

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

CARLOS EDUARDO FELIZARDO

**DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DE INSPEÇÃO DA
QUALIDADE DE MONTAGEM DE PEÇAS DO SETOR AUTOMOTIVO**

FLORIANÓPOLIS, JUNHO DE 2018.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA**

CAMPUS FLORIANÓPOLIS

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL-MECÂNICA

BACHARELADO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA

CARLOS EDUARDO FELIZARDO

**DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DE INSPEÇÃO DA
QUALIDADE DE MONTAGEM DE PEÇAS DO SETOR AUTOMOTIVO**

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.

Professora Orientadora: Dr. Eng.
Cynthia Beatriz Scheffer Dutra

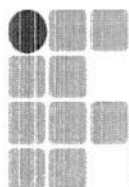
FLORIANÓPOLIS, JUNHO DE 2018.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Felizardo, Carlos Eduardo
Desenvolvimento de uma bancada de inspeção da qualidade
de montagem de peças do setor automotivo. / Carlos Eduardo
Felizardo ; orientação de Cynthia Beatriz Scheffer
Dutra. - Florianópolis, SC, 2018.
81 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. Visão computacional. 2. Mecatrônica. 3. Inspeção
de qualidade. I. Beatriz Scheffer Dutra, Cynthia. II.
Instituto Federal de Santa Catarina. Departamento Acadêmico
de Metal Mecânica. III. Título.



INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS

DECLARAÇÃO DE FINALIZAÇÃO DE TRABALHO DE CURSO

Declaro que o(a) estudante **CARLOS EDUARDO FELIZARDO**, matrícula nº **132004479-4**, do Curso de Engenharia Mecatrônica, defendeu o trabalho intitulado **DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DE INSPEÇÃO DA QUALIDADE DE MONTAGEM DE PEÇAS DO SETOR AUTOMOTIVO**, o qual está apto a fazer parte do banco de dados da Biblioteca Hercílio Luz do Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis.

Florianópolis, 25 de agosto de 2018.

Profª. Orientadora do TCC: Cynthia Beatriz Scheffer Dutra

DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DE INSPEÇÃO DA QUALIDADE DE MONTAGEM DE PEÇAS DO SETOR AUTOMOTIVO

CARLOS EDUARDO FELIZARDO

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

Florianópolis, 25 de julho de 2018.

Banca Examinadora:

Cynthia Beatriz Scheffer Dutra, Dra.Eng. (Orientador)

Maurício Edgar Stivanello, Dr.

Cassiano Bonin. Eng.

AGRADECIMENTOS

A orientadora, Profa. Cynthia Beatriz Scheffer Dutra, Dra.Eng., pela orientação e formação durante o período da graduação.

A Litma tecnologia, empresa na qual trabalho, pela oportunidade e incentivo de desenvolver esta monografia em um de seus projetos.

Aos professores e colegas que participaram de minha formação, pelo conhecimento e amizade compartilhados.

Aos meus amigos de turma do IFSC, por me apoiarem e me suportarem nos momentos de desespero. Em especial ao Eliton “Tito”, Gustavo “Rachid”, Henrique “Ghizone” e Laroza “Laroza”.

Á minha namorada, Mônica, pelo amor e incentivo durante todos os momentos.

A minha Mãe, Janete, pois devo á ela tudo que conquistei em minha vida.

A persistência é o menor caminho do êxito.

Charles Chaplin

RESUMO

Este trabalho descreve o desenvolvimento de uma bancada para inspeção de qualidade da montagem de peças do setor automotivo. Essa inspeção é necessária para garantia do processo produtivo, pois o ser humano é extremamente suscetível a erros em inspeções visuais. Então, por meio de visão computacional, é possível verificar, através de imagens, se a peça foi montada corretamente.

A bancada de inspeção pode ser considerada um sistema mecatrônico, uma vez que é composto por uma mecânica precisa e robusta para garantir sempre o mesmo posicionamento da peça que será inspecionada e para ser resistente ao fluxo diário de montagem de peças na fábrica, uma parte elétrica de alta confiabilidade que possibilita a interligação de diversos componentes eletrônicos e uma programação capaz de comandar e realizar os testes de inspeção. A bancada foi desenvolvida pela empresa LITMA Tecnologia, que recebeu a demanda de inspecionar as peças montadas pelos operadores de uma empresa montadora do setor automotivo.

Como resultado deste desenvolvimento, foi possível realizar integração de equipamentos de modo a ser possível inspecionar a qualidade da peça solicitada pelo cliente.

Palavras-chave: Visão computacional, Inspeção de qualidade, Mecatrônica.

ABSTRACT

This paper describes the development of a station for the inspection of the quality of automotive parts assembly. This inspection is necessary to guarantee the productive process, since the human being is extremely susceptible to errors in visual inspections. Through computer vision, it is possible to verify if the part was correctly assembled.

The station can be considered a mechatronic system, since it is composed by a precise and robust structure in order to guarantee the correct positioning of the inspected item and also in order to resist the daily flow of assembly of parts in the factory, a highly reliable electrical architecture that allows the interconnection of several electronic components and a software layer capable of commanding the inspections. The station was developed by the company LITMA Tecnologia, which was demanded to inspect the items assembled by the operators of an automotive assembly company.

As a result of this development, it was possible to integrate equipment so as to be possible to inspect the quality as requested by the customer.

Key words: Computer vision, Quality inspection, Mechatronics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Exemplo de arquitetura de sistema de inspeção automatizada.....	24
Figura 2 - Modelo de desenvolvimento de produtos PRODIP.	25
Figura 3 - Fluxograma de funcionamento da bancada	27
Figura 4: - Função principal.....	28
Figura 5 - Síntese funcional.	28
Figura 6 - Posicionamento do sensor de visão.....	31
Figura 7 - Imagem capturada pelo sensor de visão.....	31
Figura 8 - Distância do sensor de visão até a área de visão.	32
Figura 9 - Dimensões do módulo estrutural.....	33
Figura 10 - Estrutura berço.	33
Figura 11- Leiaute do módulo estrutural.....	34
Figura 12- Bancada com estrutura enclausurada.	35
Figura 13 - Diferentes modelos de formato de peça inspecionada.	35
Figura 14 - Geometria de referência lado direito.	36
Figura 15- Modelo 3D da primeira versão do indexador.	36
Figura 16 - Primeira versão indexador.	37
Figura 17 - Modelo 3D da segunda versão do indexador.	37
Figura 18 - Diferenças entre as versões um e dois dos indexadores.	38
Figura 19 - Diferença causada pelo indexador na vista do sensor de visão.	38
Figura 20 - Modelo 3D da terceira versão do indexador.	39
Figura 21 - Diferenças entre as versões dois e três dos indexadores	39
Figura 22 - Modelo 3D do leiaute final do indexador.	40
Figura 23 - Leiaute final do indexador.	40
Figura 24 - Instalação do indexador no berço.	41

Figura 25 - Instalação do módulo de travamento.	41
Figura 26 - Leiaute final do módulo mecânico.	42
Figura 27 - Módulo de proteção e alimentação.	43
Figura 28 - Módulo de controle e acionamento.	44
Figura 29 - Módulo de distribuição.	45
Figura 30 - Montagem final do painel elétrico.	45
Figura 31- Fluxograma de programação do sensor de visão.	47
Figura 32 - Otimização da imagem para detecção dos cliques.	48
Figura 33 - Aplicação da ferramenta de ajuste de posição para os cliques.	49
Figura 34 - Aplicação da ferramenta de área para detecção do clipe.	49
Figura 35 - Teste da peça com a presença dos cliques.	50
Figura 36 - Teste de peça com ausência de cliques.	50
Figura 37 - Otimização da imagem para detecção do formato 1.	51
Figura 38- Aplicação da ferramenta de resumo para selecionar o contorno do formato 1.	52
Figura 39 - Teste do formato 1 com uma peça do formato 1.	52
Figura 40 - Teste do formato 1 com uma peça do formato 2.	53
Figura 41 - Teste do formato 1 com uma peça do formato 3.	53
Figura 42 - Teste do formato 1 com uma peça do formato 4.	53
Figura 43 – Otimização da imagem para detecção do formato 2.	54
Figura 44 - Aplicação da ferramenta de resumo para selecionar o contorno do formato 2.	54
Figura 45 – Teste do formato 2 com uma peça do formato 1.	55
Figura 46 – Teste do formato 2 com uma peça do formato 2.	55
Figura 47 – Teste do formato 2 com uma peça do formato 3.	55
Figura 48 – Teste do formato 2 com uma peça do formato 4.	56

Figura 49 – Otimização da imagem para detecção do formato 3.	56
Figura 50 – Aplicação da ferramenta de resumo para seleccionar o contorno do formato 3.....	57
Figura 51 – Teste do formato 3 com uma peça do formato 1.	57
Figura 52 – Teste do formato 3 com uma peça do formato 2.	57
Figura 53 – Teste do formato 3 com uma peça do formato 3.	58
Figura 54 – Teste do formato 3 com uma peça do formato 4.	58
Figura 55 - Otimização da imagem para detecção do formato 4.	59
Figura 56 – Aplicação da ferramenta de resumo para seleccionar o contorno do formato 4.....	59
Figura 57– Teste do formato 4 com uma peça do formato 1	60
Figura 58 – Teste do formato 4 com uma peça do formato 2.	60
Figura 59 – Teste do formato 4 com uma peça do formato 3.	60
Figura 60– Teste do formato 4 com uma peça do formato 4.	61
Figura 61 – Otimização da imagem para detecção do feltro.....	61
Figura 62 – Aplicação da ferramenta de área para detecção do clipe.	62
Figura 63 – Teste da peça com feltro.....	62
Figura 64 – Teste da peça sem feltro.....	63
Figura 65 – Comunicação PROFINET entre os dispositivos.	67
Figura 66- Fluxograma programa principal.....	68
Figura 67 - Fluxograma subprograma carregar testes.....	69
Figura 68– Fluxograma do subprograma realizar teste.	70
Figura 69- Fluxograma do subprograma Teste de cor.....	71
Figura 70- Fluxograma do subprograma teste de formato.....	72
Figura 71 - Fluxograma do subprograma teste de cliques.....	73
Figura 72 - Fluxograma do sub programa teste de feltro.....	74

Figura 73 - Fluxograma do subprograma resultados.	75
--	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Diferentes modelos da peça a ser inspecionada	19
Quadro 2 - Soluções para as funções parciais.	29
Quadro 3 - Soluções finais	30
Quadro 4 – Bancos de cores do LRW.	64
Quadro 5 – Média de 5 amostras de cada modelo testado no banco 1.	64
Quadro 6 – Faixa para aprovação de cor de cada banco.	65

LISTA DE SIGLAS

3D	Três dimensões
A	Ampere
ACM	Alumínio composto
CLP	Controlador lógico programável
DR	Disjuntor residual
IHM	Interface homem máquina
<i>OpenCV</i>	<i>Open Source Computer Vision Library</i>
PU	Poliuretano
<i>Qrcode</i>	<i>Quick response code</i>
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
V	Volts
W	Watts

SÚMARIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1 A empresa	18
1.2 Justificativa	18
1.3 Definição do Problema	19
2. OBJETIVOS	22
2.1 Objetivo Principal	22
2.2 Objetivos Específicos	22
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	23
3.1 Sistema de visão	23
3.2 Projeto integrado de produtos	24
4. DESENVOLVIMENTO	26
4.1 Projeto Informacional	26
4.2 Projeto Conceitual	28
4.3 Projeto Preliminar.....	30
4.3.1 Sistema mecânico	31
4.3.1.1 Módulo estrutural	32
4.3.1.1.1 Enclausuramento	34
4.3.1.2 Módulo Indexador	35
4.3.1.2.1 Material Indexador	40
4.3.1.2.2 Travamento	41
4.3.1.3 Leiaute final módulo mecânico.	42
4.3.2 Sistema Eletroeletrônico	42
4.3.2.1 Módulo Proteção e Alimentação.....	42
4.3.2.2 Módulo de Controle e Acionamento	43
4.3.2.3 Módulo Distribuição	44

4.3.2.4 Montagem final do painel elétrico	45
4.3.3 Sistema Programação	45
4.3.3.1 Módulo de visão	46
4.3.3.1.1 Sensor de Visão	46
4.3.3.1.1.1 Detecção de cliques	48
4.3.3.1.1.2 Detecção do Formato 1	50
4.3.3.1.1.3 Detecção do Formato 2	54
4.3.3.1.1.4 Detecção do Formato 3	56
4.3.3.1.1.5 Detecção do Formato 4	58
4.3.3.1.1.6 Detecção do Filtro	61
4.3.3.1.2 Sensor de Aparência	63
4.3.3.2 Módulo programação CLP	66
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
REFERÊNCIAS	77

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a indústria segue em busca contínua por excelência na produtividade e qualidade de seus produtos, visto que essas são os pilares básicos para a sobrevivência de empresas em um mercado altamente competitivo. O aperfeiçoamento da produtividade tem sido auxiliado por meio da automação industrial, capacitando as empresas para maior produção com redução de custos. Entretanto, não se mostra suficiente impulsionar a produtividade sem que ocorra evolução simultânea do controle de qualidade.

Há a crescente necessidade de se automatizar um grande número de tarefas rotineiras realizadas pelo ser humano e que requerem o emprego de percepção sensorial, elaboração de linhas de raciocínio e capacidade de generalização. Isto tem motivado o desenvolvimento de sistemas computacionais inteligentes (CHAVES; MARTINS, 2003).

Uma forma para melhorar a qualidade de um produto final é mediante inspeções na saída do processo produtivo. Porém, uma inspeção manual apresenta aspectos desfavoráveis como consumo de tempo, alto custo e possível comprometimento da eficiência do trabalho humano por fatores ambientais e pessoais. Sendo assim, o processo de inspeção também tem sido automatizado e seus resultados aplicados para melhoria do processo envolvido e da qualidade do produto. (BATCHELOR; WHELAN, 2002)

O sistema de visão computacional atua por intermédio da simulação da visão humana. Por se tratar de um sistema automático, proporciona maior velocidade de processamento sem pausas, consequentemente, gerando maior volume de produção (MELO; ROLOFF, 2008).

Buscando atender as necessidades de produtividade e qualidade da indústria, a Litma Tecnologia LTDA desenvolve projetos de sistema de visão computacional aplicado a inspeção da qualidade das peças produzidas.

Neste trabalho, será descrito um dos projetos realizados pela Litma Tecnologia LTDA, que é o desenvolvimento de uma bancada de inspeção de qualidade da montagem de peças do setor automotivo. Esta é composta por um sistema mecânico que tem como objetivo estruturar o equipamento e acomodar a

peça a ser inspecionada; um sistema eletroeletrônico que realiza os acionamentos e comandos do equipamento; e por último, um sistema de programação composto pela programação de algoritmo de visão, do controlador lógico programável e um *software* de gerenciamento dos testes.

A bancada de inspeção tem como função realizar a inspeção da qualidade de peças segundo alguns critérios de avaliação determinados pelo cliente. Primeiramente, o operador realiza a leitura do código de barras do modelo da peça que será inspecionada que é interpretada pelo *software* de gerenciamento de testes, que por sua vez indica para o CLP os devidos critérios de avaliação. Após isto, o operador insere a peça a ser inspecionada na bancada e comanda o início dos testes. Com isso, o CLP demanda ao *software* de visão a realização das avaliações. Por fim, o *software* de gerenciamento de testes analisa as avaliações e apresenta os resultados.

Neste trabalho será abordado o desenvolvimento de toda a bancada exceto do *software* de gerenciamento *Laudit Pro*.

1.1 A empresa

A Litma Tecnologia LTDA, uma empresa em Florianópolis, Santa Catarina, possui como foco a promoção de controle de qualidade sobre características de componentes industrializados, com base em tecnologia de visão computacional, que excede em inúmeras vezes a capacidade humana de inspeção visual, o que possui o potencial de diminuir significativamente custos com inspeção e as chances de que componentes não conformes tragam prejuízos aos próximos passos da cadeia produtiva.

1.2 Justificativa

Na indústria automotiva existem diversos processos de fabricação até que o automóvel produzido esteja pronto. Esses processos são realizados por diversas montadoras diferentes, até que o automóvel esteja completamente produzido. Então é imprescindível que esses processos sejam validados após finalizados, para que não existam problemas na próxima etapa de produção.

Uma dessas montadoras, responsável por produzir peças do interior de um modelo de automóvel, necessita que sua produção seja inspecionada. Atualmente,

essa inspeção é realizada por um operador humano, porém, o ser humano é suscetível a erros. Desta forma, criou-se a demanda para o desenvolvimento de uma bancada de inspeção da produção de uma peça produzida.

1.3 Definição do Problema

A peça a ser inspecionada é uma moldura para os componentes que compõe o rádio, localizada no painel de um determinado modelo de automóvel, o qual não pode ser explicitado neste documento por questões de segredo industrial. No entanto, os diferentes modelos da peça serão mostrados ao longo deste trabalho, quando for conveniente.

