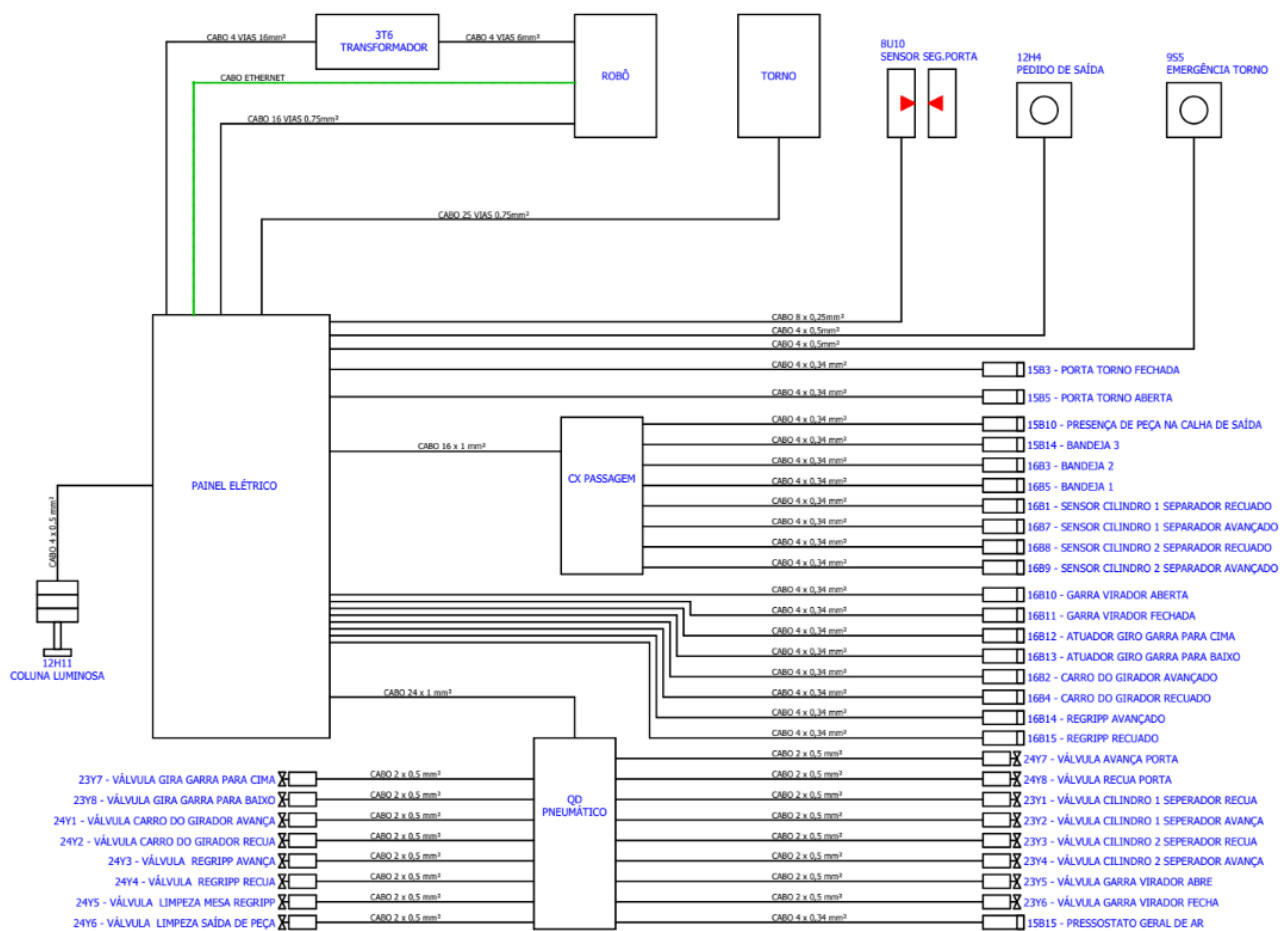
Fonte: Autor

Figura 18 - Acionamento do relé para a válvula pneumática



Fonte: Autor

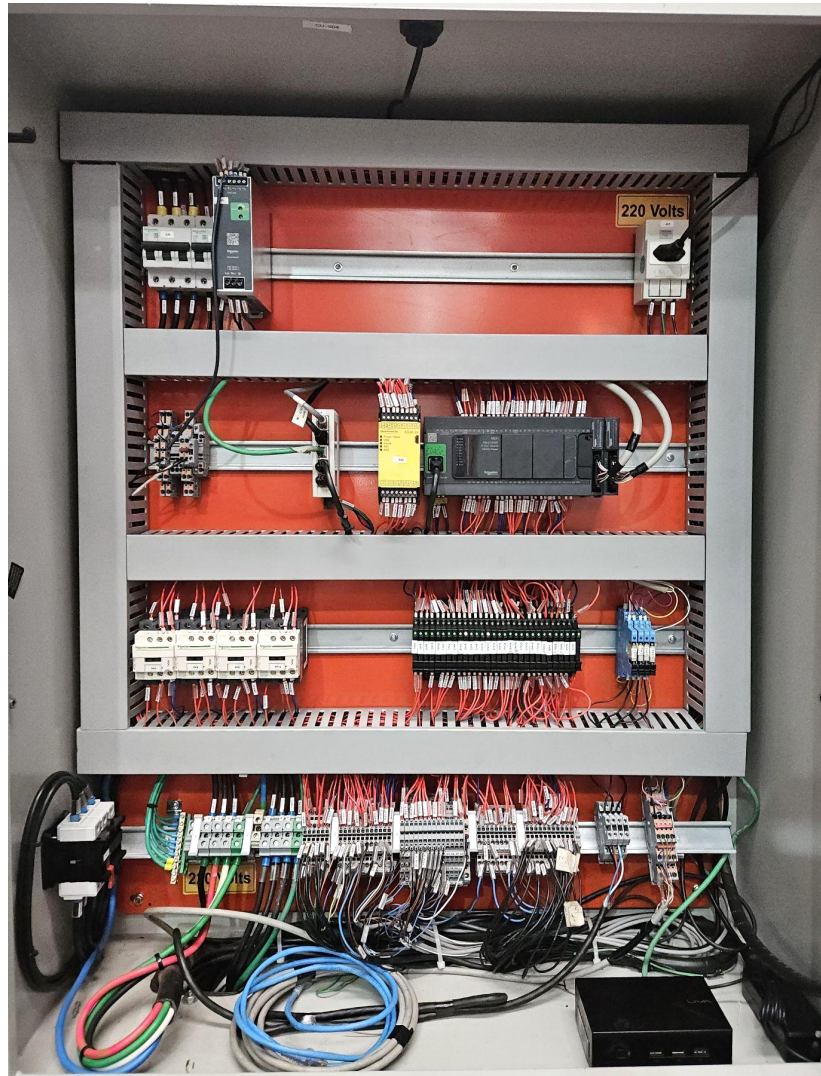
Figura 19 - Esquema geral do painel



Fonte: Autor

Posteriormente a isso, foi feita a instalação elétrica do painel. Foi anexado os módulos de expansão ao CLP, depois foi feita a distribuição do cabo pelo painel, de forma que minimize o gasto com o cabo, foi feita a instalação dos relés, bornes de passagem para os sensores e para o acionamento do atuador. Como demonstrado na figura 20.

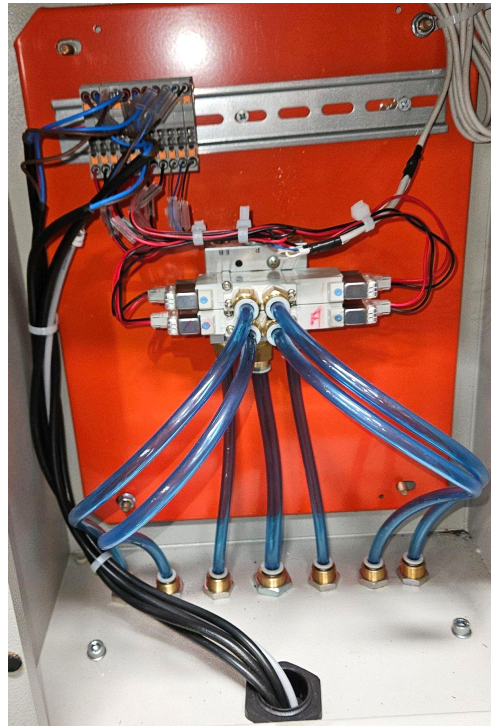
Figura 20 - Painelelétrico montado



Fonte: Autor

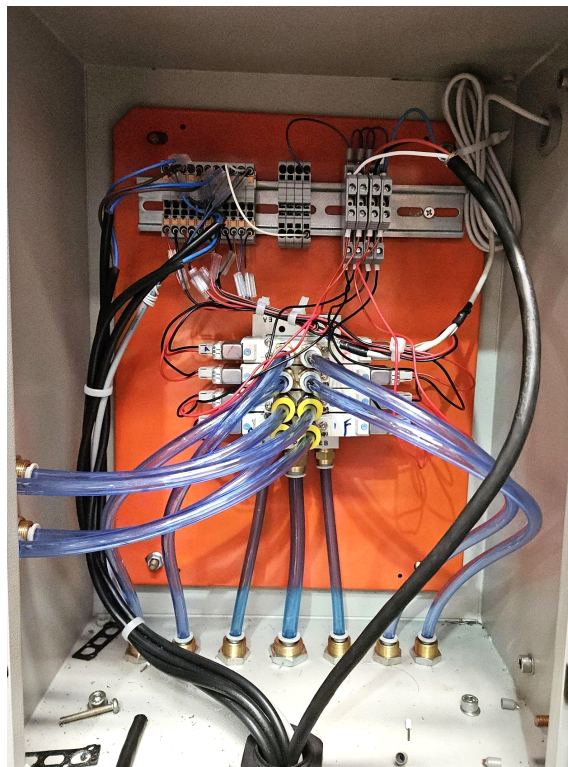
Ademais, foi feita a instalação pneumática do painel e da alteração na célula, sensores e atuadores. Foi substituído o manifold para um capaz de suportar quatro válvulas pneumáticas, subsequente a isso foi necessário instalar duas válvulas direcionais, conseqüentemente a instalação do sistema de tubos poliuretano e por final a instalação do atuador pneumático com os sensores magnéticos. como demonstrado nas figuras 21, 22, 23, 24.

Figura 21 - Pannel pneumático antigo



Fonte: Autor

Figura 22 - Instalação do manifold, válvulas direcionais e tubos.



Fonte: Autor

Figura 23 - Tubo poliuretano e cabos do sensor magnético.



Fonte: Autor

Figura 24 - Atuador pneumático e sensor magnético instalados.

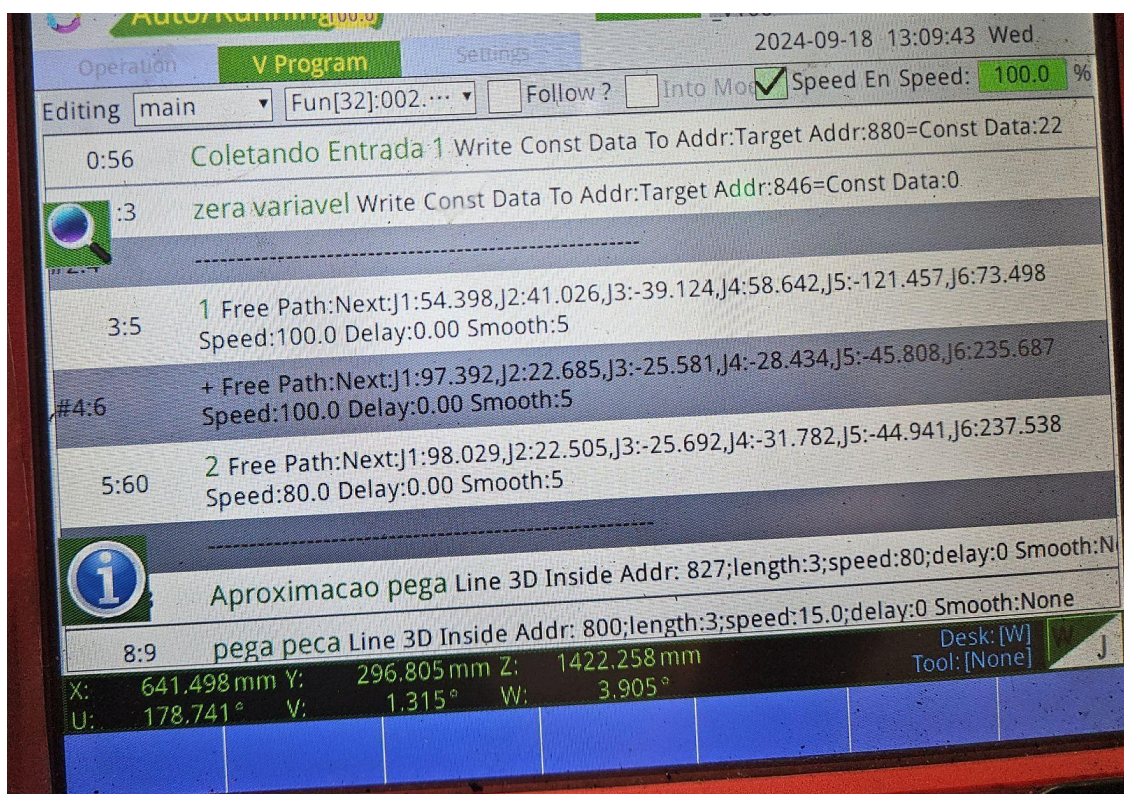


Fonte: Autor

Posteriormente as alterações e implementações, foi necessário fazer novos programas para o controle do CLP como para o movimento do robô (PTP). Visto que, anteriormente não contemplavam o sistema de separação de peças e a esteira continha quatro entradas.

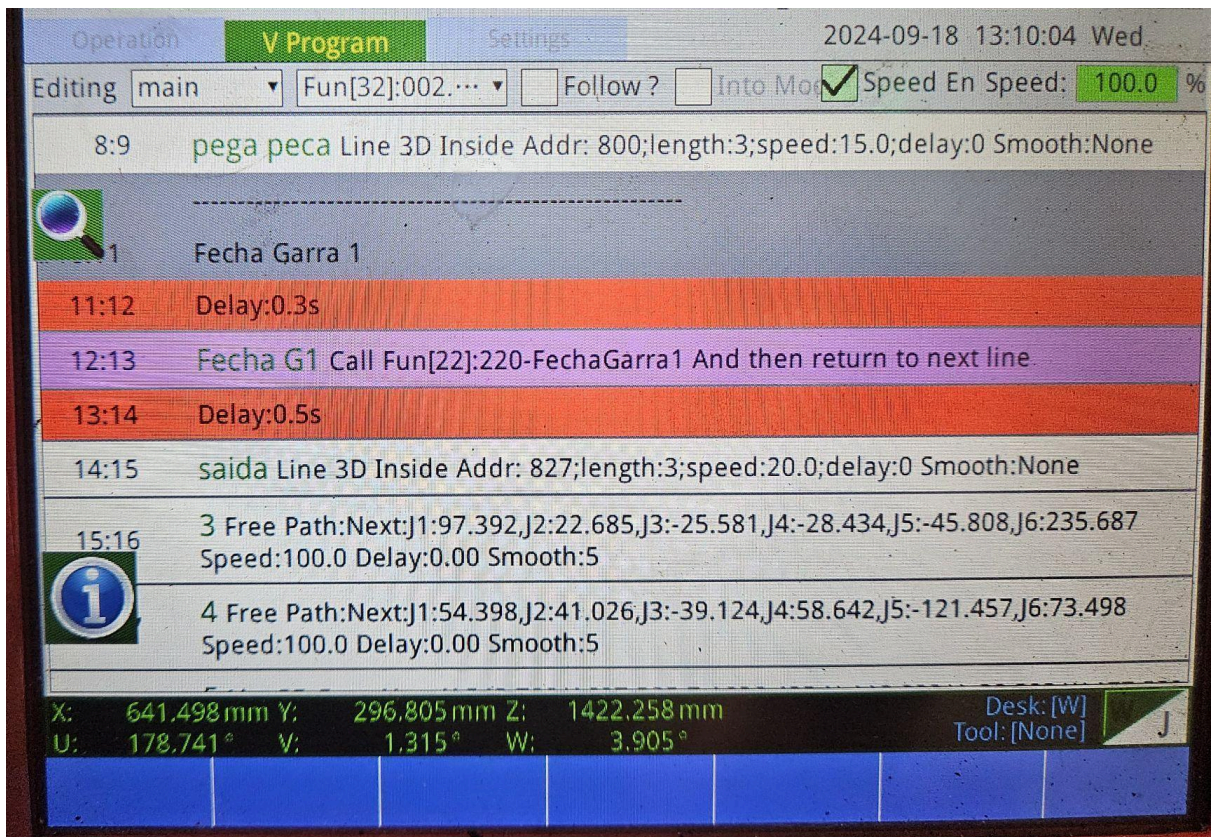
Para que fosse possível foi necessário fazer a programação de movimentação (Point-To-Point) para os novos pontos na esteira. Como demonstrado nas figuras 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34.