Os painéis deste modelo de automóvel variam de acordo com as suas diferentes versões, o que faz com que o formato e a cor da peça inspecionada sofram variações. A peça é fixada no painel do automóvel por meio de cliques de fixação e possui, em alguns modelos, um elemento composto de um material que proporciona isolamento de vibrações, chamado feltro. Este elemento é necessário pois as peças são encaixadas e ao longo da vida útil do automóvel as folgas entre as peças plásticas se intensificam e os ruídos prejudicam o conforto do consumidor.

A bancada de inspeção deve ser capaz de inspecionar e verificar as peças levando em consideração os seguintes critérios de avaliação: cor e formato da peça, verificação da montagem dos cliques de fixação e do feltro.

Deve ser capaz de identificar os três tipos diferentes de cores, quatro tipos diferentes de formatos, a montagem dos cliques de fixação e do feltro, como mostra a Quadro 1.

Quadro 1 - Diferentes modelos da peça a ser inspecionada

MODELO	COR	FORMATO	CLIPS	FELTRO
MODELO 1	Preto		Possui	Possui

MODELO	COR	FORMATO	CLIPS	FELTRO
MODELO 2	Cinza		Possui	Possui
MODELO 3	Preto		Possui	Não possui
MODELO 4	Cinza		Possui	Não possui
MODELO 5	Preto		Possui	Não possui
MODELO	Cinza		Possui	Não possui
MODELO 7	Preto metalizado		Possui	Não possui

MODELO	COR	FORMATO	CLIPS	FELTRO
MODELO 8	Cinza		Possui	Não possui

Fonte: Próprio autor.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Principal

Desenvolver uma bancada de inspeção que realize testes de qualidade por meio de visão computacional.

2.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver estrutura da bancada;
- Desenvolver o indexador;
- Desenvolver o sistema eletroeletrônico da bancada;
- Desenvolver testes de qualidade, por meio de sensores de visão computacional;
- Desenvolver a programação do CLP da bancada.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Sistema de visão

Segundo Ballast (2013), os sistemas de visão industrial são diretamente ligados a inspeção de qualidade na indústria. O sistema de visão industrial faz a checagem dos produtos que passam pela linha de produção garantindo que todas as peças ou produtos estejam dentro dos padrões de qualidade.

Os sistemas de visão industrial não enxergam como os humanos que podem sofrer influência por fadiga ou distração, ainda com a vantagem de poder executar o trabalho em alta velocidade atuando em conjunto com sistemas pneumáticos, descartando as peças ou produtos fora de conformidade.

Essa tecnologia foi introduzida no Brasil por volta de 1980, por meio de técnicas de comparação de imagem, obtendo resultados razoáveis, porém nem sempre precisos. Por volta de 1990, foram introduzidas técnicas de processamento de imagens baseados em extração de características, extraíndo-se dados numéricos de características existentes na imagem.

Dentre as aplicações mais comuns de sistemas de visão, estão a inspeção em produtos farmacêuticos, semicondutores, inspeção de peças automotivas e inspeção de alimentos.

Os sistemas de visão não “enxergam” da mesma maneira que os humanos. Esses, processam pixels de imagens para extrair atributos e tomar decisões com base em informações fornecidas por humanos sobre a qualidade do produto em questão. Até hoje, esses sistemas não podem se igualar à adaptabilidade e compreensão humana, apesar de muito mais rápidos e precisos. Portanto, sistemas de visão são aplicados onde a aceitação ou reprovação de produtos não se baseia em atributos subjetivos ou não mensuráveis.

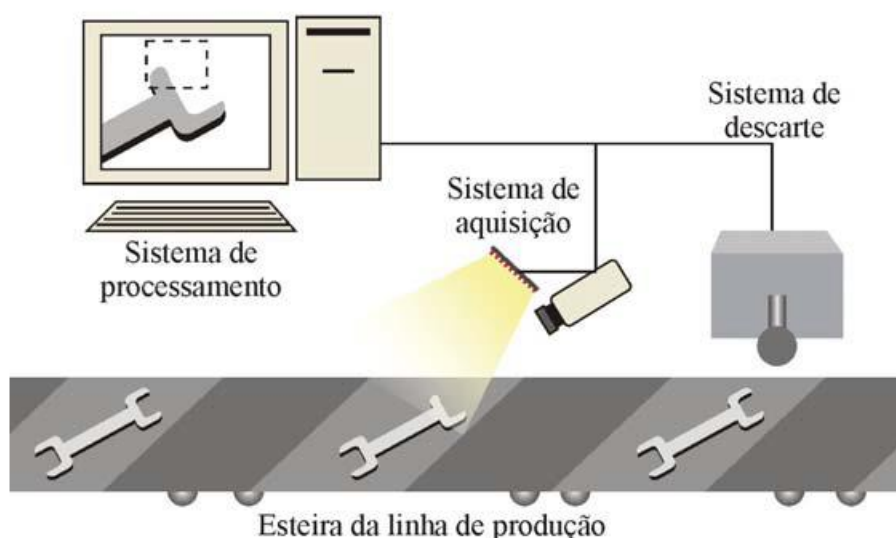
Um sistema de visão é tipicamente constituído por:

1. Uma ou mais câmeras, podendo ser digitais ou analógicas, coloridas ou monocromáticas;
2. Uma ou mais lentes para o correto condicionamento de imagem;
3. Iluminação, para realçar os atributos desejados;

4. Processador (geralmente baseados em computadores);
5. *Software* para processar as imagens e detectar as características relevantes;
6. Dispositivo para disparo da captura da imagem;
7. Dispositivos para a interação com partes mecânicas como atuadores.

Os sistemas de visão computacional resultam da integração de diversas tecnologias, e podem ser aplicados em diferentes situações. A Figura 1 ilustra a arquitetura simplificada de um sistema de inspeção automatizada para a indústria. (STIVANELLO,2004)

Figura 1- Exemplo de arquitetura de sistema de inspeção automatizada



Fonte: (STIVANELLO, 2004)

Como pode ser visto, a arquitetura de um sistema de inspeção automatizada é composta por vários subsistemas e pode assumir diferentes configurações. Para aplicações de inspeção industrial, porém, é comum que seja composto por um sistema de aquisição de imagens, um sistema de processamento e um sistema de descarte. (STIVANELLO,2004)

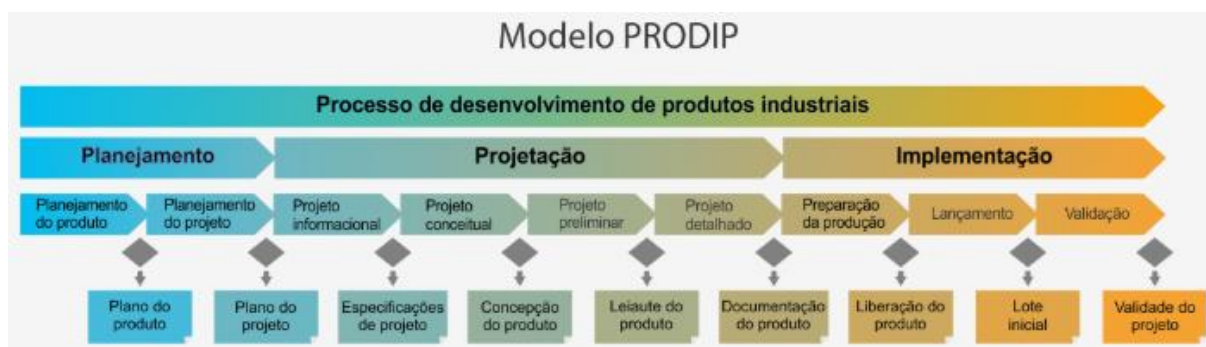
3.2 Projeto integrado de produtos

O processo de desenvolvimento de produtos (PDP) consiste basicamente em uma metodologia que serve de guia para a elaboração de um produto. (BACK, OGLIARI, et al., 2008)

Portanto, Back (BACK, OGLIARI, et al., 2008) definiu que o processo de desenvolvimento de produto pode ser dividido em quatro grandes fases, sendo elas: informacional, conceitual, preliminar e detalhada.

A metodologia aplicada se baseia no modelo PRODIP, como mostra a Figura 2, suprimindo a parte de projeto informacional, que é a primeira etapa do projeto e basicamente tem o intuito de determinar as especificações do projeto, pois o projeto já conta com algumas restrições que definem as especificações de projeto.

Figura 2 - Modelo de desenvolvimento de produtos PRODIP.



Fonte: Adaptado de: (BACK, OGLIARI, 2008).

A etapa de projeto conceitual tem como objetivo buscar por soluções conceituais para o problema, com base nas especificações de projeto definidas na etapa anterior. Para tanto, ferramentas metodológicas são utilizadas, podendo-se destacar como os principais métodos empregados a síntese de funções, a matriz morfológica e as matrizes multicritério de seleção (OGLIARI, 2017).

Posteriormente a fase de projeto preliminar onde a solução conceitual é desenvolvida. Consiste basicamente no desenvolvimento dos leiautes e definição de elementos como formas, geometrias, materiais, processos de fabricação e posteriormente serão reavaliados se considerando quesitos técnicos e econômicos.

Pretende-se ir até a etapa de projeto preliminar com o leiaute final do produto.

4. DESENVOLVIMENTO

4.1 Projeto Informacional

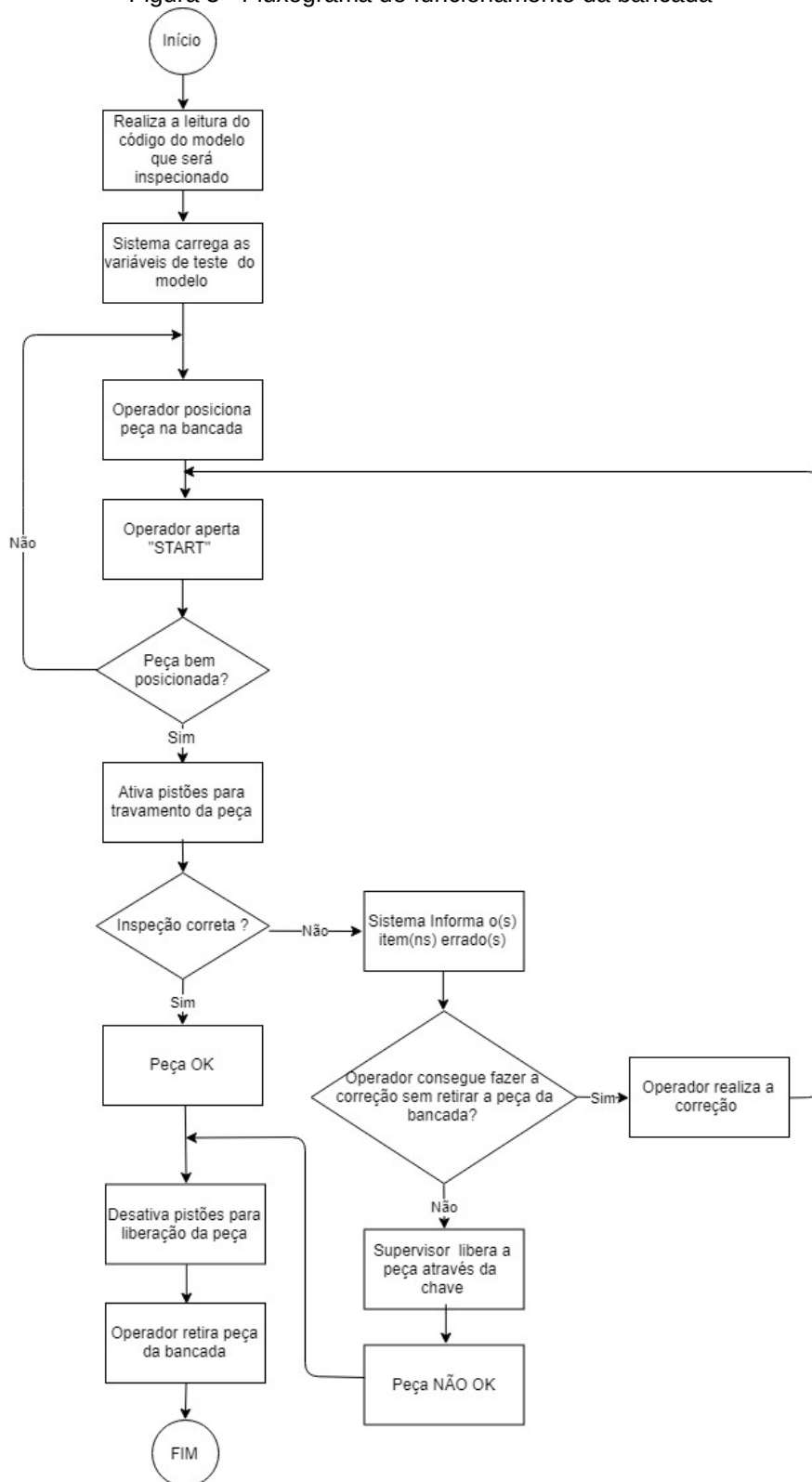
O projeto informacional é a primeira fase na elaboração de um produto, segundo a metodologia PDP, sua saída são as especificações de projeto. No caso deste trabalho, as especificações de projeto foram estabelecidas por restrições do projeto da empresa.

Portanto a bancada deve ser projetada conforme as especificações impostas pelo cliente, sendo elas:

1. Gerais
 - a. Projetar de modo que se utilizem materiais disponíveis na empresa.
2. Estrutura
 - a. Utilizar perfis de alumínio extrudados;
 - b. Possuir altura com valor padronizado igual a 2100 mm;
 - c. Possuir rodízios de PU 4”;
 - d. Fixar quadro elétrico na parte traseira e inferior da bancada.
3. Indexador
 - a. Garantir que a peça sempre esteja na mesma posição;
 - b. Desenvolver o indexador em resina de poliuretano Shore 80 A;
 - c. Utilizar um sensor de posição para assegurar posicionamento correto;
 - d. Prover travamento da peça utilizando atuador pneumático;
 - e. Prover proteção de acordo com a NR-12.
4. Sistema de Visão
 - a. Utilizar sensor IV500M, do fabricante Keyence, para detecção do formato, cliques e feltro;
 - b. Utilizar sensor LRW500, do fabricante Keyence, para detecção da cor.
5. Comando
 - a. Utilizar CLP Siemens;
 - b. Programar com linguagem Ladder;
 - c. Utilizar o *software* TIA PORTAL V14.
6. Operação

a. Respeitar o fluxograma de funcionamento, que pode ser visto na Figura 3 - Fluxograma de funcionamento da bancada.

Figura 3 - Fluxograma de funcionamento da bancada



Fonte: Próprio autor.

4.2 Projeto Conceitual

A função global da bancada, que tem seus parâmetros de entrada representados no lado esquerdo, as saídas do lado direito e as perturbações localizadas a cima, a função global pode ser vista na Figura 4.

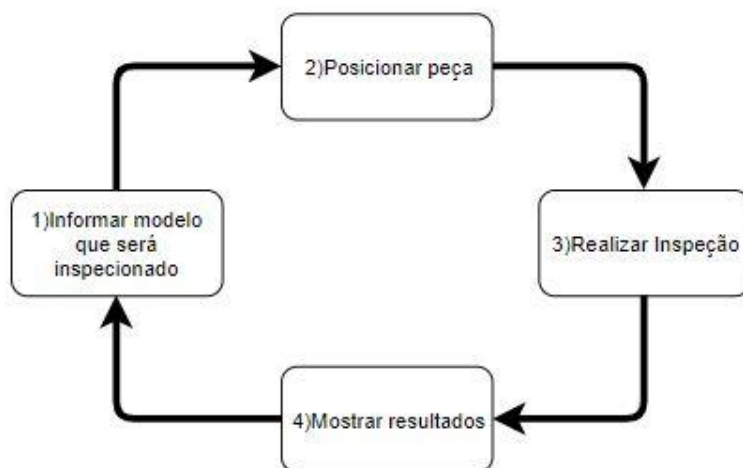
Figura 4: - Função principal



Fonte: Próprio autor.

A partir da função global, pode-se obter as funções parciais que compõe a síntese funcional, vista na Figura 5. Essa, tem como objetivo descrever, de forma geral, o funcionamento da bancada e a partir das funções parciais são propostas as possíveis soluções.

Figura 5 - Síntese funcional.



Fonte: Próprio autor.

A partir das funções parciais, propuseram-se alguns conjuntos de soluções que deverão ser analisados durante a etapa do projeto conceitual com a elaboração de conceitos. Estes, serão avaliados de acordo com o cumprimento ou não das

especificações de projeto. O Quadro 2, mostra as funções parciais com suas respectivas soluções.

Quadro 2 - Soluções para as funções parciais.

FUNÇÕES	SOLUÇÕES
Informar modelo que será inspecionado	Leitor código de barras
	QRcode
	RFID
Posicionar peça	Suporte com a geometria negativa à da peça inspecionada
	Grampo
Realizar inspeção	Sensores de visão comerciais
	Câmera com <i>OpenCV</i>
	Operador
Mostrar resultados	Monitor
	Imprimir etiqueta

Fonte: Próprio autor.