Figura 25 - Código PTP robô



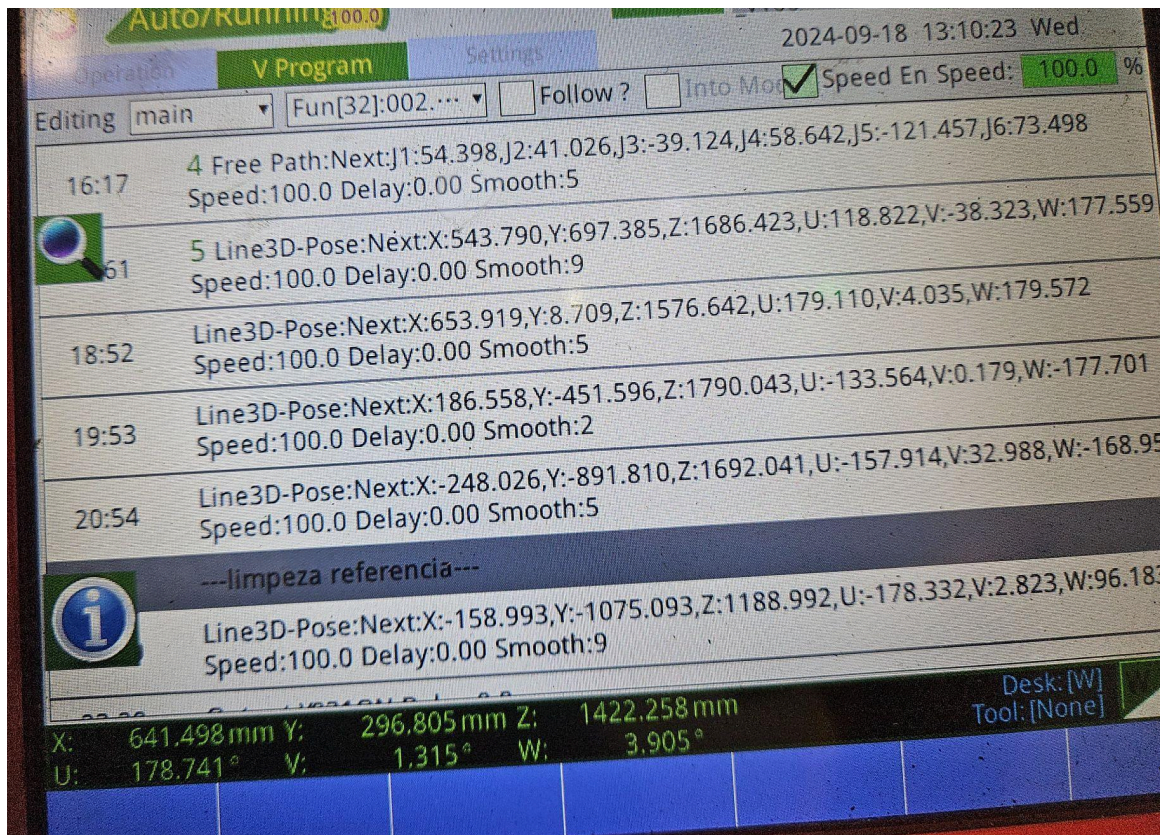
Fonte: Autor

Figura 26 - Código PTP robô



Fonte: Autor

Figura 27 - Código PTP robô



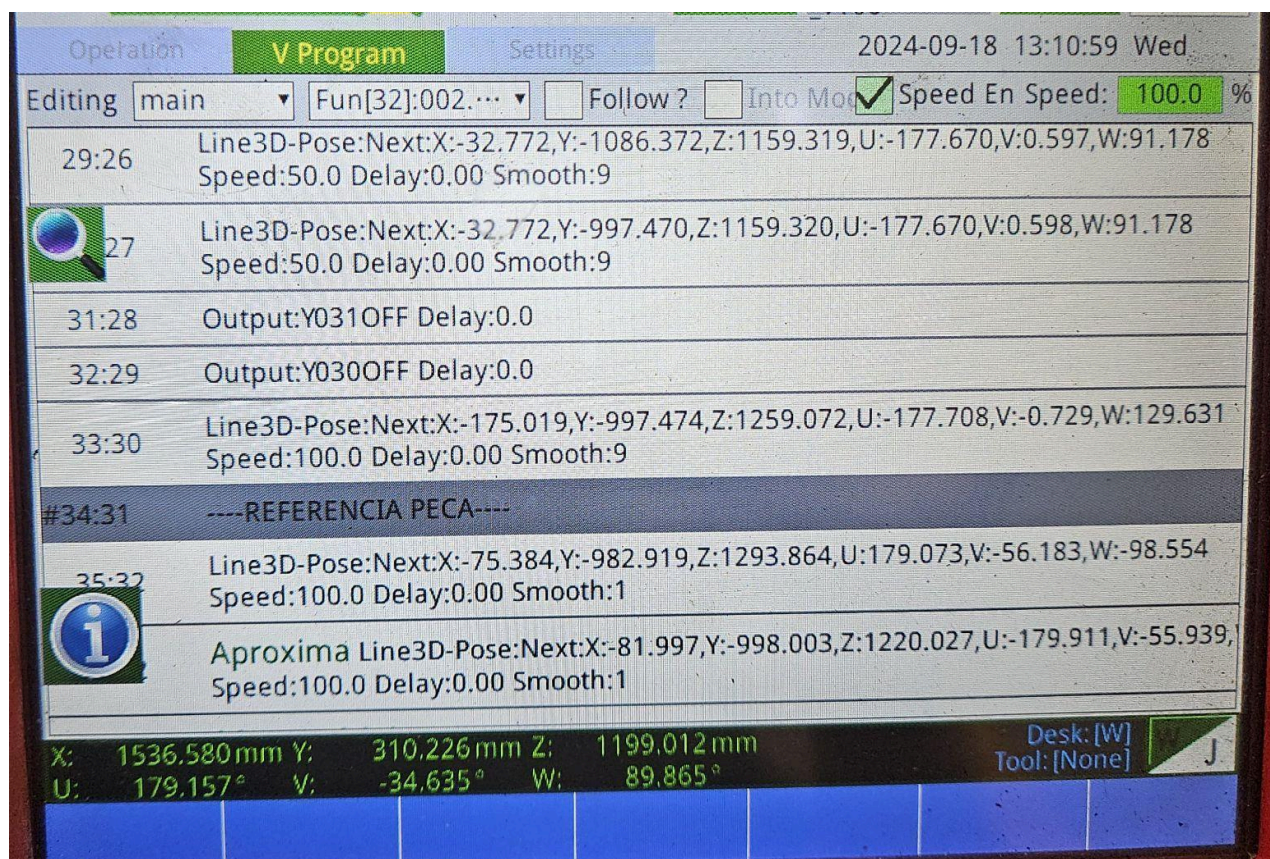
Fonte: Autor

Figura 28 - Código PTP robô

Operation		V Program	Settings		2024-09-18 13:10:42 Wed	
Editing	main	Fun[32]:002....	Follow ?	Into Mod	Speed En Speed:	100.0 %
22:19	Line3D-Pose:Next:X:-158.993,Y:-1075.093,Z:1188.992,U:-178.332,V:2.823,W:96.183 Speed:100.0 Delay:0.00 Smooth:9					
20	Output:Y031ON Delay:0.0					
24:21	Output:Y030ON Delay:0.0					
25:22	Line3D-Pose:Next:X:-153.768,Y:-1085.921,Z:1159.319,U:-177.670,V:0.597,W:91.178 Speed:50.0 Delay:0.00 Smooth:9					
26:23	Line3D-Pose:Next:X:-153.768,Y:-979.671,Z:1159.321,U:-177.670,V:0.598,W:91.178 Speed:50.0 Delay:0.00 Smooth:9					
27:24	Line3D-Pose:Next:X:-97.920,Y:-979.670,Z:1159.320,U:-177.670,V:0.598,W:91.178 Speed:50.0 Delay:0.00 Smooth:9					
	Line3D-Pose:Next:X:-97.919,Y:-1086.373,Z:1159.322,U:-177.670,V:0.598,W:91.178 Speed:50.0 Delay:0.00 Smooth:9					
29:26	Line3D-Pose:Next:X:-32.772,Y:-1086.372,Z:1159.319,U:-177.670,V:0.597,W:91.178 Speed:50.0 Delay:0.00 Smooth:9					
X: 641.498mm Y: 296.805mm Z: 1422.258mm		Desk: [W]		J		
U: 178.741° V: 1.315° W: 3.905°		Tool: [None]				