Para a função parcial de informar modelo que será inspecionado foram cogitadas três soluções das quais a opção do leitor código de barras foi selecionada, pois é o padrão utilizado pelo cliente, no qual as peças são etiquetadas. Portanto as demais soluções foram descartadas, pois geraria necessidade de mudanças na linha de produção do cliente.

A solução de utilizar grampos para a função de posicionar a peça não se mostrou eficiente pois não garante o posicionamento constante. Pelo fato de a fixação da peça ser manual, esta solução tornaria o processo altamente suscetível aos erros do operador. Portanto, escolheu-se a solução de desenvolver um suporte cuja geometria seja o negativo da peça a ser inspecionada. Com isso, tem-se um gabarito para que o posicionamento da peça seja sempre o mesmo, eliminando erros.

Na função de realizar inspeção, a opção de utilizar um operador humano não é desejável pois o mesmo é suscetível a erros. Já a opção de utilizar câmeras convencionais com *openCV* demandaria o desenvolvimento de *software* próprio, isso geraria um tempo de desenvolvimento maior que o disponível. Portanto, a solução de utilizar sensores de visão comerciais fez-se satisfatória pois os mesmos possuem

softwares próprios, eliminando a necessidade de desenvolvimento, bom reconhecimento no mercado e atendendo às especificações do projeto em utilizar sensores de visão comercial da fabricante Keyence.

Na função mostrar resultados, escolheu-se como solução utilizar um monitor, pois em uma das etapas do processo de funcionamento da bancada existe a necessidade de mostrar o resultado da inspeção para operador.

Com isso, tem-se o conjunto de soluções para as funções parciais, que são mostradas no Quadro 3.

Quadro 3 - Soluções finais

FUNÇÕES	SOLUÇÕES
Informar modelo a ser inspecionado	Leitor código de barras
Posicionar peça	Suporte com a geometria negativa à da peça inspecionada
Realizar inspeção	Sensores de visão comerciais
Mostrar resultados	Monitor

Fonte: Próprio autor.

4.3 Projeto Preliminar

Na etapa de projeto preliminar, são tomadas as decisões, baseadas em critérios técnicos, para que se definam todas as formas, geometrias, materiais e processos de fabricação que tem como objetivo obter o leiaute final da bancada.

Com a definição do problema, foram realizados testes de bancada para validação dos posicionamentos de câmera e da peça a ser inspecionada, que são os testes preliminares.

Com o objetivo de simular as condições de funcionamento da bancada e afim de determinar algumas das variáveis para o seu desenvolvimento, fizeram-se alguns testes preliminares da instalação do sensor de visão, no qual se constatou qual seria o melhor posicionamento entre o sensor de visão e a peça, de forma que fosse possível inspecionar todos os critérios de avaliação.

O posicionamento correto do sensor de visão em relação a peça pode ser visto na Figura 6.

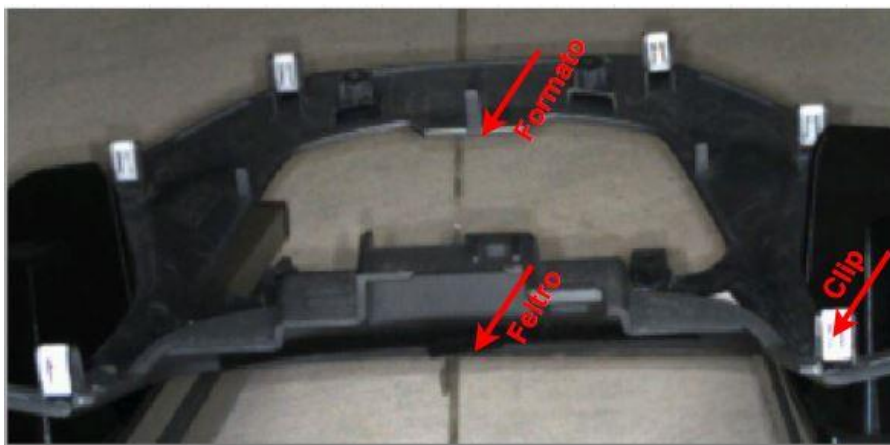
Figura 6 - Posicionamento do sensor de visão.



Fonte: Próprio autor.

Com o posicionamento mostrado na Figura 6, é possível visualizar todos os elementos que devem ser inspecionados, como pode ser observado na Figura 7.

Figura 7 - Imagem capturada pelo sensor de visão.



Fonte: Próprio autor.

Portanto, essa etapa foi estruturada na forma de três sistemas, sendo eles: sistema mecânico, eletroeletrônico e programação.

4.3.1 Sistema mecânico

O sistema mecânico é subdividido em dois módulos: o módulo de estrutura e o indexador. Foi utilizado o *software* SolidWorks® para realizar a modelagem 3D dos elementos que compõe o sistema.

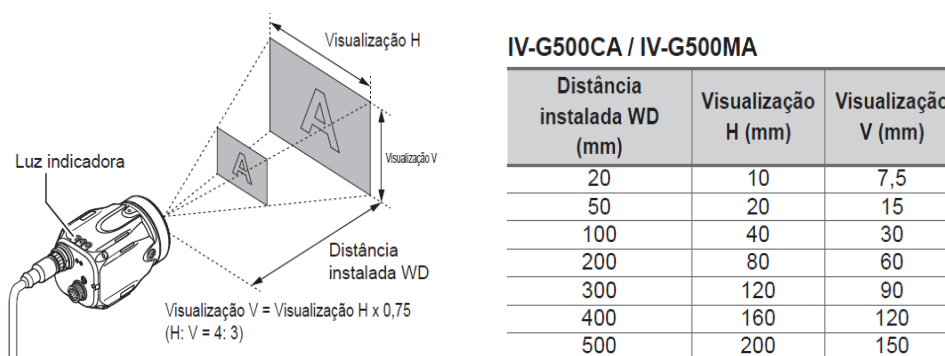
4.3.1.1 Módulo estrutural

Com base nos requisitos de projeto e na distância do campo de visão necessária para o sensor de visão, foi iniciado o projeto mecânico da estrutura da bancada e definidas suas dimensões, baseado nas medidas mostradas na Figura 6.

O módulo estrutural é responsável por sustentar todos os componentes da bancada. Pelas especificações de projeto, deve-se utilizar perfis de alumínio extrudado e que deve ter altura no valor de 2100 mm.

A definição das demais dimensões da bancada levam em consideração critérios como a dimensão da peça a ser inspecionada e a distância instalada do sensor de visão em relação à peça, como pode ser visto na Figura 8.

Figura 8 - Distância do sensor de visão até a área de visão.



Fonte: Adaptado de: (KEYENCE, 2018).

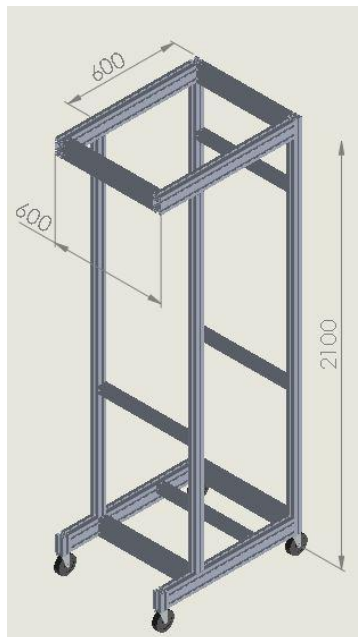
Como a peça tem 200 mm de largura, se consultou as informações mostradas na tabela que está representada pela Figura 8 e com isso obteve-se a distância necessária para instalação do sensor de visão, como mostra a Figura 6.

Para definir a largura necessária da bancada, considerou-se a largura da peça e adicionou-se 200 mm em ambos os lados para facilitar a inserção da peça e para acomodar o sistema de travamento. Portanto, se definiu a largura com valor final de 600 mm.

Definiu-se a dimensão de profundidade levando em consideração a distância instalada do sensor de visão adicionada de fatores como comprimento do sensor de visão e do suporte de fixação do mesmo. Portanto, definiu-se a profundidade com valor final de 600 mm.

Com isso, todas as dimensões para a estrutura da bancada foram determinadas, como pode ser visto na Figura 9.

Figura 9 - Dimensões do módulo estrutural.

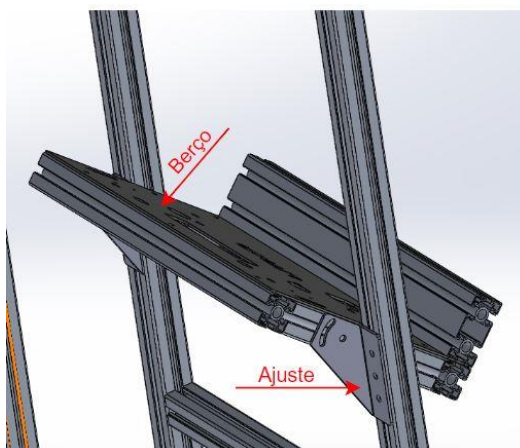


Fonte: Próprio autor.

Um dos elementos que compõe o módulo estrutural é o berço, que possui como objetivo sustentar o indexador, proporcionando seu ajuste de altura e inclinação.

O berço é composto por uma estrutura retangular desenvolvida com perfil extrudado de alumínio e uma chapa de aço galvanizado, servindo como base para o indexador. O ajuste de altura e inclinação é proporcionado por meio de um suporte de aço. A estrutura do berço, ajuste de altura e inclinação podem ser vistos na Figura 10.

Figura 10 - Estrutura berço.

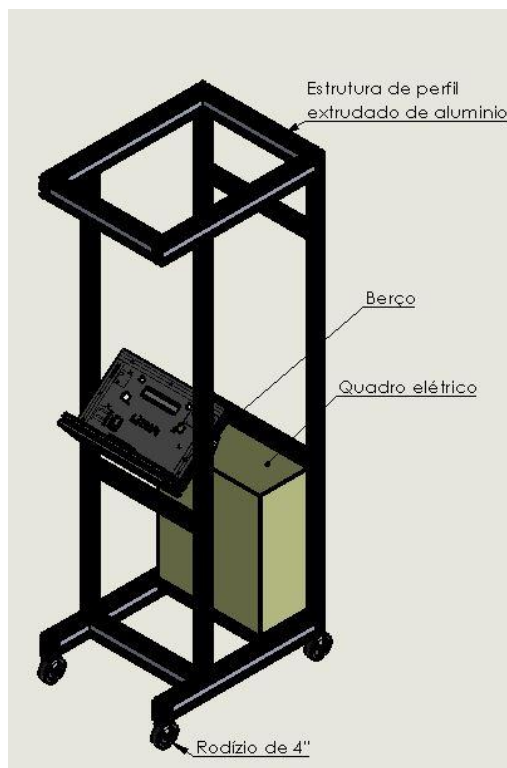


Fonte: Próprio autor.

Para atender às especificações de projeto, utilizou-se rodízios comerciais feitos com material PU, com diâmetro de quatro polegadas. Instalou-se o gabinete elétrico na parte inferior traseira da estrutura.

Com isso, o leiaute do módulo estrutural foi definido, como visto na Figura 11.

Figura 11- Leiaute do módulo estrutural

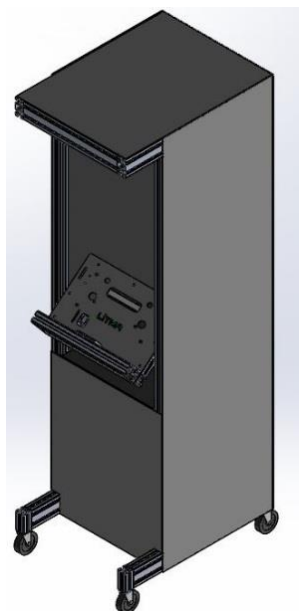


Fonte: Próprio Autor.

4.3.1.1.1 Enclausuramento

Com o objetivo de minimizar a perturbação da luz ambiente durante a operação, foram adicionadas chapas de ACM, que é uma chapa de três milímetros de espessura composta de duas chapas de alumínio de 0,21 mm de espessura e um núcleo de polietileno de baixa densidade. Esta composição garante uma chapa leve e durável. As chapas de ACM são disponibilizadas em diversas cores, para não refletir a luz dentro da bancada escolheu-se a cor preta fosco. A estrutura da bancada com as chapas de enclausuramento pode ser vista na Figura 12.

Figura 12- Bancada com estrutura enclausurada.

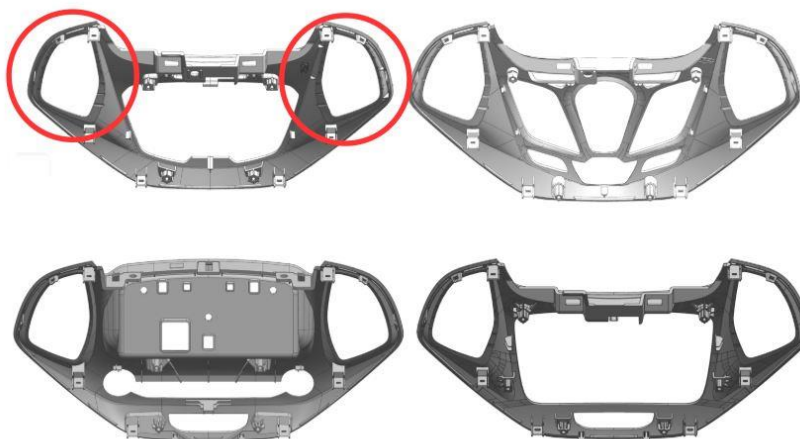


Fonte: Próprio autor.

4.3.1.2 *Modulo Indexador*

O suporte com a geometria negativa à da peça inspecionada é chamado de indexador, que é o elemento responsável por posicionar e fixar a peça que a ser inspecionada, sempre na mesma posição. Para garantir o posicionamento correto da peça a ser inspecionada, foi necessário encontrar uma geometria em comum de referência entre os modelos. Os diferentes modelos podem ser vistos na Figura 13.

Figura 13 - Diferentes modelos de formato de peça inspecionada.



Fonte: Próprio autor.

Analisando os modelos mostrados na Figura 13, foi possível constatar que a melhor região em comum entre as peças para utilizar como referência são os rasgos dos difusores de ar que estão destacados em vermelho. Com isso, projetou-se a geometria de referência para um dos lados, que pode ser vista na Figura 14. O outro lado é uma configuração espelhada da mesma geometria.

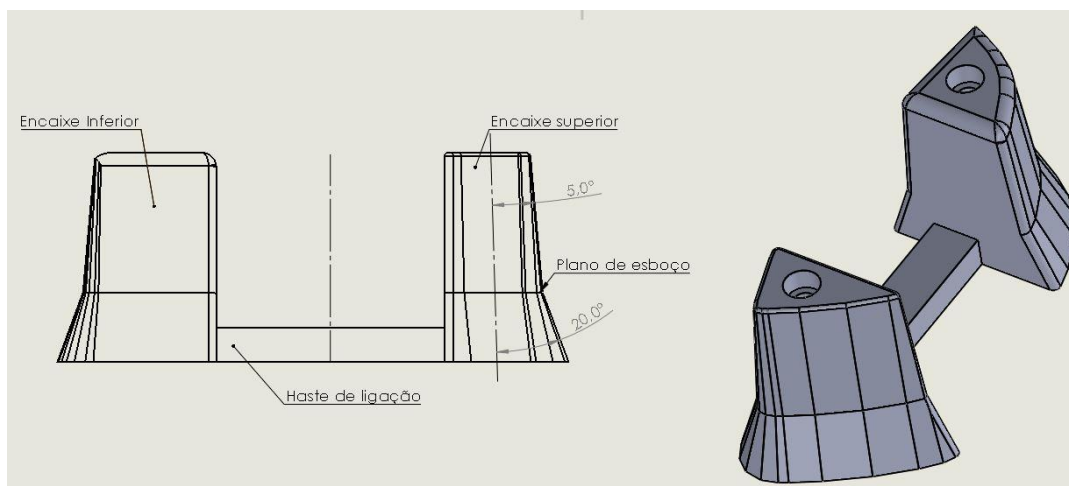
Figura 14 - Geometria de referência lado direito.



Fonte: Próprio autor.

Com a geometria de referência da peça, obteve-se a primeira versão do indexador. No plano do esboço foram realizadas duas extrusões, a primeira para baixo com angulação de 20° para fora e a segunda para cima com angulação de 5° para dentro. O objetivo dessas angulações é facilitar o encaixe da peça. Optou-se por realizar um corte na região do meio da peça, para reduzir a quantidade de material. Com o objetivo de unir e garantir a distância constante entre os apoios, optou-se por construir uma haste de ligação. O modelo da primeira versão do indexador pode ser visto na Figura 15.

Figura 15- Modelo 3D da primeira versão do indexador.