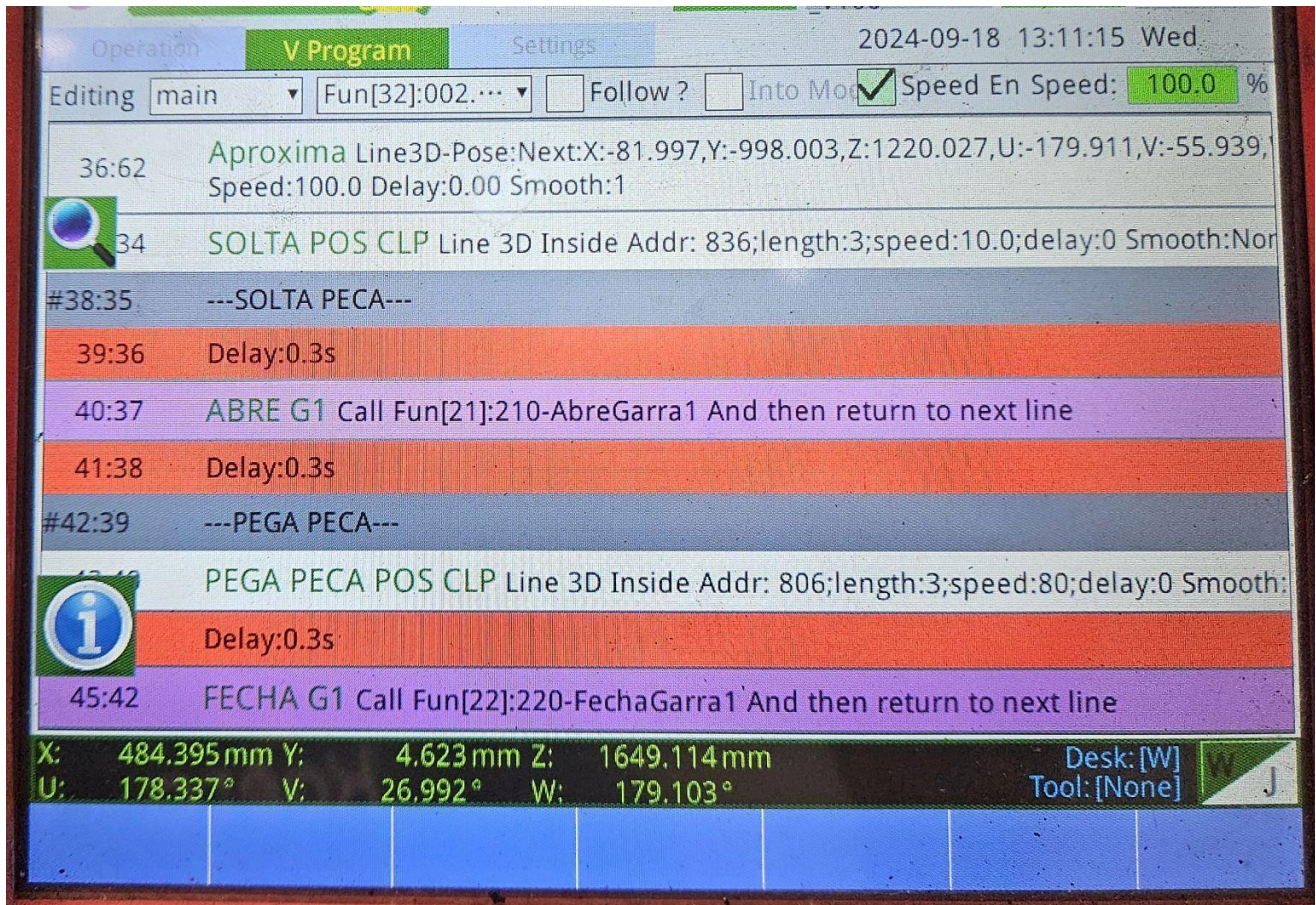
Fonte: Autor

Figura 29 - Código PTP robô



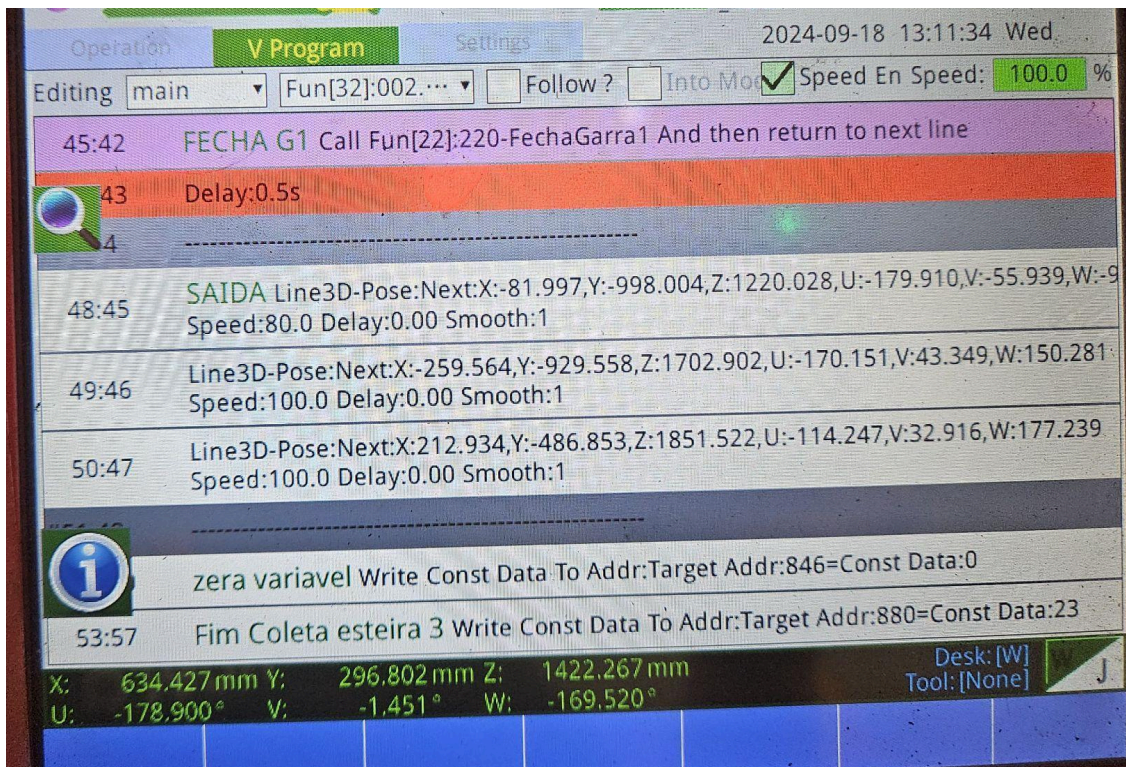
Fonte: Autor

Figura 30 - Código PTP robô



Fonte: Autor

Figura 31 - Código PTP robô



Fonte: Autor

Figura 32 - Ponto coleta na esteira 1



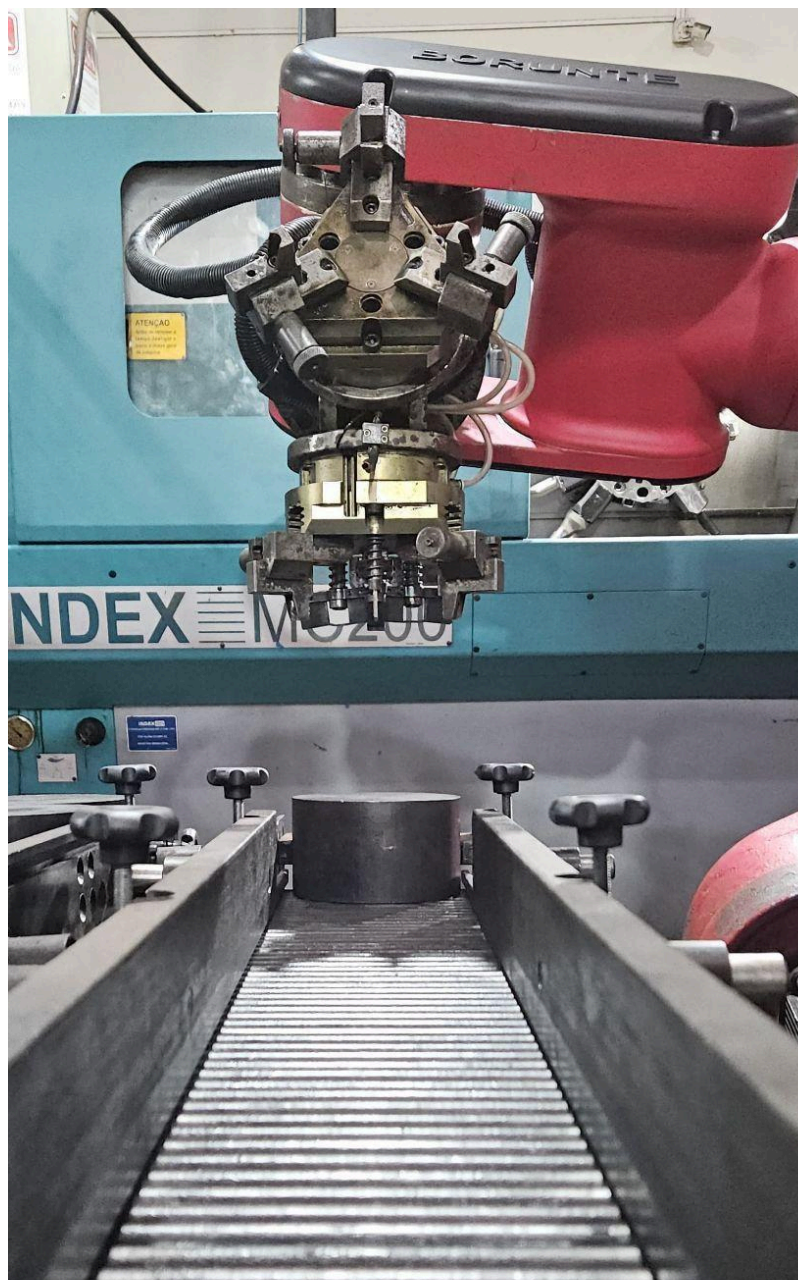
Fonte: Autor

Figura 33 - Ponto coleta na esteira 2



Fonte: Autor

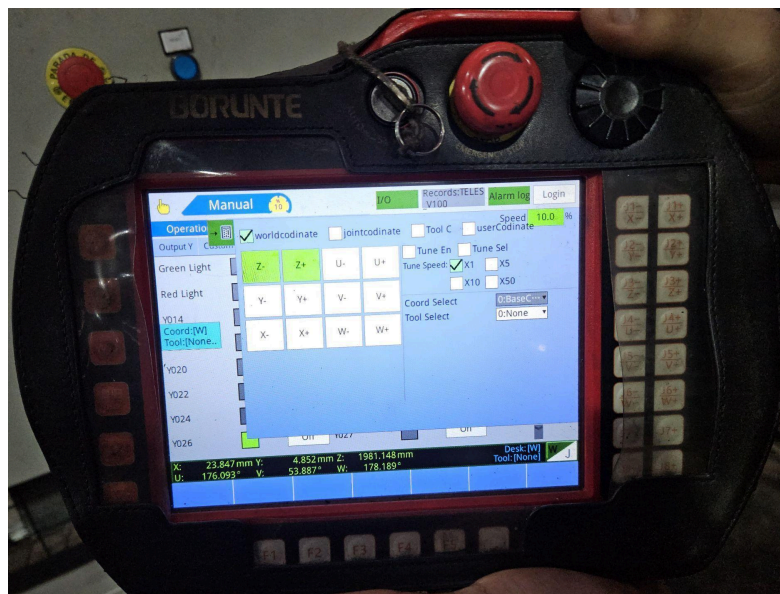
Figura 34 - Ponto coleta na esteira 3



Fonte: Autor

Para que tenha sido possível fazer a mudança dos pontos foi utilizado o controle Teaching Pendant (TP), demonstrado na figura 35, para a gravação dos novos pontos de movimentação do robô. O software que roda dentro do TP não foi especificado pelo fabricante, porém foi informado que roda a linguagem C e JavaScript.json.

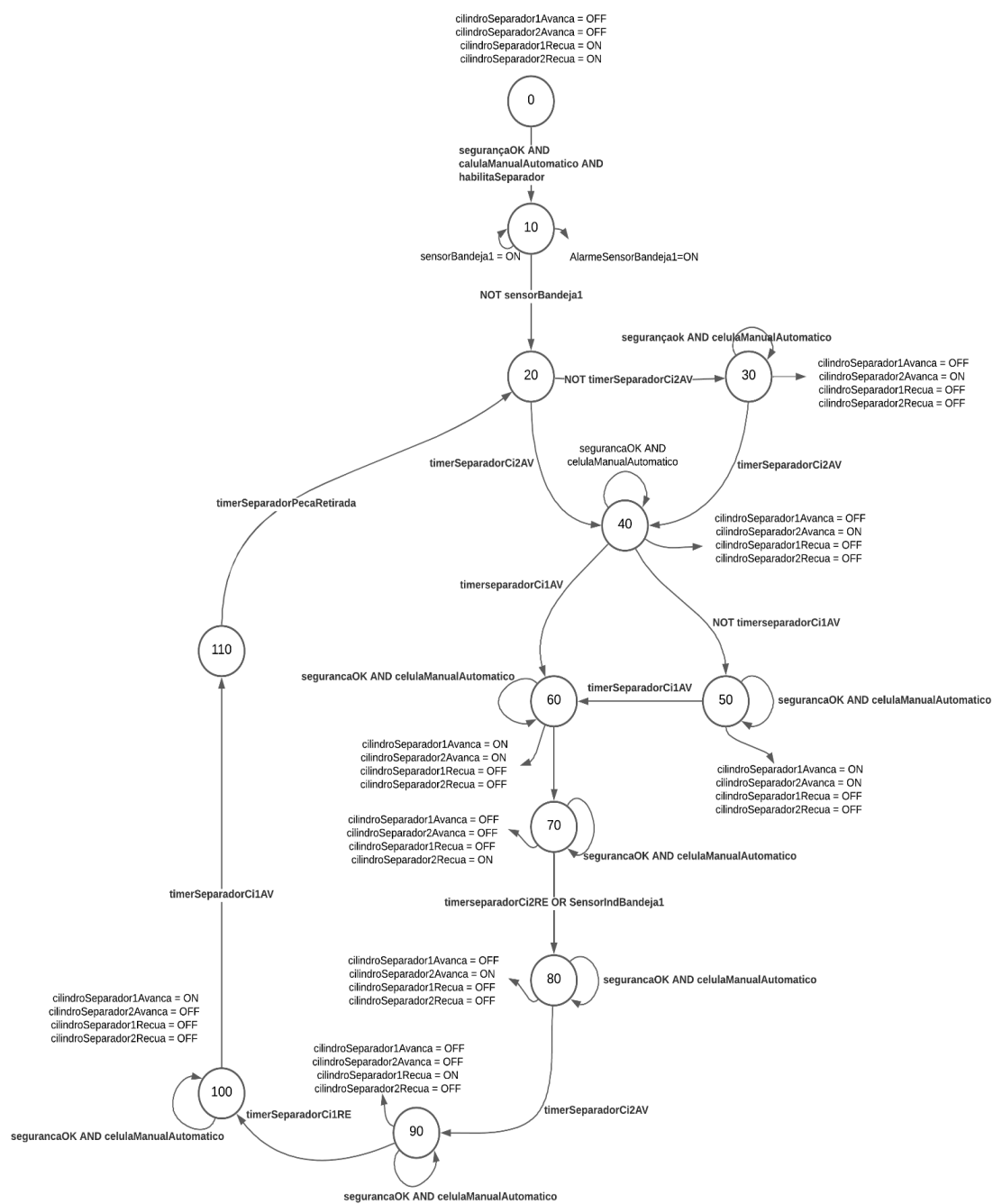
Figura 35 - Teaching Pendant (TP)



Fonte: Autor

Juntamente a isso, foi necessário a alteração do programa do CLP para que pudesse contemplar o sistema de separação de peças. Primeiramente foi desenvolvido um fluxograma, por meio do Software Lucid, demonstrado na figura 36, posteriormente a isso foi feita a adição ao programa CLP, por meio do Software Machine Expert V2.0 (Schneider), demonstrado nas figuras 37 e 38, e por último as telas na IHM, desenvolvido por meio do software Vijeo Designer (Schneider), demonstrado nas figuras 39, 40, 41, 42, 43, 44.