Fonte: Próprio autor.

Um primeiro modelo foi construído por meio de manufatura aditiva, apresentado na Figura 16.

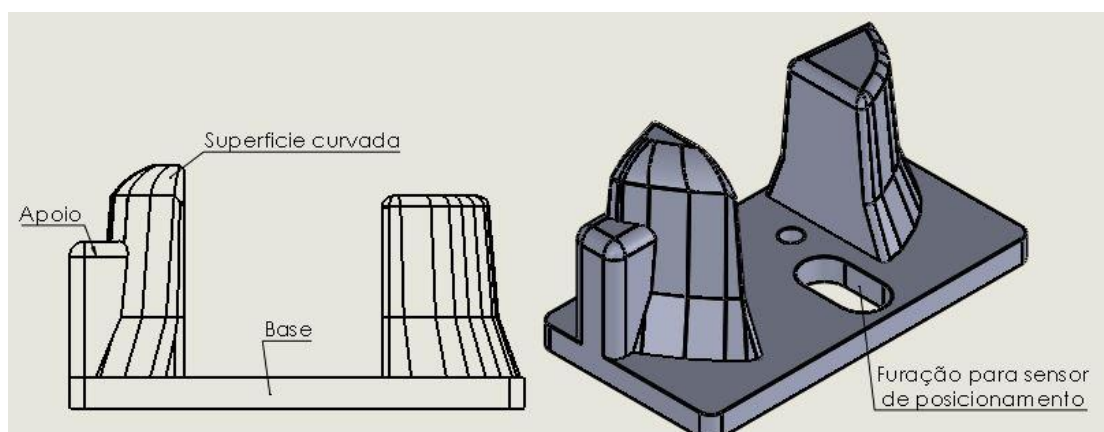
Figura 16 - Primeira versão indexador.



Fonte: Próprio autor.

Analisando o modelo construído da primeira versão do indexador, constatou-se a necessidade de uma base com furação para encaixe do sensor de posicionamento, para fixação do indexador na estrutura. Também é necessário um apoio para que a peça mantenha um ângulo para garantir que a câmera consiga inspecionar todos os itens do escopo. Além disso, é necessário que o encaixe inferior tenha uma superfície curvada com objetivo de facilitar o encaixe da peça. As alterações podem ser vistas na Figura 17.

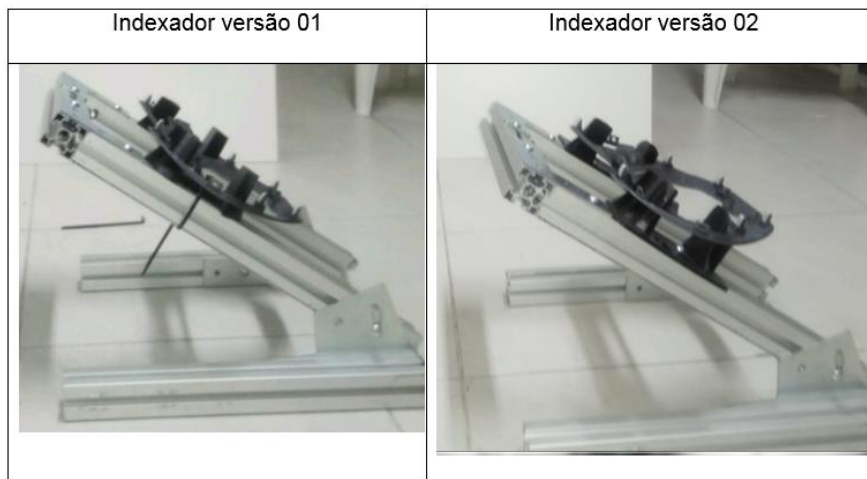
Figura 17 - Modelo 3D da segunda versão do indexador.



Fonte: Próprio autor.

Por meio das alterações realizadas no indexador, com o objetivo de melhorar a inspeção dos critérios de avaliação, pode-se perceber as diferenças vistas na Figura 18. A simples alteração da inclinação da peça permitiu que o sensor de visão capturasse corretamente o formato das peças, o que na versão anterior do indexador não era possível.

Figura 18 - Diferenças entre as versões um e dois dos indexadores.

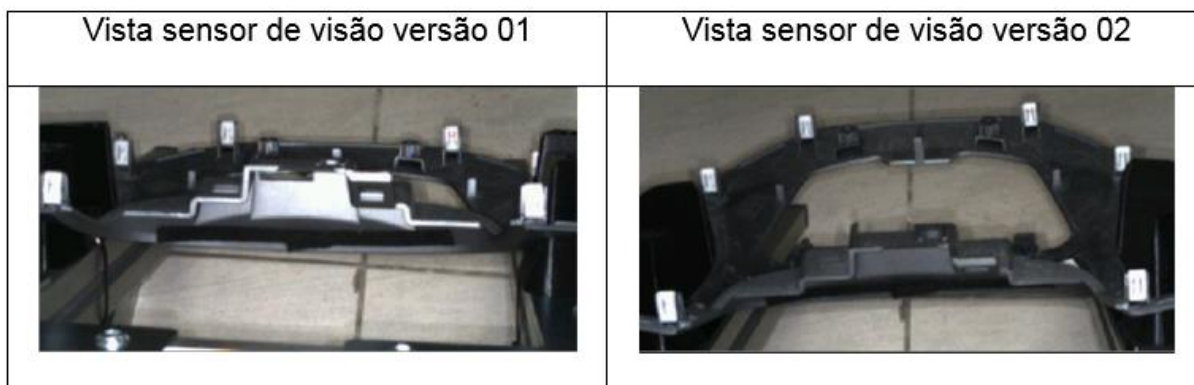


Fonte: Próprio autor.

Adicionando a base, foi possível prever uma furação para inserir o sensor de posicionamento. Por último, a superfície curvada no encaixe inferior permite a inserção mais suave da peça, tornando menor o risco em danificá-las.

A Figura 19 mostra a diferença causada pelas versões dos indexadores do ponto de vista do sensor de visão.

Figura 19 - Diferença causada pelo indexador na vista do sensor de visão.

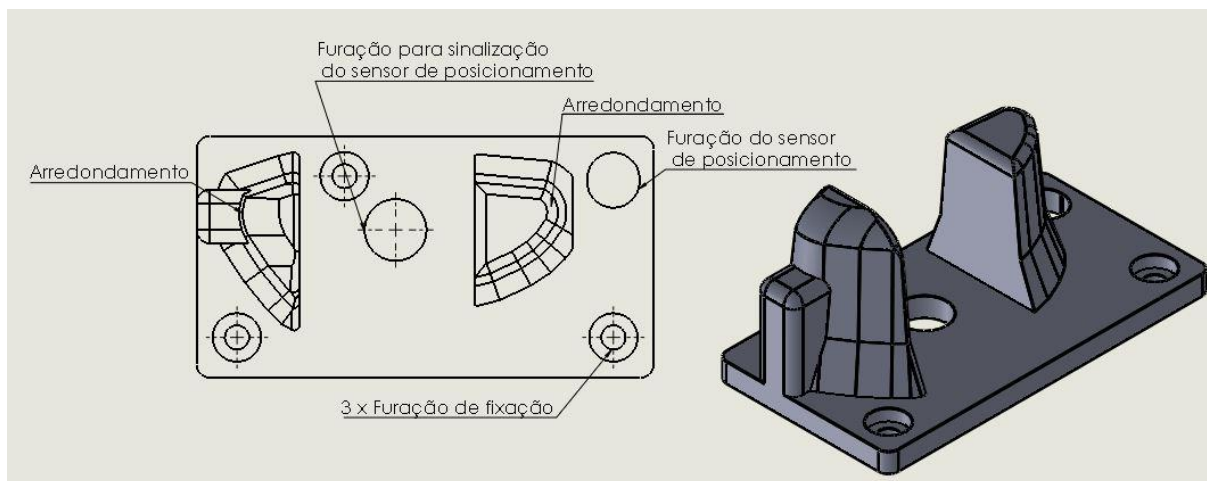


Fonte: Próprio autor.

Analisando o modelo construído da segunda versão do indexador, constatou-se que é necessário realizar um arredondamento nos encaixes, superior e

inferior, para eliminar os cantos vivos. Percebeu-se que poderia ser melhorada a localização do sensor de posicionamento, fazendo possível a detecção de uma área maior da peça. Verificou-se a necessidade de inserir uma furação para adicionar um LED de sinalização que indica o acionamento do sensor de posicionamento. As alterações que compõe a terceira versão do indexador podem ser vistas na Figura 20.

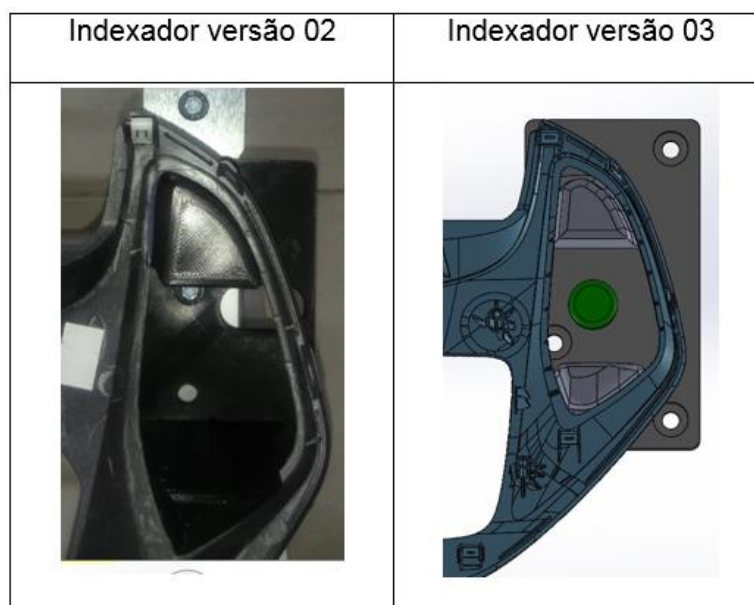
Figura 20 - Modelo 3D da terceira versão do indexador.



Fonte: Próprio autor.

A Figura 21 demonstra as alterações entre as versões 2 e 3 dos indexadores.

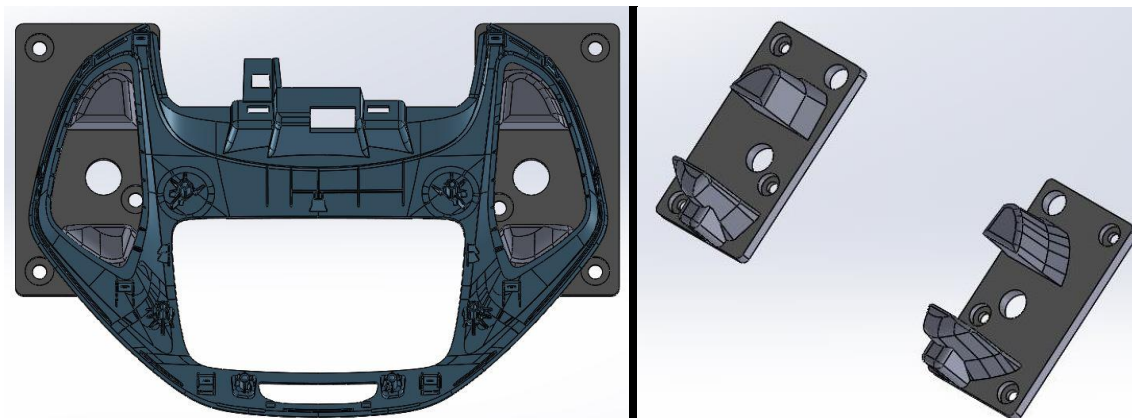
Figura 21 - Diferenças entre as versões dois e três dos indexadores



Fonte: Próprio autor.

Após as três versões desenvolvidas e aplicando melhorias em cada uma delas, chegou-se à um leiaute final para o indexador que pode ser visto na Figura 22.

Figura 22 - Modelo 3D do leiaute final do indexador.



Fonte: Próprio autor.

4.3.1.2.1 Material Indexador

Com a forma e geometria do indexador definidas com bases em critérios técnicos e de especificações do projeto, definiu-se o material para fabricação do indexador. Este, foi construído com uma resina de poliuretano com dureza Shore 80 A, mesmo material utilizado pelo cliente em outras bancadas com indexação de peças plásticas com pintura. A resina de poliuretano impede que o indexador danifique a peça inspecionada e ao mesmo tempo tenha resistência mecânica suficiente para a aplicação. Para desenvolver a base do indexador, utiliza-se alumínio, fixando os elementos de resina de poliuretano. O modelo final do indexador após a fabricação pode ser visto na Figura 23.

Figura 23 - Leiaute final do indexador.



Fonte: Próprio autor.

A instalação dos indexadores no berço da estrutura podem ser vistas na Figura 24.

Figura 24 - Instalação do indexador no berço.

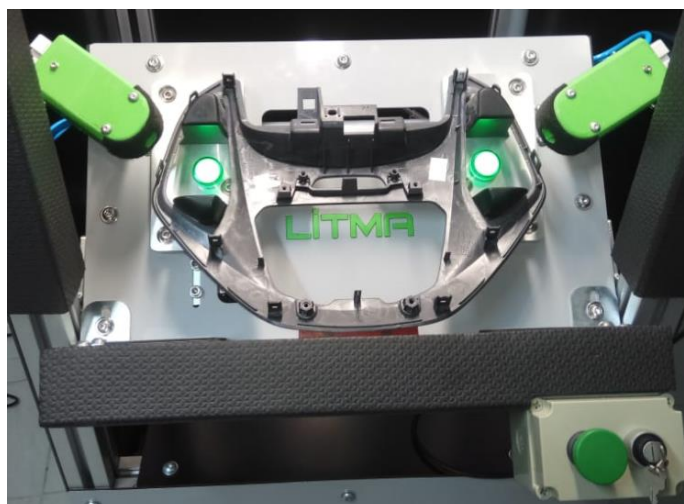


Fonte: Próprio autor.

4.3.1.2.2 Travamento

Com o indexador definido, a peça está devidamente posicionada e necessita-se que exista um mecanismo de travamento, para impedir que a peça seja retirada durante a operação. Para isso, desenvolveu-se um sistema de travamento composto por dois atuadores pneumáticos que contam com um sistema de proteção para atender a norma NR12. O módulo de travamento deve ser instalado na estrutura do berço junto aos indexadores e possuem uma proteção na cor verde. Sua instalação pode ser vista na Figura 25.

Figura 25 - Instalação do módulo de travamento.



Fonte: Próprio autor.

4.3.1.3 *Leiaute final módulo mecânico.*

Após a montagem de todos os módulos, obtém-se o leiaute final do módulo mecânico que pode ser visto na Figura 26.

Figura 26 - Leiaute final do módulo mecânico.



Fonte: Próprio autor.

4.3.2 **Sistema Eletroeletrônico**

O sistema eletroeletrônico é responsável pela alimentação, proteção, controle e acionamento da bancada. Este sistema foi subdividido em três módulos, sendo eles, proteção e alimentação; controle e acionamento; distribuição. O apêndice A mostra o diagrama elétrico unifilar da bancada.

4.3.2.1 *Módulo Proteção e Alimentação*

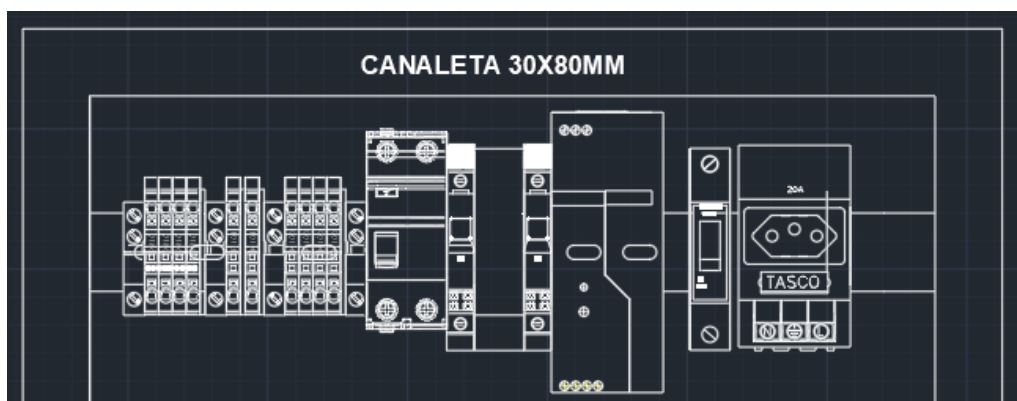
O módulo proteção e alimentação é responsável por alimentar e proteger os dispositivos utilizados na bancada.