Figura 36 - Fluxograma



Fonte: Autor

Figura 37 - Programa clp esteira

```
//-----  
120: //COLETA NA ENTRADA G1  
IF NOT GVL.g_STR_Software.Q.xSolicitaParada THEN  
    GVL.g_STR_Software.Variable.sStatusRobo:='Aguarda p/ Coletar na Entrada';  
    IF GVL.g_STR_Software.Q.xSolicitaColetaEntrada THEN  
        GVL.g_STR_Software.Variable.sStatusRobo:='Coletando na Entrada';  
        IF diLeituraDoRobo_Status <> 20 AND diLeituraDoRobo_Status <>21 AND diLeituraDoRobo_Status <>22 AND diLeituraDoRobo_Status <>23 THEN  
            IF GVL.g_STR_Software.Variable.iAuxSelecionaEstacao=1 THEN  
                diEcritaNoRobo_Acao:=22;  
            ELSE  
                diEcritaNoRobo_Acao:=20;  
            END_IF;  
        END_IF;  
    END_IF;  
END_IF  
IF diLeituraDoRobo_Status=20 OR diLeituraDoRobo_Status=22 THEN  
    diEcritaNoRobo_Acao:=0;  
ELSIF diLeituraDoRobo_Status=21 OR diLeituraDoRobo_Status=23 THEN  
    diEcritaNoRobo_Acao:=0;  
    iAutomatico:=210;  
END_IF
```

Fonte: Autor

Figura 38 - Programa clp separador

```

10:// CICLO DO SEPARADOR - Verifica se a a bandeja 1 está acionada

    IF GVL.g_STR_Clp.I.xSensorIndBandeja_1 THEN
        GVL.g_STR_Software.Variable.xAlarme_Sensor_Bandeja_1 :=TRUE;
    END_IF
    IF NOT GVL.g_STR_Clp.I.xSensorIndBandeja_1 THEN
        GVL.g_STR_Software.Variable.xAlarme_Sensor_Bandeja_1 :=FALSE;
        GVL.g_STR_Software.Variable.iSeparador_Esteira_1 := 20;
    END_IF

20: // CICLO DO SEPARADOR - Teste / Avança Separador 1&2
    //Separador 2 Avancado?

    IF NOT GVL.g_STR_Software.Variable.tSeparador_Ci2_AV.Q THEN
        GVL.g_STR_Software.Variable.iSeparador_Esteira_1 := 30; //NAO
    END_IF
    IF GVL.g_STR_Software.Variable.tSeparador_Ci2_AV.Q THEN
        GVL.g_STR_Software.Variable.iSeparador_Esteira_1 := 40; //SIM
    END_IF

30: //CICLO DO SEPARADOR - Avanca Separador 2

    IF GVL.g_STR_Software.Variable.xSegurancaOK AND GVL.g_STR_Software.Variable.xCelulaManualAutomatico THEN
        GVL.g_STR_Clp.Q.xCilindroSeparador1Avanca := FALSE;
        GVL.g_STR_Clp.Q.xCilindroSeparador2Avanca := TRUE;
        GVL.g_STR_Clp.Q.xCilindroSeparador1Recua := FALSE;
        GVL.g_STR_Clp.Q.xCilindroSeparador2Recua := FALSE;
    END_IF
    //Aguarda Separador 2 Avancar

    IF GVL.g_STR_Software.Variable.tSeparador_Ci2_AV.Q THEN
        GVL.g_STR_Software.Variable.iSeparador_Esteira_1 := 40;
    END_IF

40: //CICLO DO SEPARADOR - Separador 1 Avancado?

    IF GVL.g_STR_Software.Variable.xSegurancaOK AND GVL.g_STR_Software.Variable.xCelulaManualAutomatico THEN
        GVL.g_STR_Clp.Q.xCilindroSeparador1Avanca := FALSE;
        GVL.g_STR_Clp.Q.xCilindroSeparador2Avanca := TRUE;
        GVL.g_STR_Clp.Q.xCilindroSeparador1Recua := FALSE;
        GVL.g_STR_Clp.Q.xCilindroSeparador2Recua := FALSE;
    END_IF

    //Separador 1 Avancado?

    IF NOT GVL.g_STR_Software.Variable.tSeparador_Cil_AV.Q THEN
        GVL.g_STR_Software.Variable.iSeparador_Esteira_1 := 50; //NÃO
    END_IF
    IF GVL.g_STR_Software.Variable.tSeparador_Cil_AV.Q THEN
        GVL.g_STR_Software.Variable.iSeparador_Esteira_1 := 60; //SIM
    END_IF

```

Fonte: Autor

Figura 39 - Tela principal



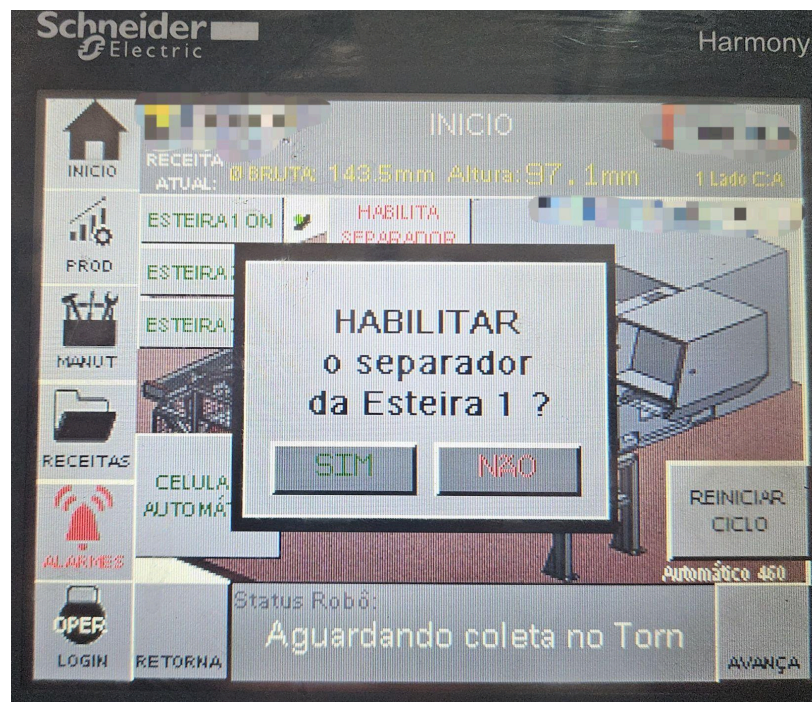
Fonte: Autor

Figura 40 - Tela principal com seleção do separador



Fonte: Autor

Figura 41 - Tela pop-up validação separador (on)



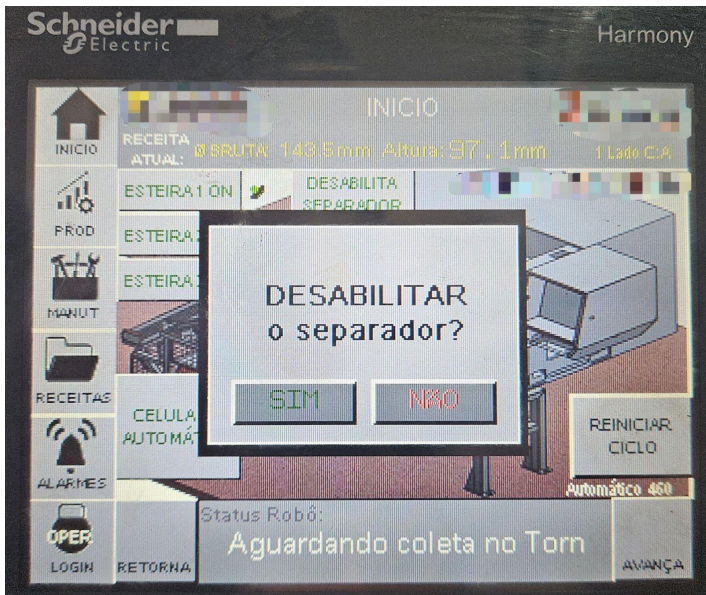
Fonte: Autor

Figura 42 - Tela principal separador habilitado



Fonte: Autor

Figura 43 - Tela pop-up validação separador (off)



Fonte: Autor

Figura 44 - Tela de controle manual dos atuadores para setup.



Fonte: Autor

3.4 ANÁLISE DE DADOS

Visando tornar o projeto viável, devido ao custo de produção alto, foram feitas algumas análises, como quantidade de refugo ocorrido pela máquina, quantificando e precificando esses valores, horas trabalhadas com o robô . Com finalidade de averiguar a amortização do preço de implementação com os ganhos obtidos após a instalação.

Para a coleta de dados de produção e refugo do torno, é utilizado o sistema SYNECO. Que coleta informações do torno, mandam para um banco de dados e depois mostram em um dashboard o OEE de cada máquina, os sinais coletados são de produção e máquina em funcionamento. A partir do sistema deles, foi possível analisar algumas informações, como a qualidade de guias roscadas produzidas na máquina integrada ao robô, cadastradas no sistema por meio dos líderes do setor de qualidade da Empresa Real X. A amostragem foi feita um ano antes da implementação e um ano após a implementação, com a finalidade de comparar a produção de sucata, como demonstrado na tabela 2 e 3.

Tabela 2 - Antes da implementação

01/04/22 a 01/04/23	Qtde. Total	Qtde. Sucata
Peças	10.718	400

Fonte: Autor

Tabela 3 - Após a implementação

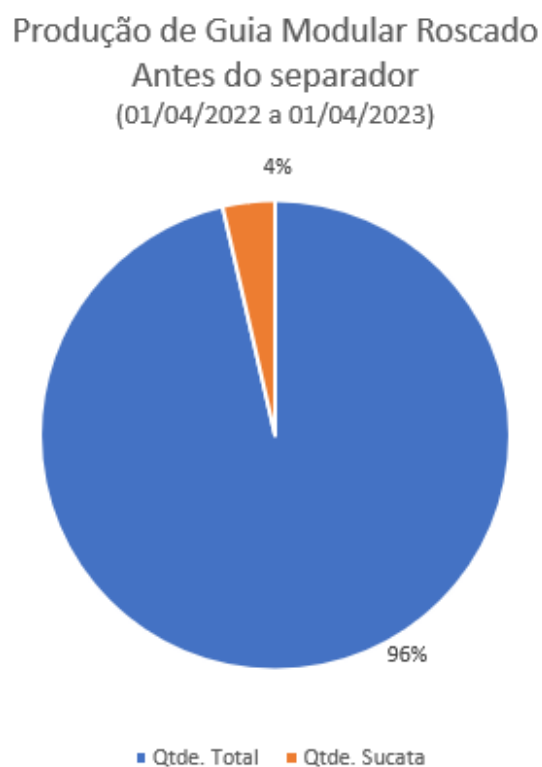
01/04/23 a 01/04/24	Qtde. Total	Qtde. Sucata
Peças	5.242	97

Fonte: Autor

Como observado, na amostragem do ano de 2022 a 2023 teve-se a produção total de 10.718 guias roscados, aos quais 400 foram reprovados pela qualidade devido a avaria na rosca, o que representa 3,73% da produção. Já na amostragem do ano seguinte, houve a redução do número de guias roscadas produzidas para 5.242, porém houve uma redução significativa na quantidade de sucata gerado para 97, o que representa 1,85%. Consequentemente uma redução de 1,88% em relação a quantidade de refugo. Representado por meio de gráficos, a

produção e sucata das amostragens de antes da implementação e depois da implementação, demonstrados nas figuras 45 e 46.