O módulo é composto por:

- Chave seccionadora: serve para desligamento geral da máquina;
- Sinalizador 220V: serve para indicar se há ou não tensão na bancada;
- Disjuntor DR: detecta fugas de corrente no circuito e desarma automaticamente evitando choques elétricos para o usuário;
- Disjuntor termomagnético: é um interruptor automático que desarma ao detectar picos de corrente;
- Fonte de alimentação 5V 25W: serve para alimentar o computador industrial;
- Fonte de alimentação 24 240W: serve para alimentar todos os componentes do painel que são 24V;
- Tomada monofásica 220 V 10 A: serve para ligação de equipamentos externos 220V.
- Bornes: utilizado para fazer a conexões dos fios.

A Figura 27 mostra o posicionamento dos itens que compõem o módulo, sem a chave seccionadora e o sinalizador 220V, pois ficam instalados na porta do painel elétrico.

Figura 27 - Módulo de proteção e alimentação.



Fonte: Próprio autor.

4.3.2.2 Módulo de Controle e Acionamento

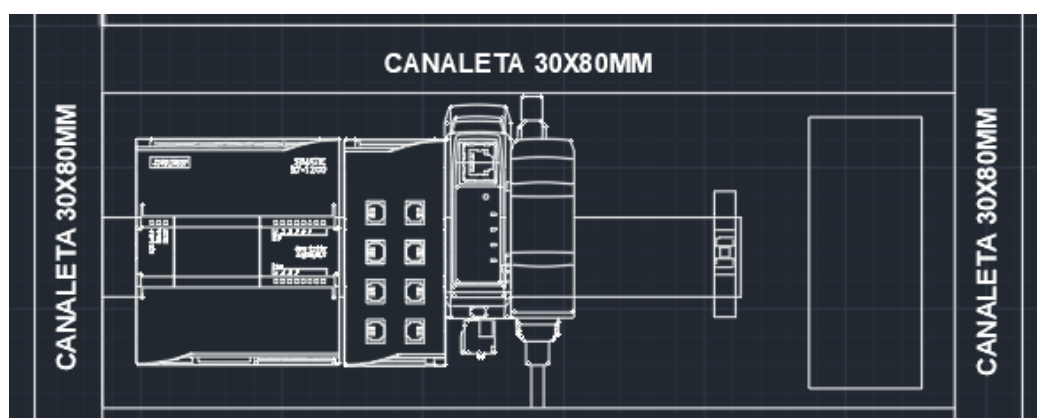
O módulo de controle é responsável por realizar o controle e acionamentos da bancada. É composto por:

- Controlador Lógico Programável: tem como função comandar e monitorar as variáveis das bancadas e realizar a comunicação entre o sensor de visão, sensor aparência e computador indústria;

- Controlador do sensor de aparência: é responsável por adquirir as informações de cores do sensor de aparência;
- Unidade de comunicação de rede PROFINET Keyence: é responsável por realizar a comunicação entre controlador do sensor de aparência e o CLP;
- Computador industrial: faz as análises dos testes e gerencia as telas da IHM por meio do *software* de gerenciamento de testes Laudit Pro;
- Switch: permite a comunicação entre os equipamentos.

A Figura 28 mostra o posicionamento dos itens do módulo de controle e acionamento no painel elétrico.

Figura 28 - Módulo de controle e acionamento.



Fonte: Próprio autor.

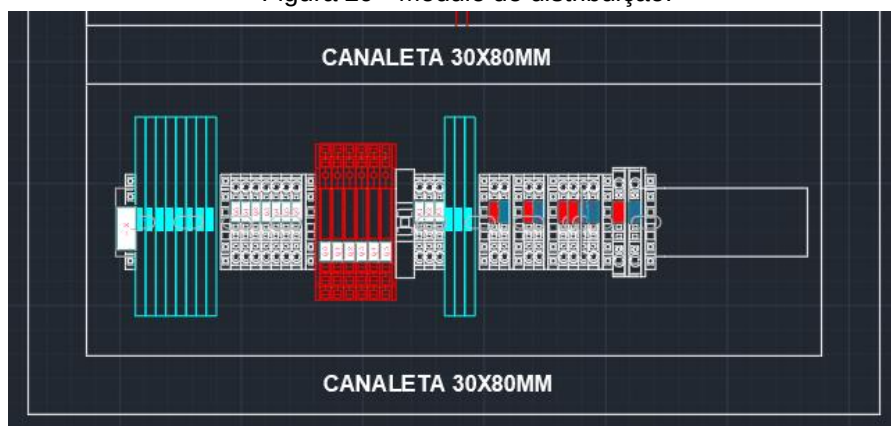
4.3.2.3 Módulo Distribuição

O módulo distribuição é responsável por realizar a distribuição das entradas e saídas dos dispositivos em bornes e relés. É composto por:

- Bornes: utilizados para conexões dos condutores de entradas e saídas;
- Relés: utilizados para proteger as entradas e saídas do CLP.

A Figura 29 mostra o posicionamento dos itens do módulo de distribuição no painel elétrico.

Figura 29 - Módulo de distribuição.



Fonte: Próprio autor.

4.3.2.4 Montagem final do painel elétrico

A montagem final do painel elétrico pode ser vista na Figura 30.

Figura 30 - Montagem final do painel elétrico.



Fonte: Próprio autor.

4.3.3 Sistema Programação

Para o correto funcionamento do equipamento com o objetivo de cumprir as tarefas no qual ele é atribuído, faz-se necessária a programação de acordo com um fluxograma de funcionamento que dita as etapas pela qual o equipamento deve passar e tomar decisões para alcançar o objetivo final. O sistema é composto por um módulo de programação de visão responsável pela detecção dos critérios de

avaliação e um módulo de programação do CLP responsável por comandar e monitorar os processos.

Portanto, é necessário realizar a programação individual do módulo de visão e do módulo CLP.

4.3.3.1 *Módulo de visão*

O módulo de visão é composto por um sensor de visão que tem como função detectar a existência dos cliques, do formato e do fletro. Também possui um sensor de aparência que tem como função a detecção da cor.

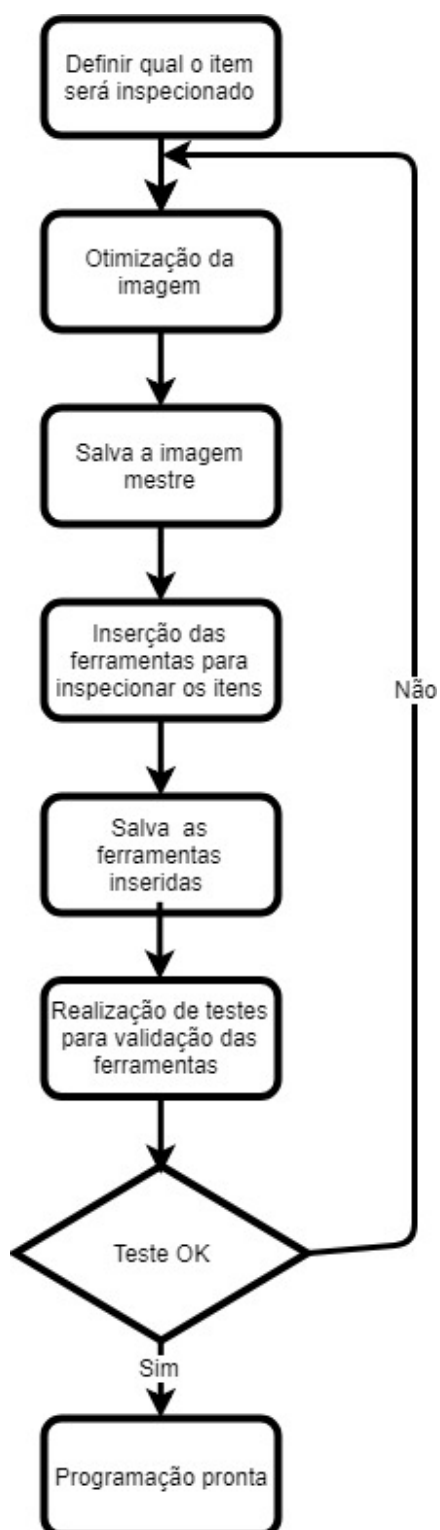
4.3.3.1.1 Sensor de Visão

Foi utilizado um sensor de visão do fabricante Keyence modelo IV500MA conforme especificações de projeto. A utilização do modelo do sensor de visão se deu pela largura da peça a ser inspecionada, que resultou no modelo com capacidade de distância instalada de 500 mm, como é mostrado na Figura 6.

Este sensor é versátil, permitindo o cadastro de até 32 programas diferentes tornando possível a avaliação de diferentes critérios, em diferentes tipos de peça. Também é possível avaliar até 16 critérios diferentes na mesma imagem.

O sensor de visão utilizado possui um *software* próprio, *IV-Navigator*, que permite a programação dos critérios de avaliação a serem utilizados para a inspeção. Para inspecionar a peça, é necessário, primeiramente, definir o critério de avaliação. Com isso definido, otimiza-se a imagem para evidenciar o que deve ser avaliado, gerando uma imagem mestre que servirá de referência. Nesta, são inseridas as ferramentas para inspecionar os critérios de avaliação. Posteriormente, faz-se a etapa de teste de validação da programação. O fluxograma para programação do sensor de visão pode ser visto na Figura 31.

Figura 31- Fluxograma de programação do sensor de visão



Fonte: Próprio autor.

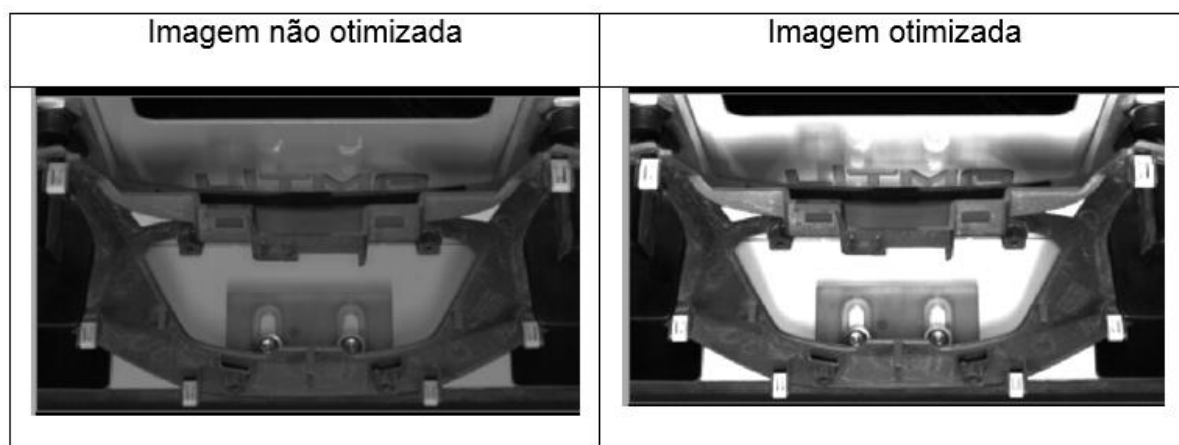
Foram desenvolvidos sete programas para o sensor de visão, sendo eles os programas para detecção de: clipes, formato 01, formato 02, formato 03, formato 04, filtro e detecção de clipes.

4.3.3.1.1.1 Detecção de cliques

De acordo com o fluxograma de programação, Figura 31 na Figura 31., realizou-se a programação, no *software* IV_NAVIGATOR, do programa para detecção dos cliques dos oito modelos de peças.

Primeiramente, otimizou-se a imagem ajustando o brilho e o foco até que se evidenciasse os cliques com uma cor mais clara do que as demais regiões ao seu redor. Com isso, é possível distinguir o elemento a ser inspecionado. O resultado da otimização da imagem pode ser visto na Figura 32.

Figura 32 - Otimização da imagem para detecção dos cliques.



Fonte: Próprio autor.

A imagem otimizada torna-se referência para inspeção, denominada imagem mestre. Posteriormente, são inseridas as ferramentas de inspeção.

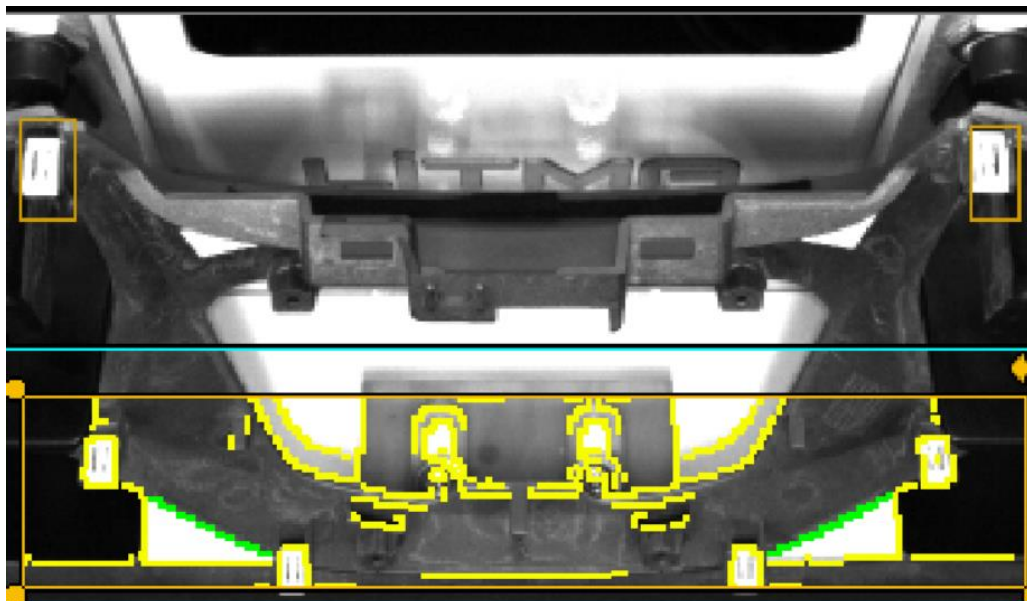
Primeiramente, insere-se a ferramenta de ajuste de posição, que serve para permitir que as ferramentas sigam uma característica padrão do critério de avaliação. Esta ferramenta serve para corrigir o posicionamento das demais ferramentas, caso haja variação da posição da peça.

A ferramenta de ajuste de posição reconhece os contornos da imagem, na sequência procura-se um contorno presente em todos os modelos da peça a serem inspecionadas e descartam-se os contornos não desejados.

Todos os modelos que serão testados possuem os contornos destacados na cor verde. Estes são utilizados para referenciar o posicionamento dos oito modelos da peça. Já os contornos em amarelo, são os que não serão considerados para

realizar o ajuste de posição. Os contornos destacados da peça podem ser visualizados na Figura 33.

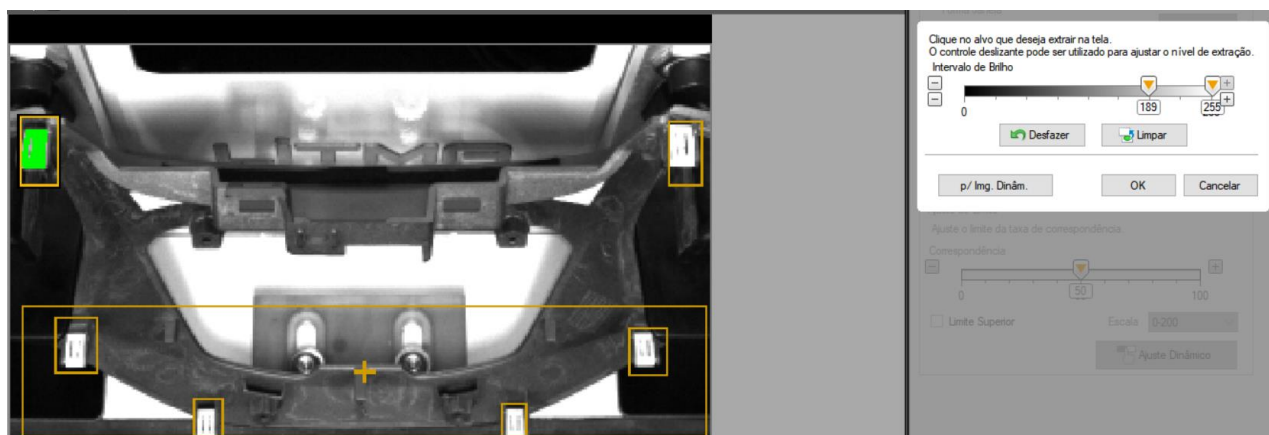
Figura 33 - Aplicação da ferramenta de ajuste de posição para os cliques.



Fonte: Próprio autor.

Posteriormente, insere-se a ferramenta de área com objetivo de extrair a cor de uma determinada região da imagem mestre. Inicialmente, define-se uma região ao redor do elemento e extraiu-se sua cor, variando a escala de cinza para distinguir das regiões ao redor como pode ser visto na Figura 34. Este processo é repetido para os cinco cliques restantes.