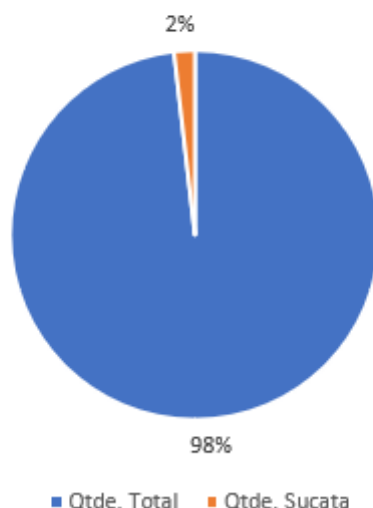
Figura 45 - Gráfico antes da implementação



Fonte: Autor

Figura 46 - Gráfico depois da implementação

Produção de Guia Modular Roscado
Depois do separador
(01/04/2023 a 01/04/2024)



Fonte: Autor

Tabela 4 - Precificação do refugo

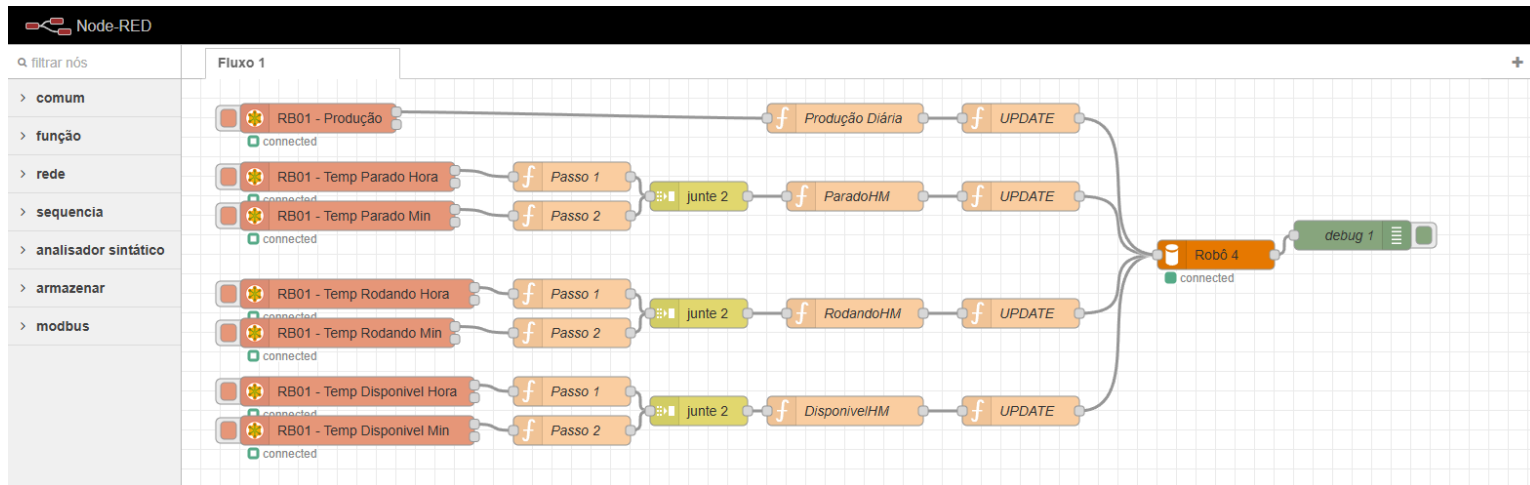
Preço médio guia	Antes	Depois
R\$ 18,25	400	97
	R\$ 7.300,00	R\$ 1.770,25

Fonte: Autor

Como representado na tabela 4, antes da implementação do separador era gerado R\$7.300,00 em refugo e após a instalação gerou apenas R\$1.770,25 em sucata. Porém, com o reprocesso esses valores subiriam para R\$14.600,00 e R\$3.540,50, uma vez que a empresa teria o custo de cortar um novo material e reproduzir, o que representa um saldo positivo de R\$11.059,50.

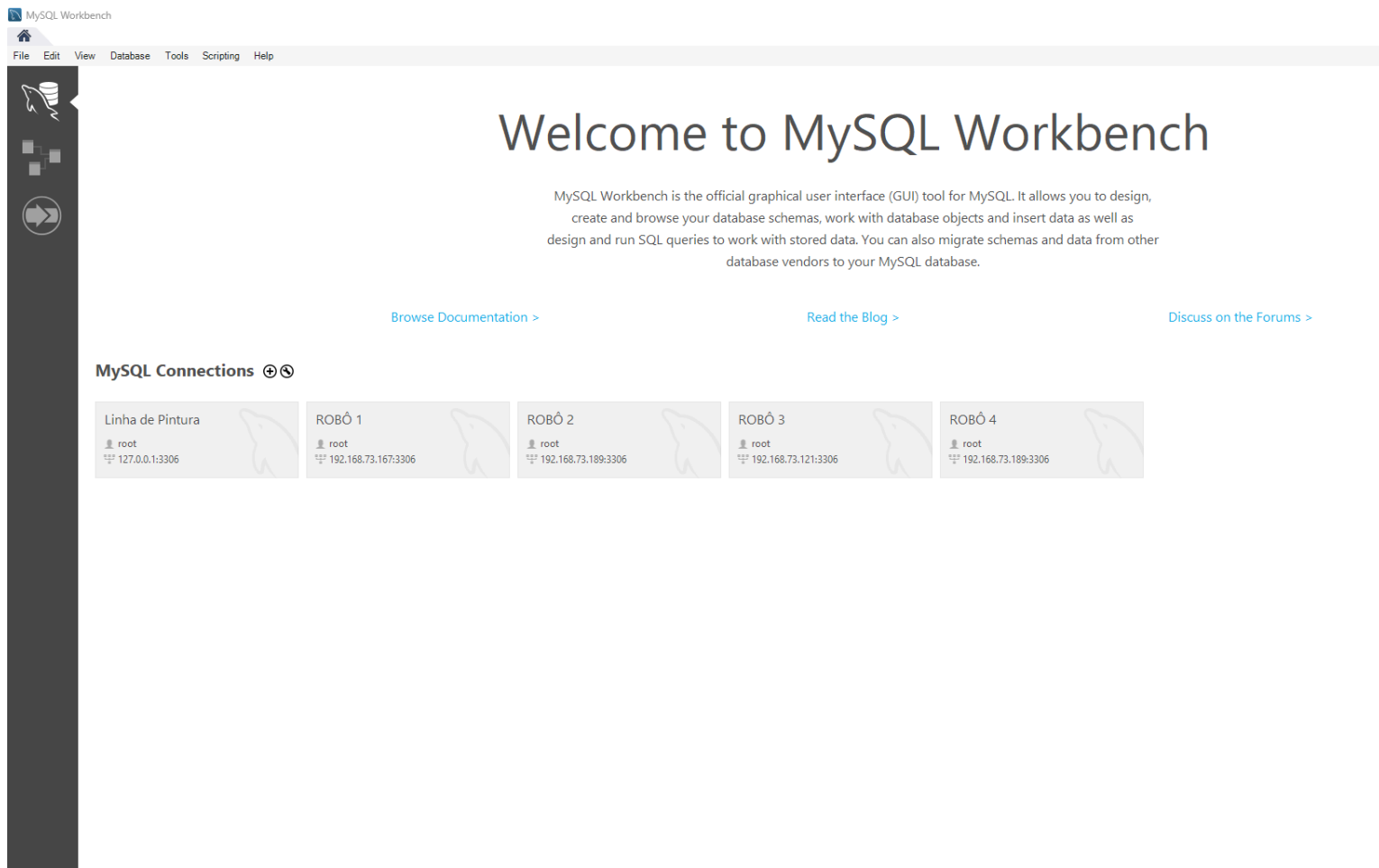
Para a análise do tempo de uso do robô, foi desenvolvido um sistema de supervisão que capta a quantidade, em horas, de operação do manipulador e a quantidade produzida. Para que isso fosse possível foi utilizado uma ferramenta chamada Node-Red que fez a comunicação, modbus, com o CLP trata as informações e manda para o banco de dados MySQL e que após isso era demonstrado em um dashboard utilizando o software Grafana. Como demonstrado nas figuras 47, 48, 49, 50.

Figura 47 - Node-Red



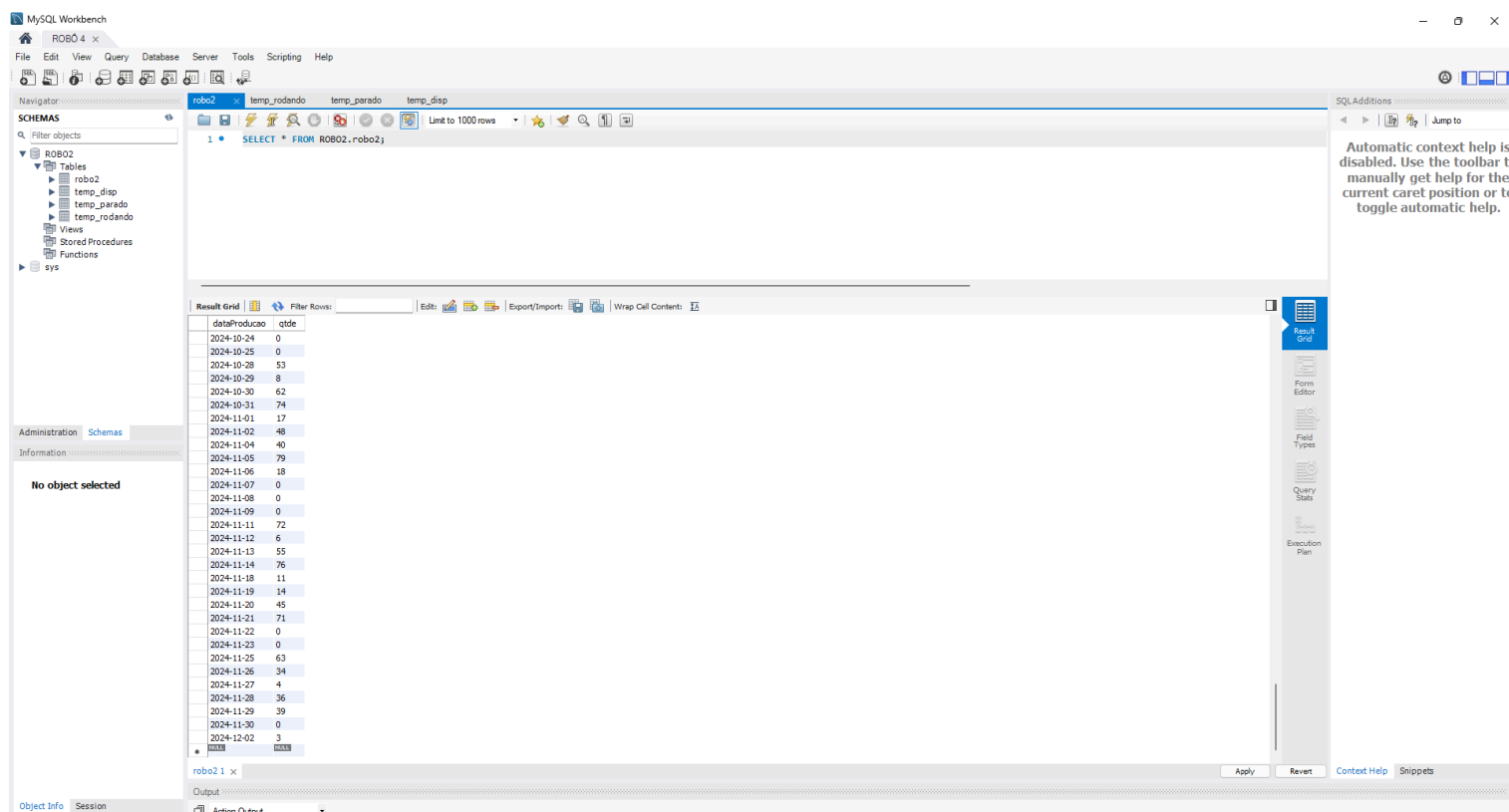
Fonte: Autor

Figura 48 - MySQL



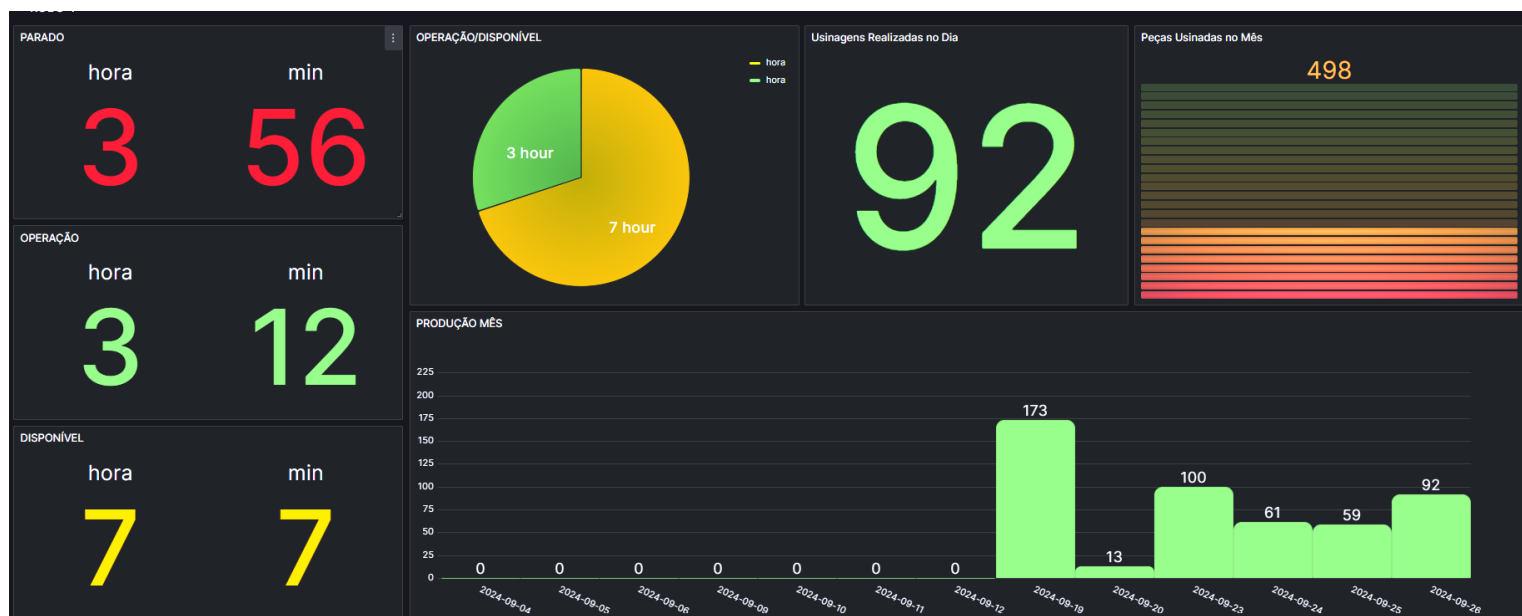
Fonte: Autor

Figura 49 - MySQL Produção



Fonte: Autor

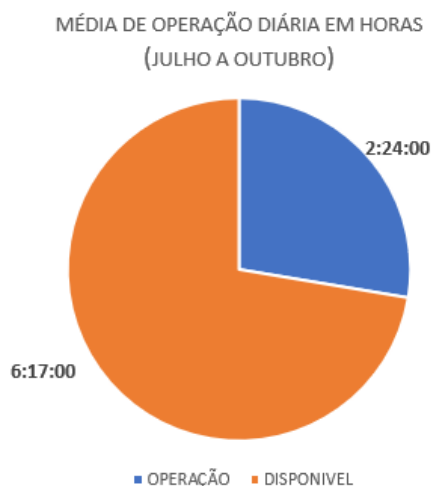
Figura 50 - Dashboard Grafana



Fonte: Autor

Dessa forma, foi coletado os dados de quantas horas em operação e quantas horas disponíveis o robô ficou em um intervalo de amostragem de 87 dias, o que ocasionou na gráfico demonstrado na figura 51.

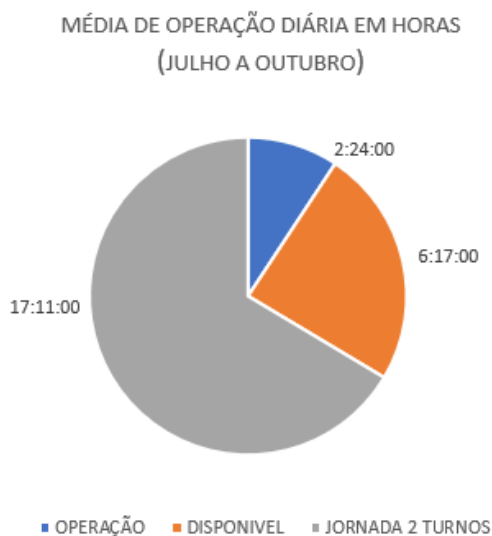
Figura 51 - Média de horas de julho a outubro



Fonte: Autor

De uma forma mais comparativa pode-se colocar no mesmo filtro a quantidade trabalhada dos dois turnos juntos, como o demonstrado na figura 52.

Figura 52 - Comparação



Fonte: Autor

Disponível é quando o robô se encontra energizado porém não está em funcionamento, Operação é quando o robô está sendo utilizado para a produção de peças.

4.CONCLUSÃO

Diante do que fora exposto, conclui-se que o desenvolvimento e implementação do sistema de separação de peças obteve êxito no viés em que se propôs, sendo nítido o ganho de qualidade do produto final com a melhoria proposta. Todavia, ainda pode ser melhorado em aspectos pontuais. Para que alcance seu potencial máximo de funcionalidade é necessário, como demonstrado ao longo do trabalho, que o robô seja utilizado integralmente, algo que infelizmente ainda não ocorre devido às distribuições de peças por máquinas, decorrente da programação do setor de PPCP (Planejamento, Programação e Controle da Produção).

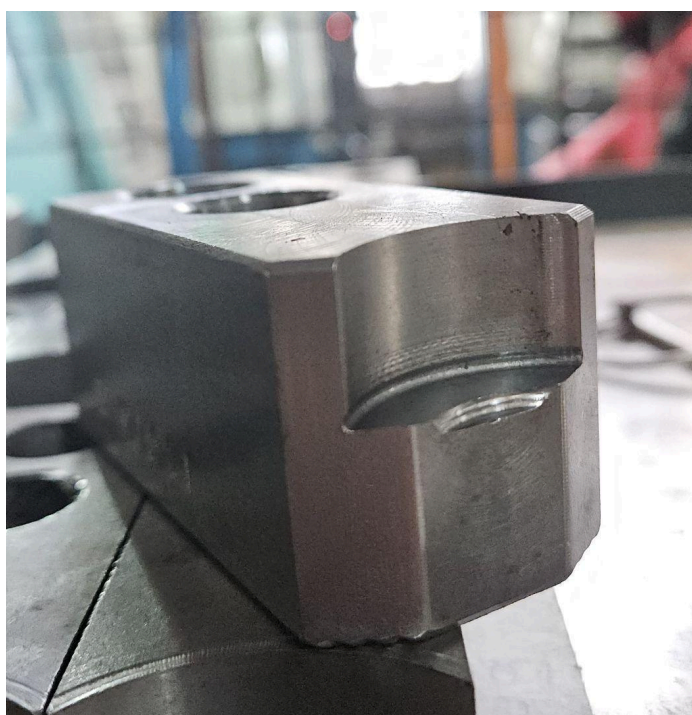
Nesse viés, em relação ao tempo de operação do robô, está diretamente relacionado à quantidade de lotes com uma quantidade mínima de peças para ser utilizada no robô, como por exemplo, ao invés de produzir lotes com diversas quantidades de peças, poderia ser definido um valor mínimo e dando prioridade a essa máquina por ser integrada com o manipulador, de tal forma que se faça mais prático a utilização do robô do que a produção manual das peças. Em paralelo a isso, por se tratar de um processo de usinagem, o acúmulo de cavaco na peça e nas castanhas da placa do torno é muito comum, com isso foi desenvolvido uma castanha que tem a parte de baixo inteiriça, como demonstrado na figura 53 e 54, para que o cavaco não ficasse preso por baixo e atrapalhasse o robô a depositar a peça no torno para usinar, paralelamente a isso foi desenvolvido um soprador pneumático que passa por dentro da placa do torno, como demonstrado nas figuras 55 e 56, visando a limpeza das castanhas antes de receber a peça, após a instalação do sistema de separador, foi repensada a forma de usinar o guia roscado, agora sendo fabricada a segunda etapa primeiro e a primeira etapa depois para que não houvesse mais problemas com a refugo das roscas, como demonstrado na figura 57, juntamente a tudo isso poderia ser implementado um sistema de visão que fizesse a validação da limpeza da placa comparando a foto da placa do jeito que deve ser, como demonstrado na figura 56, com uma foto tirada em tempo real, após a limpeza como demonstrado na figura 58 . Deste modo a supervisão humana diminuiria mais ainda pois sanaria mais ainda o risco de colisão. Desta maneira, em relação às esteiras, uma melhoria possível seria a implementação de imãs nos batentes para que as peças ficassem sempre na posição correta para serem coletadas pelo robô.