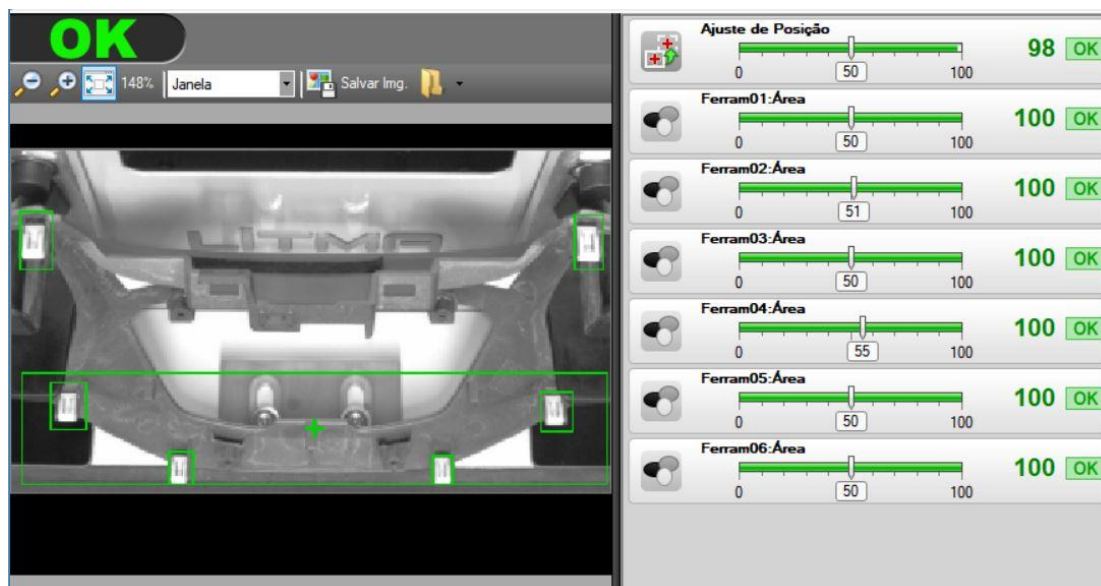
Figura 34 - Aplicação da ferramenta de área para detecção do clipe.



Fonte: Próprio autor.

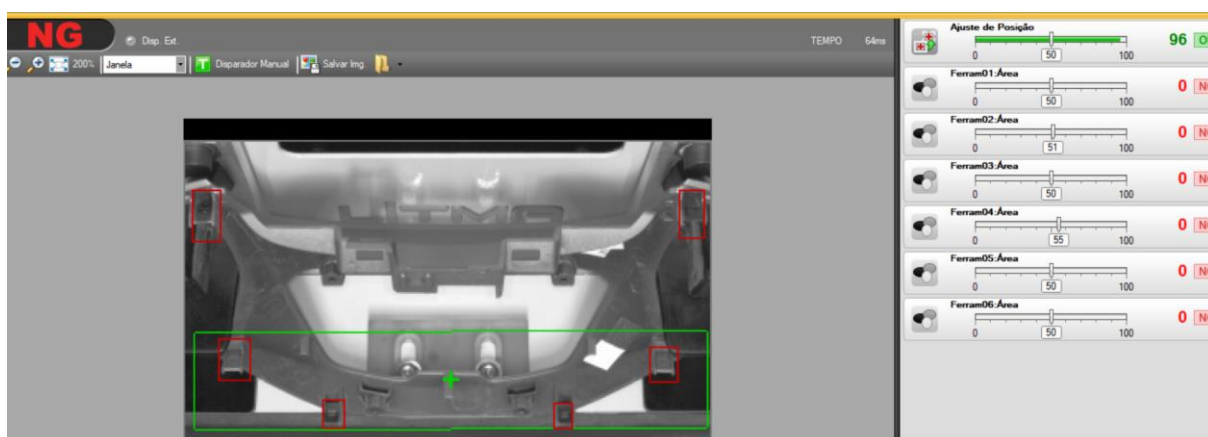
Para validação da programação do clipe, testa-se uma peça com a presença de todos os cliques e outra com ausência de cliques, como pode ser visto nas Figura 35 e Figura 36.

Figura 35 - Teste da peça com a presença dos cliques.



Fonte: Próprio autor.

Figura 36 - Teste de peça com ausência de cliques.



Fonte: Próprio autor.

A Figura 35 mostra que todos os cliques foram detectados e a Figura 36 mostra que nenhum clipe foi detectado.

4.3.3.1.1.2 Detecção do Formato 1

O formato 1 é geometria do modelo 1 e do modelo 2. Para realizar a programação do sensor de visão para detectar o formato 1, seguiu-se o fluxograma de programação conforme na Figura 31.

Inicialmente, otimizou-se a imagem mestre de forma que os contornos da peça que representam o formato fossem evidenciados. Na Figura 37, percebe-se que na imagem otimizada o contorno da peça se destaca do fundo.

Figura 37 - Otimização da imagem para detecção do formato 1.

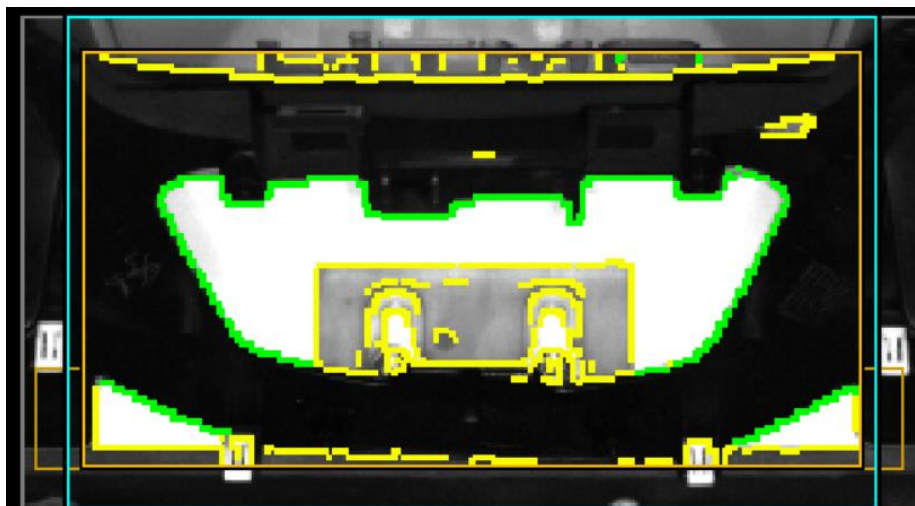


Fonte: Próprio autor.

Com a imagem mestre otimizada, inicia-se o processo de inserção de ferramentas de inspeção. Conforme o método utilizado para a detecção de cliques, é necessário inserir uma ferramenta de ajuste de posição. Como esta ferramenta funciona nos oito modelos de peça, foi replicada para todos os seis programas do sensor de visão.

Para detectar o formato da peça, utilizou-se a ferramenta de resumo que detecta os contornos presentes na imagem, estes representam o formato da peça e de objetos presentes na imagem mestre. Esta ferramenta analisa o percentual de contornos presentes na imagem testada comparando-a com os contornos detectados na imagem mestre. A ferramenta de resumo detecta todos os contornos presentes na imagem mestre, onde deve-se selecionar os contornos que são exclusivos do modelo que deseja-se detectar o formato. Para isso, descartaram-se os contornos comuns entre os modelos que estão representados na cor amarela e se utilizam os contornos que estão na cor verde, para identificar o modelo testado. Como pode ser visto na Figura 38.

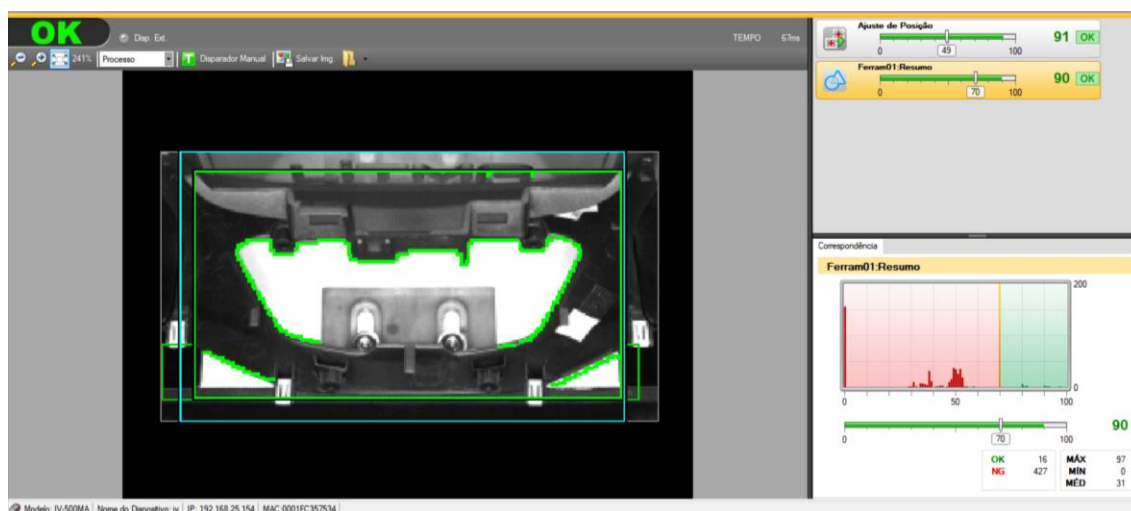
Figura 38- Aplicação da ferramenta de resumo para selecionar o contorno do formato 1



Fonte: Próprio autor.

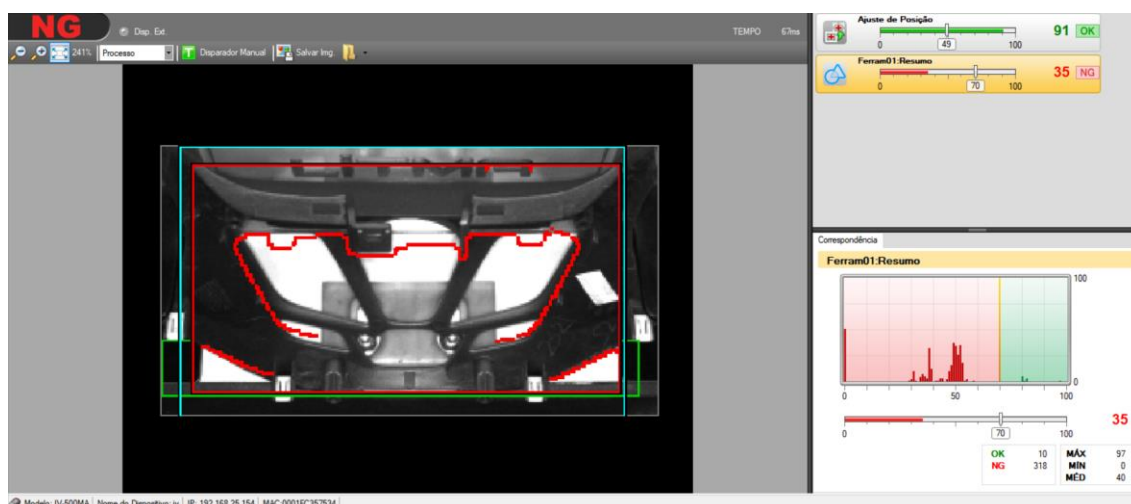
Para testar a programação de detecção do formato 1, utilizou-se as peças com os demais formatos, a fim de validar o contorno escolhido, como pode ser visto nas Figura 39, Figura 40, Figura 41 e Figura 42.

Figura 39 - Teste do formato 1 com uma peça do formato 1.



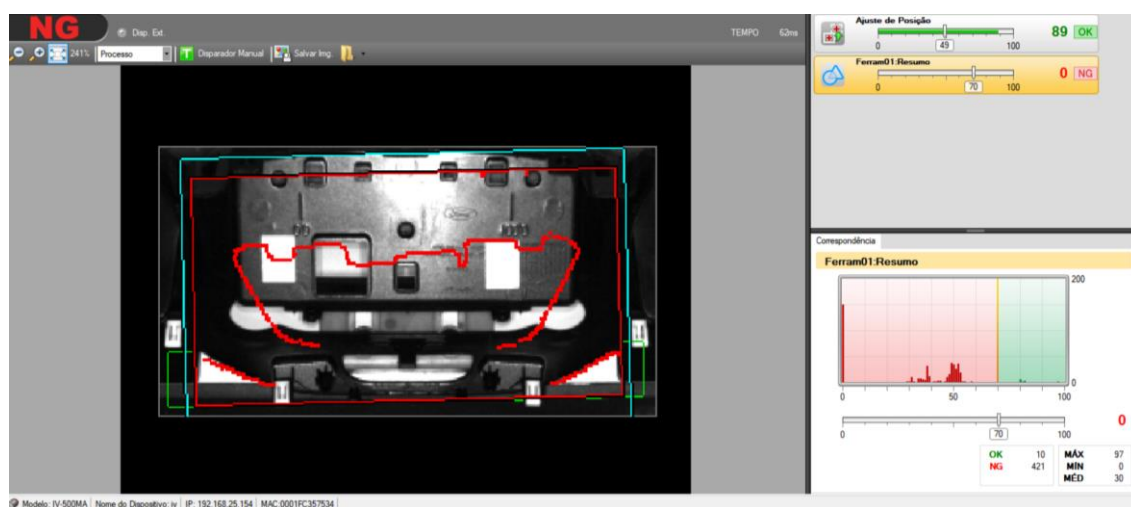
Fonte: Próprio autor.

Figura 40 - Teste do formato 1 com uma peça do formato 2.



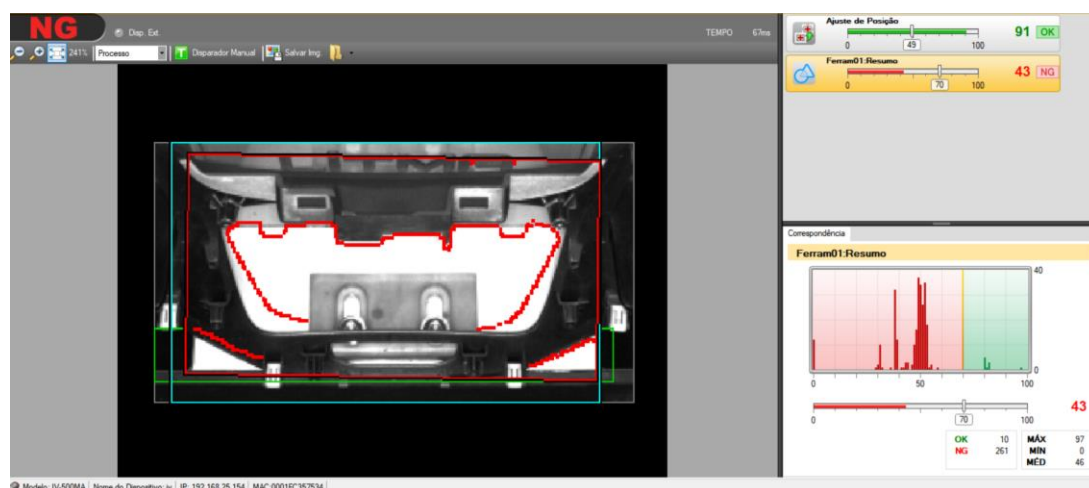
Fonte: Próprio autor.

Figura 41 - Teste do formato 1 com uma peça do formato 3.



Fonte: Próprio autor.

Figura 42 - Teste do formato 1 com uma peça do formato 4.



Fonte: Próprio autor.

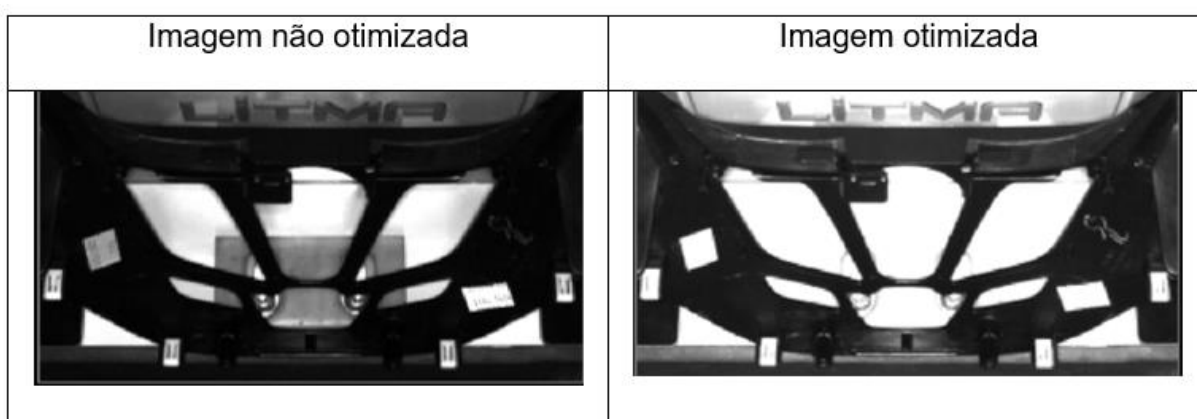
As imagens para validar a programação da detecção do formato 1 mostram que os resultados das inspeções estão validados, pois foi aprovada a peça com o formato correto e foram negadas as peças com formato incorreto.

4.3.3.1.1.3 Detecção do Formato 2

O formato 2 é geometria do modelo 3 e do modelo 4. O método para programar o sensor de visão para detectar o formato 2 é o mesmo utilizado para detectar o formato.

A Figura 43 mostra a imagem mestre não otimizada e otimizada.

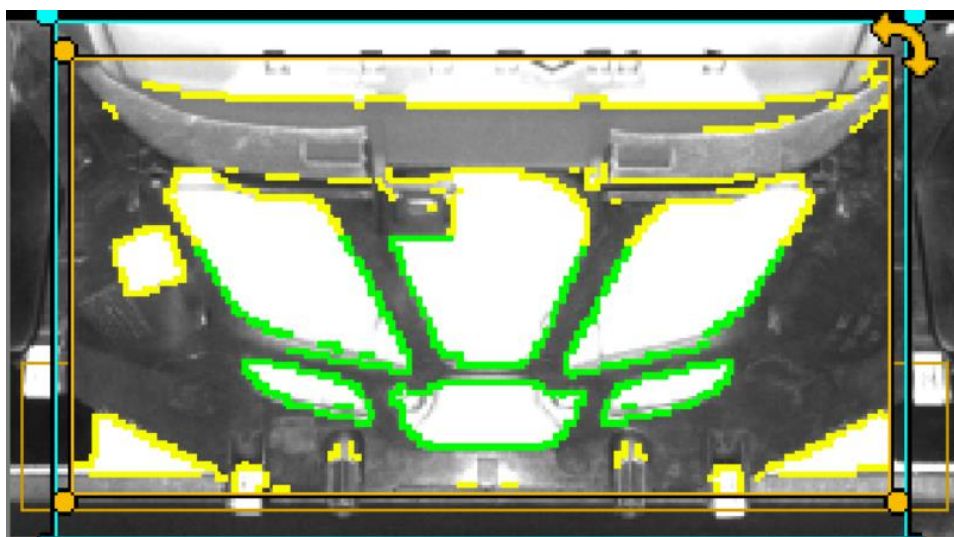
Figura 43 – Otimização da imagem para detecção do formato 2.



Fonte: Próprio autor.

A Figura 44 mostra a aplicação da ferramenta de resumo na imagem mestre para seleccionar o contorno do formato 2.

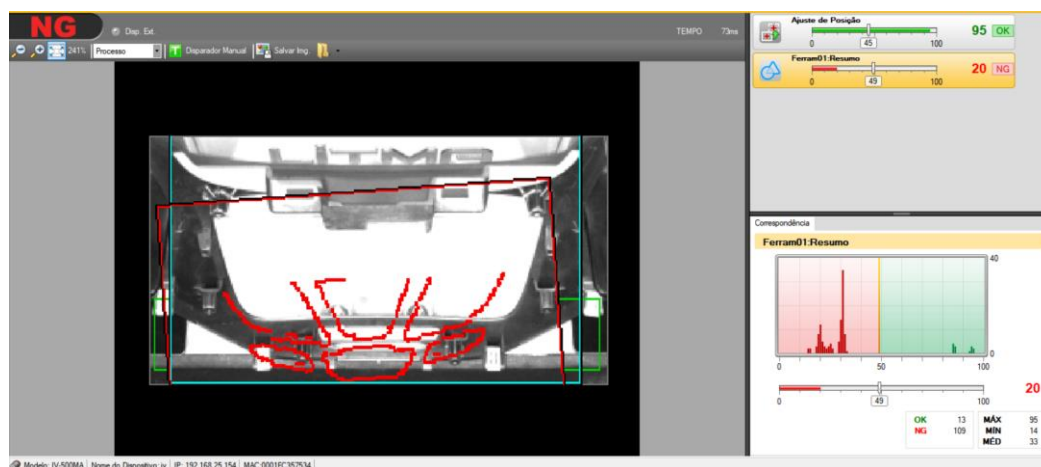
Figura 44 - Aplicação da ferramenta de resumo para seleccionar o contorno do formato 2.



Fonte: Próprio autor.

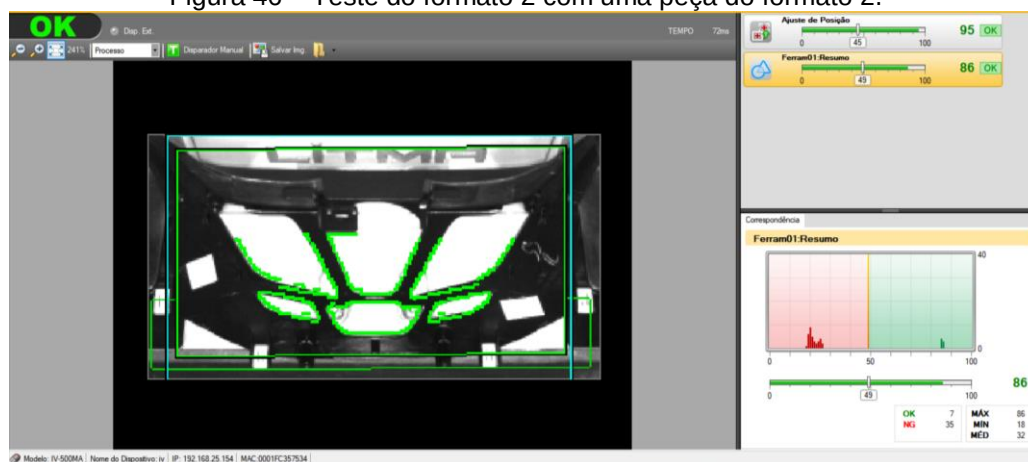
Para testar a programação do formato 2, inspeciona-se as peças com os demais formatos, a fim de validar o contorno escolhido como pode ser visto nas Figura 45, Figura 46, Figura 47 e Figura 48.

Figura 45 – Teste do formato 2 com uma peça do formato 1.



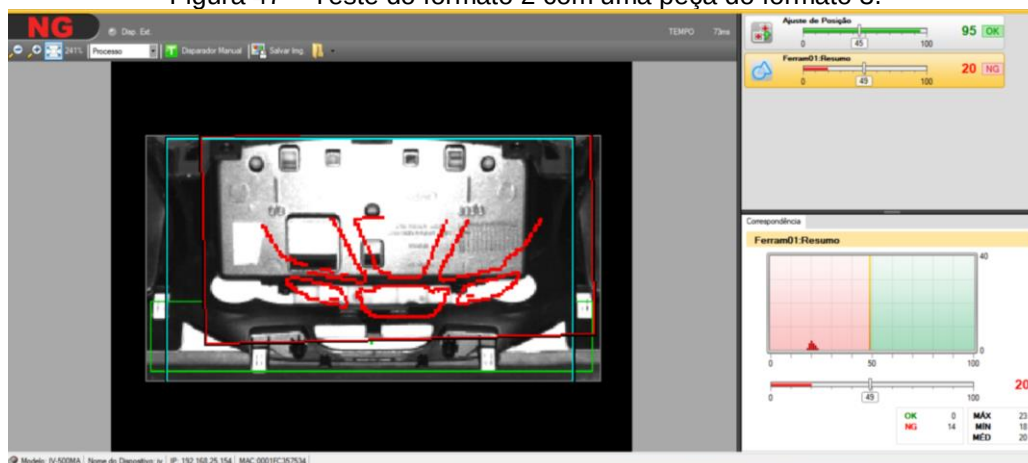
Fonte: Próprio autor.

Figura 46 – Teste do formato 2 com uma peça do formato 2.



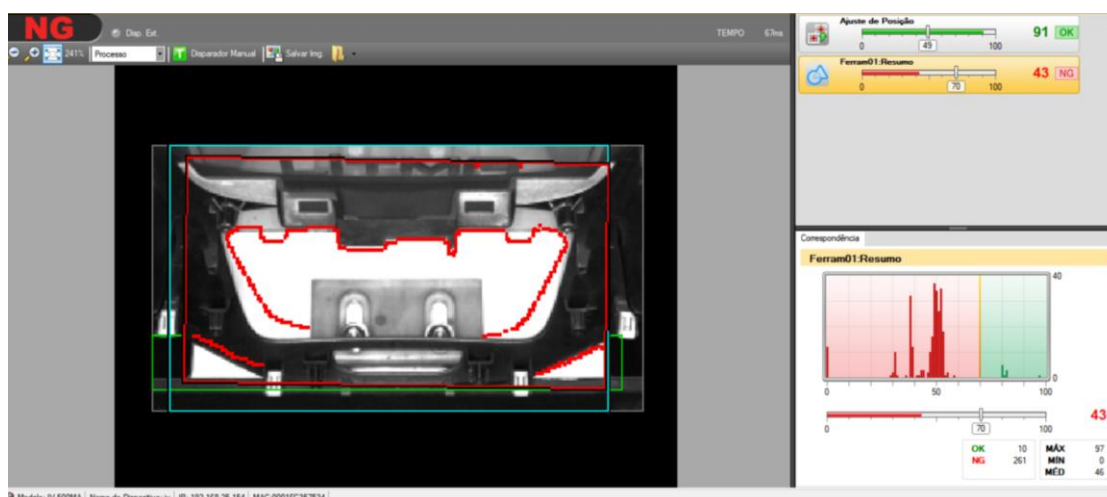
Fonte: Próprio autor.

Figura 47 – Teste do formato 2 com uma peça do formato 3.



Fonte: Próprio autor.

Figura 48 – Teste do formato 2 com uma peça do formato 4.



Fonte: Próprio autor.

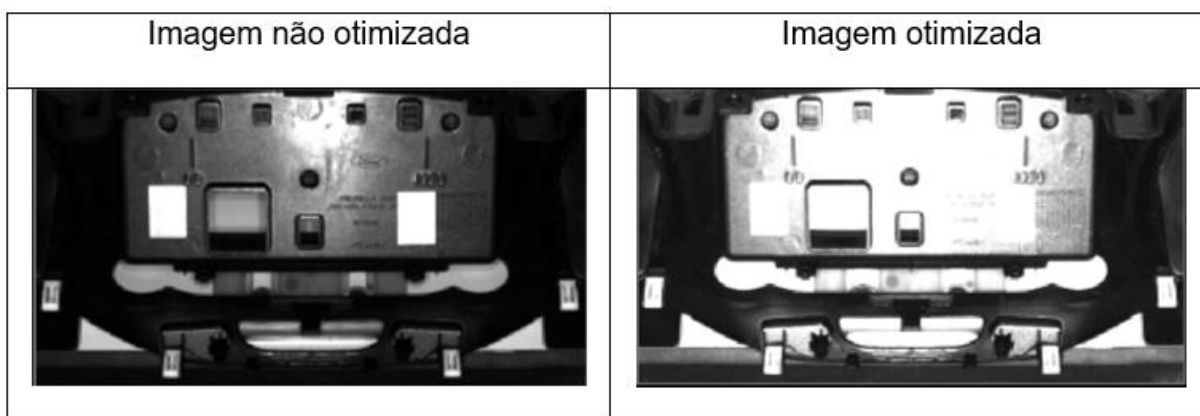
As imagens para validar a programação da detecção do formato 2 mostram que os resultados das inspeções estão validados, pois foi aprovada a peça com o formato correto e negadas as peças com formato incorreto.

4.3.3.1.1.4 Detecção do Formato 3

O formato 3 é geometria do modelo 5, do modelo 6 e do modelo 7. O método para programar o sensor de visão para detectar o formato 3 é o mesmo utilizado para detectar o formato 1.

A Figura 49 mostra a imagem mestre não otimizada e otimizada.

Figura 49 – Otimização da imagem para detecção do formato 3.



Fonte: Próprio autor.

A Figura 50 mostra a aplicação da ferramenta de resumo na imagem mestre para seleccionar o contorno do formato 3.

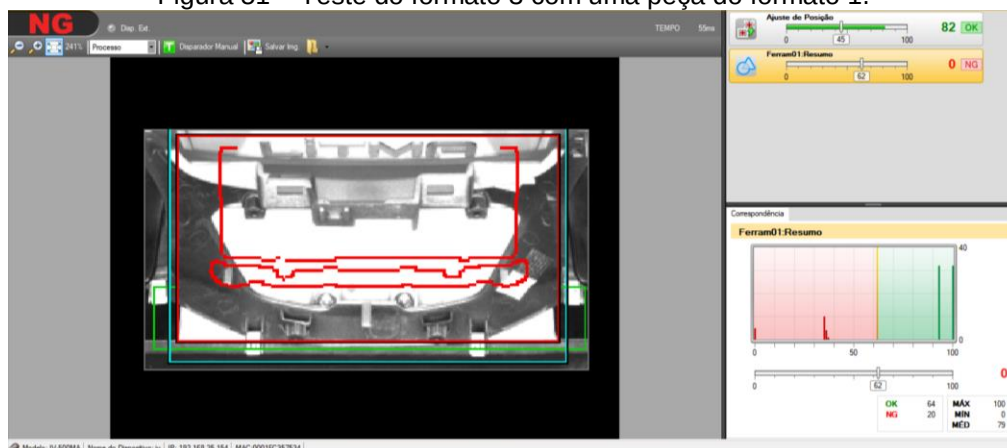
Figura 50 – Aplicação da ferramenta de resumo para selecionar o contorno do formato 3.



Fonte: Próprio Autor.

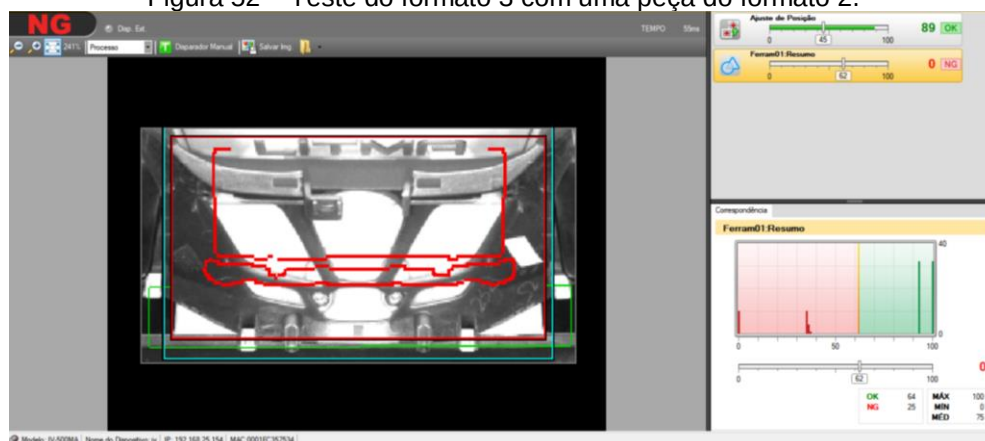
Para testar a programação do formato 3, testaram-se as peças com os demais formatos, a fim de validar o contorno escolhido como pode ser visto nas Figura 51, Figura 52, Figura 53 e Figura 54.

Figura 51 – Teste do formato 3 com uma peça do formato 1.



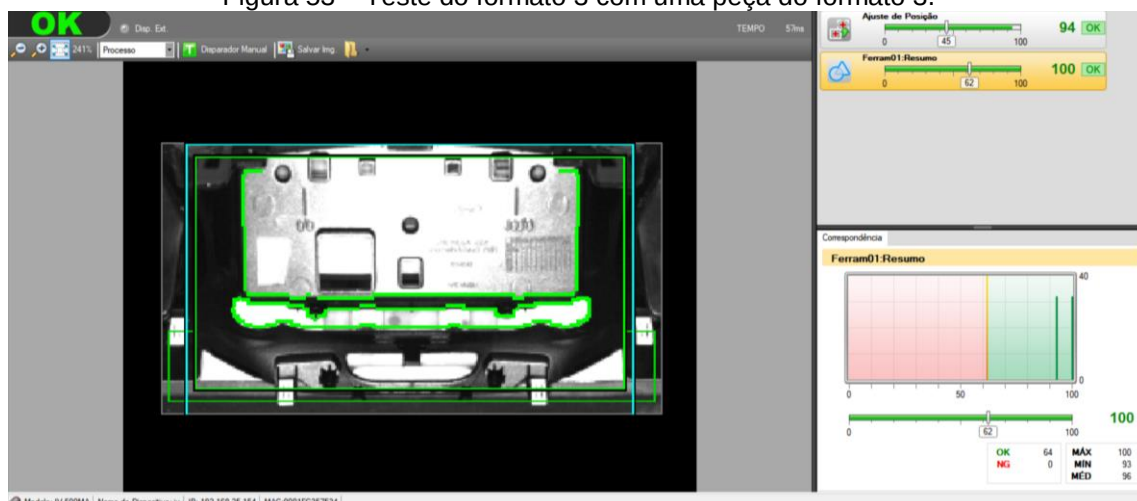
Fonte: Próprio autor.

Figura 52 – Teste do formato 3 com uma peça do formato 2.



Fonte: Próprio autor.

Figura 53 – Teste do formato 3 com uma peça do formato 3.



Fonte: Próprio autor.

Figura 54 – Teste do formato 3 com uma peça do formato 4.