Figura 53 - Castanha velha



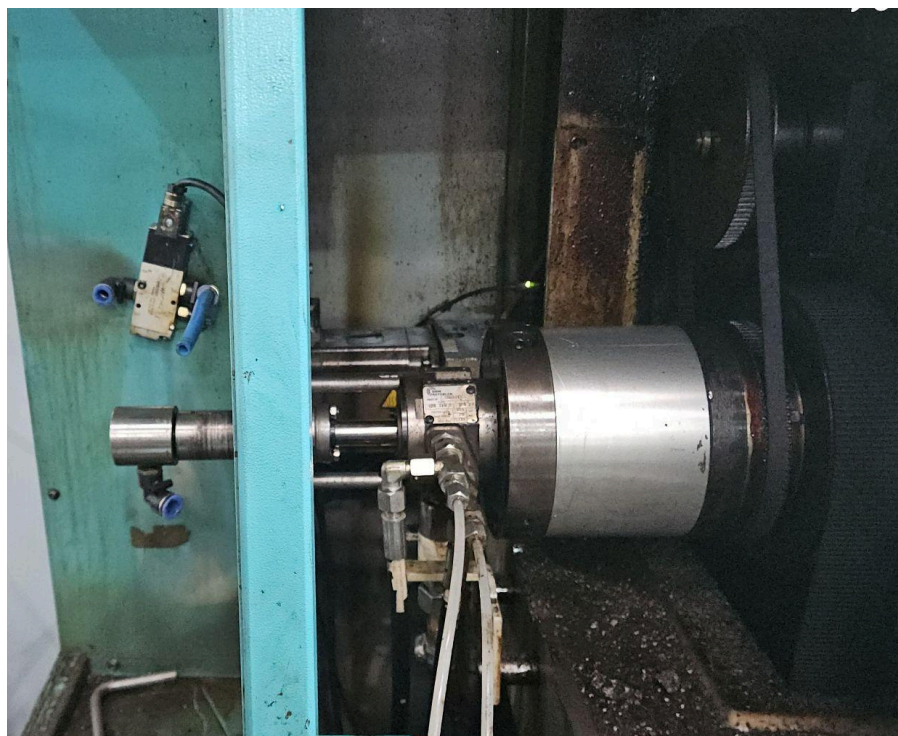
Fonte: Autor

Figura 54 - Castanha nova



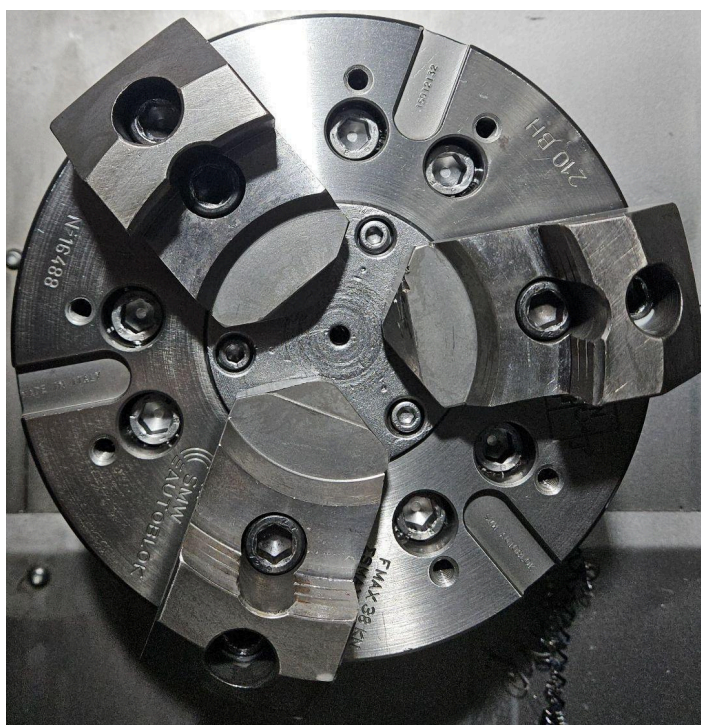
Fonte: Autor

Figura 55 - Sistema de limpeza por dentro do torno



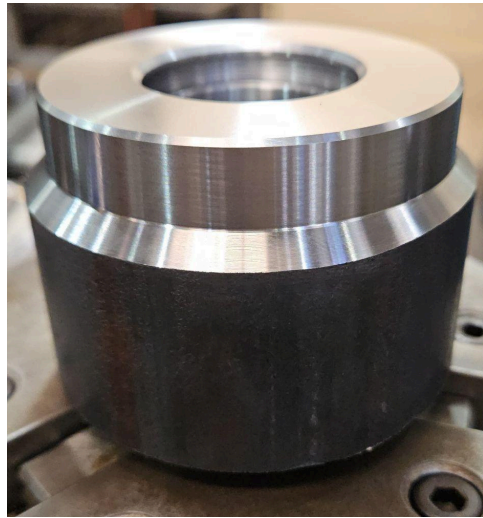
Fonte: Autor

Figura 56 - Sistema de limpeza



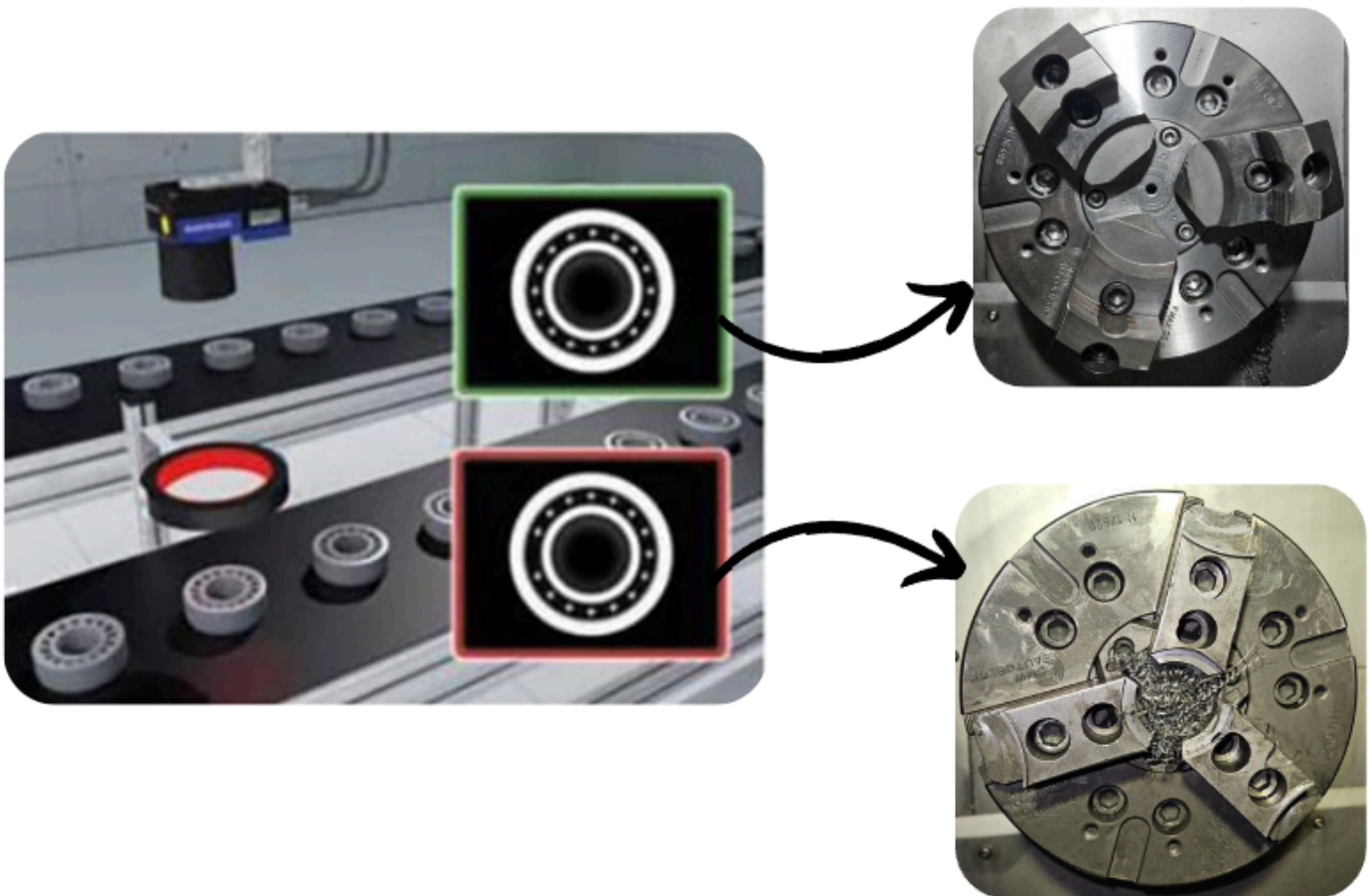
Fonte: Autor

Figura 57 - Nova sequência de usinagem



Fonte: Autor

Figura 58 - Sistema de visão sugerido



Fonte: Autor

REFERÊNCIAS

- BORUNTE. BORUNTE Industrial robot: Chinese / English (HC) instruction manual. BRT-Robot-V3.7 V1.0. 2021.
- GROOVER, Mikell P. Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems. 3. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2020.
- GROOVER, Mikell P. Automação Industrial e Sistemas de Manufatura. 3. ed. São Paulo: Pearson, 2010.
- KALPAKJIAN, Serope, e Schmid, Steven R. Manufacturing Engineering and Technology. 9. ed. Upper Saddle River: Pearson, 2014.
- NIKKAN KOGYO SHIMBUN. (1989). Poka-Yoke: Improving Product Quality by Preventing Defects. Disponível em https://books.google.com.br/books?id=hR_8U1z6d_oC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false Acesso em 20 de junho de 2024.
- PAZOS, Fernando. Automação de Sistemas e Robótica. 1. ed. São Paulo: Axcel Books, 2002.
- ROE, J. W. (1916). English and American Tool Builders. Yale University Press. Disponível em <https://archive.org/details/englishamericant00roej/mode/2up> Acesso em 8 de junho de 2024.
- SINGER, C.; HOLMYARD, E. J.; HALL, A. R.; WILLIAMS, T. I. (1958). A History of Technology. Oxford University Press. Disponível em <https://archive.org/details/historyoftechnol0000sing/mode/2up> Acesso em 8 de junho de 2024.
- YOUSSEF, HA; EL-HOFY, H. Tecnologia de Usinagem: Máquinas-Ferramenta e Operações SCHNEIDER ELECTRIC. Manual de Instruções TM3. Saint-Quentin: Schneider Electric, 2021. Disponível em: https://download.schneider-electric.com/doc/HRB59605/HRB59605_09.pdf. Acesso em 10 novembro de 2024.