Fonte: Próprio autor.

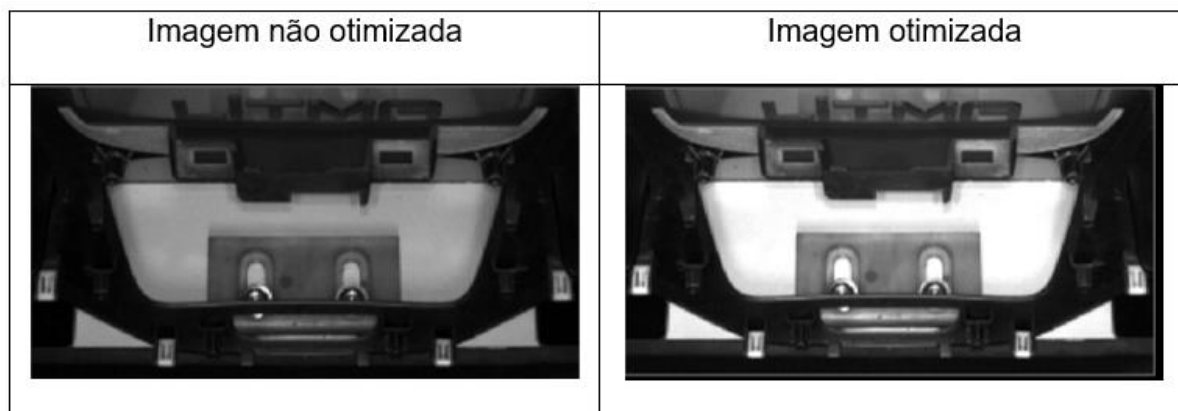
As imagens para validar a programação da detecção do formato 3 mostram que os resultados das inspeções estão validados, pois foi aprovada a peça com o formato correto e foram negadas as peças com formato incorreto.

4.3.3.1.1.5 Detecção do Formato 4

O formato 4 é geometria do modelo 8. O método para programar o sensor de visão para detectar o formato 4 é o mesmo utilizado para detectar o formato 1.

A Figura 55 mostra a imagem mestre não otimizada e otimizada.

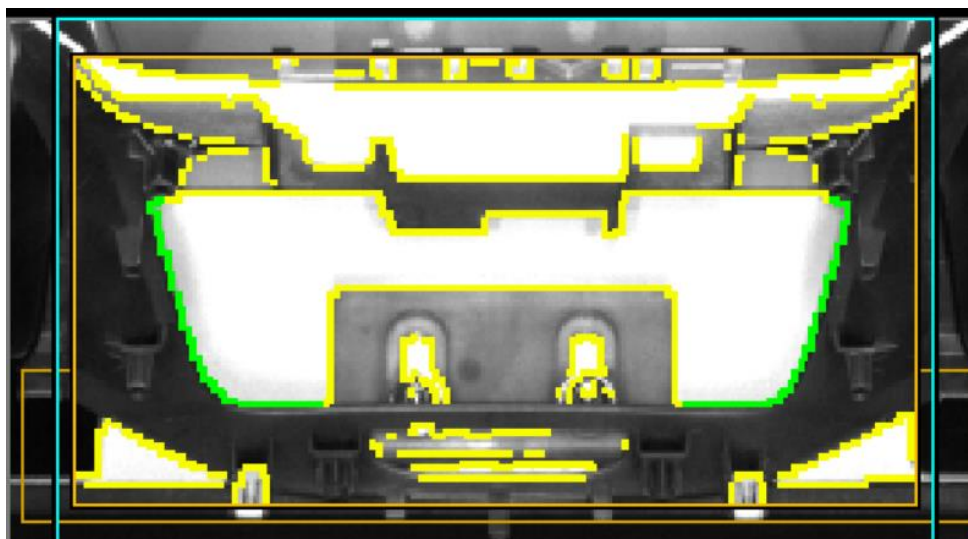
Figura 55 - Otimização da imagem para detecção do formato 4.



Fonte: Próprio autor.

A Figura 56 mostra a aplicação da ferramenta de resumo na imagem mestre para selecionar o contorno do formato 4.

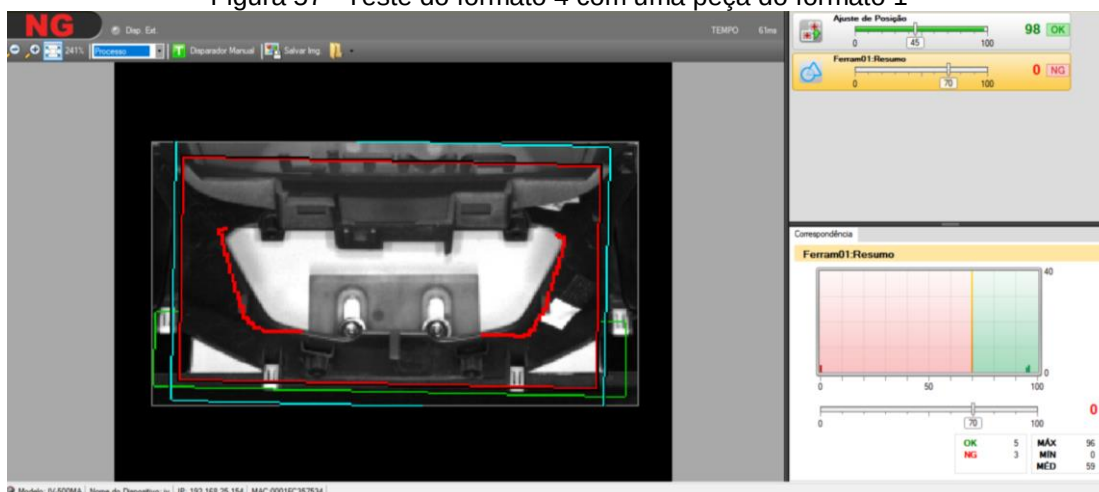
Figura 56 – Aplicação da ferramenta de resumo para selecionar o contorno do formato 4.



Fonte: Próprio Autor.

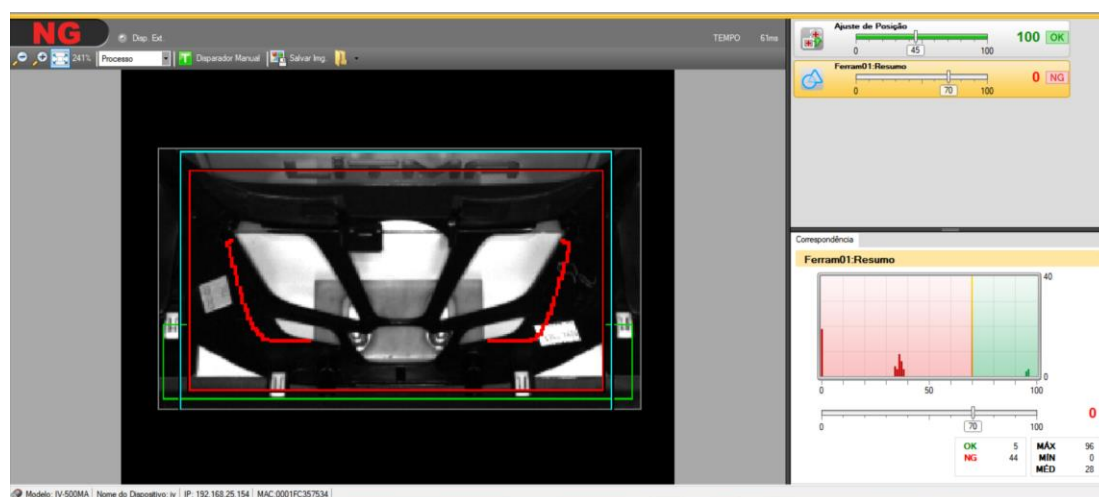
Para testar a programação do formato 4, foram testadas as peças com os demais formatos a fim de validar o contorno escolhido, como pode ser visto nas imagens apresentadas em Figura 57, Figura 58, Figura 59 e Figura 60.

Figura 57– Teste do formato 4 com uma peça do formato 1



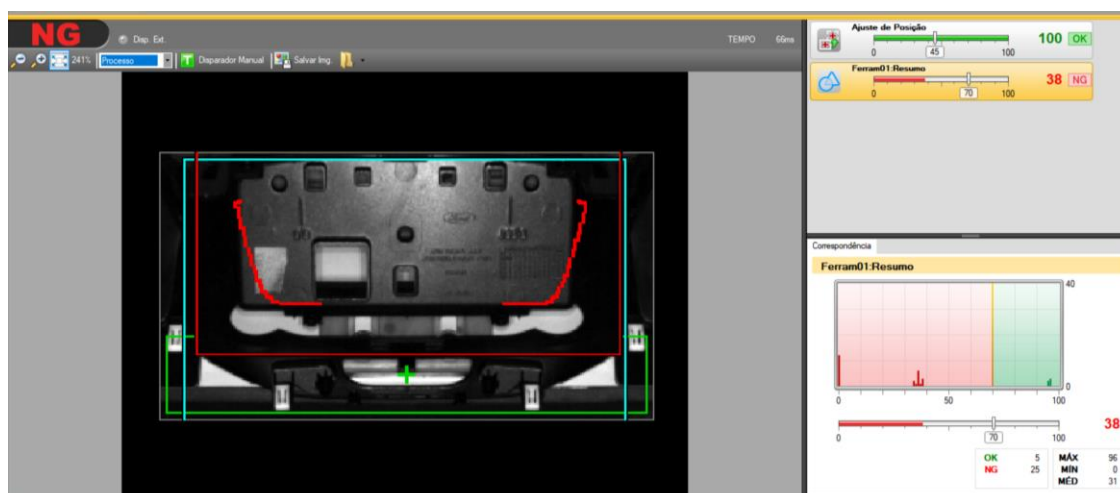
Fonte: Próprio autor.

Figura 58 – Teste do formato 4 com uma peça do formato 2.



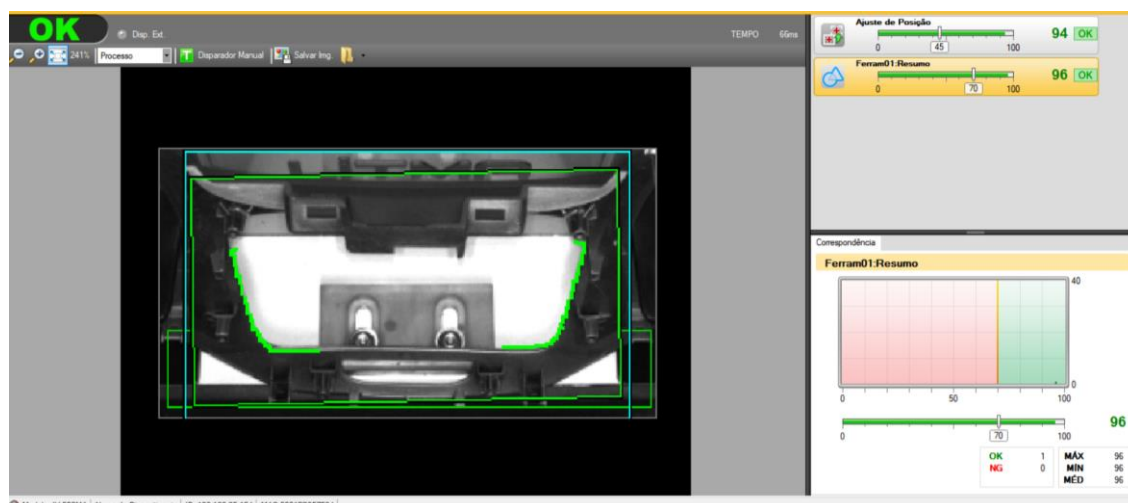
Fonte: Próprio autor.

Figura 59 – Teste do formato 4 com uma peça do formato 3.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 60– Teste do formato 4 com uma peça do formato 4.



Fonte: Próprio autor.

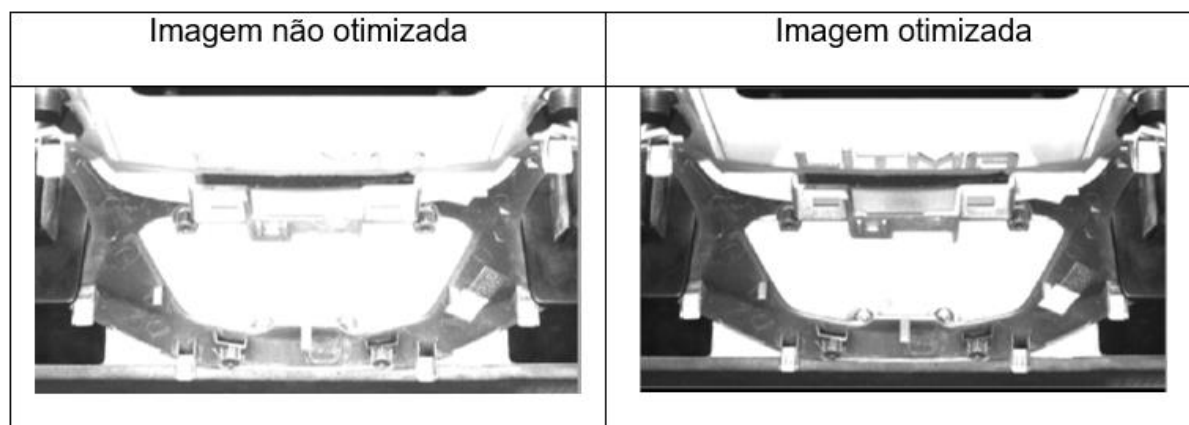
As imagens para validar a programação da detecção do formato 4 mostram que os resultados das inspeções estão validados, pois foi aprovada a peça com o formato correto e foram negadas as peças com formato incorreto.

4.3.3.1.1.6 Detecção do Feltro

A detecção do feltro é realizada nos modelos 1 e 2. Para realizar a programação do sensor de visão para detectar o feltro, seguiu-se o fluxograma de programação conforme na Figura 31.

Inicialmente, otimizou-se a imagem mestre de forma que o feltro da peça fosse evidenciado. Na Figura 61, percebe-se que na imagem não otimizada o feltro fica destacado, porém o contorno que é usado como referência não está evidenciado. Já na imagem otimizada, tem-se o feltro e o contorno de referência evidenciados.

Figura 61 – Otimização da imagem para detecção do feltro.

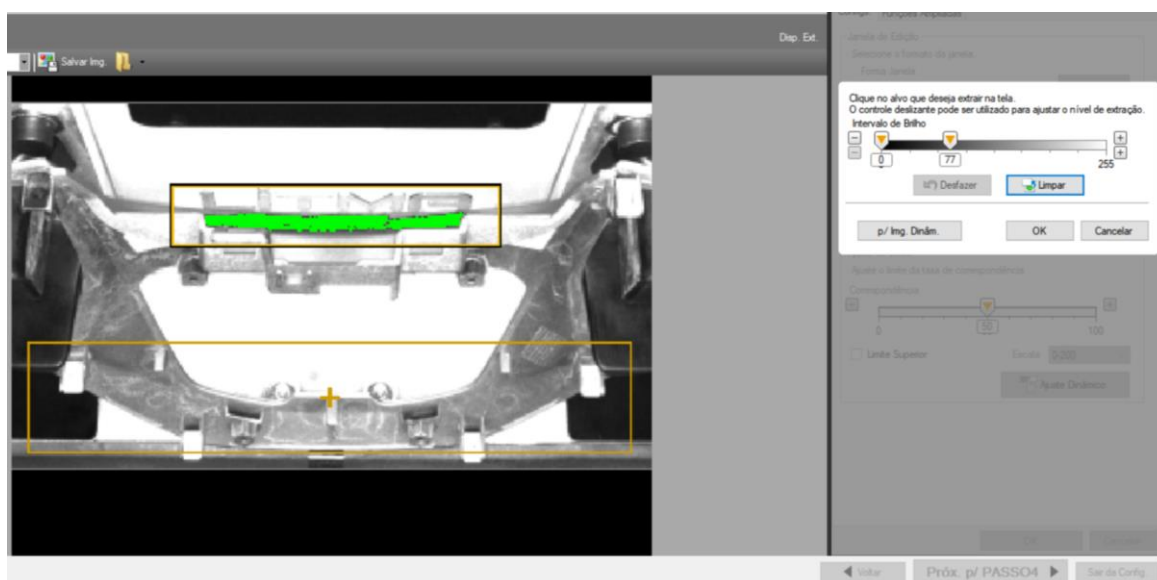


Fonte: Próprio autor.

Com a imagem mestre otimizada, é iniciado o processo de inserção de ferramentas de inspeção. Conforme o método de programação utilizado para detecção de clip, é necessário inserir uma ferramenta de ajuste de posição e uma ferramenta de área para detectar o feltro.

Como a programação da ferramenta de ajuste de posição serve para os oito modelos, o método se replica também para a detecção do feltro. Já a aplicação da ferramenta de área pode ser vista na Figura 62.

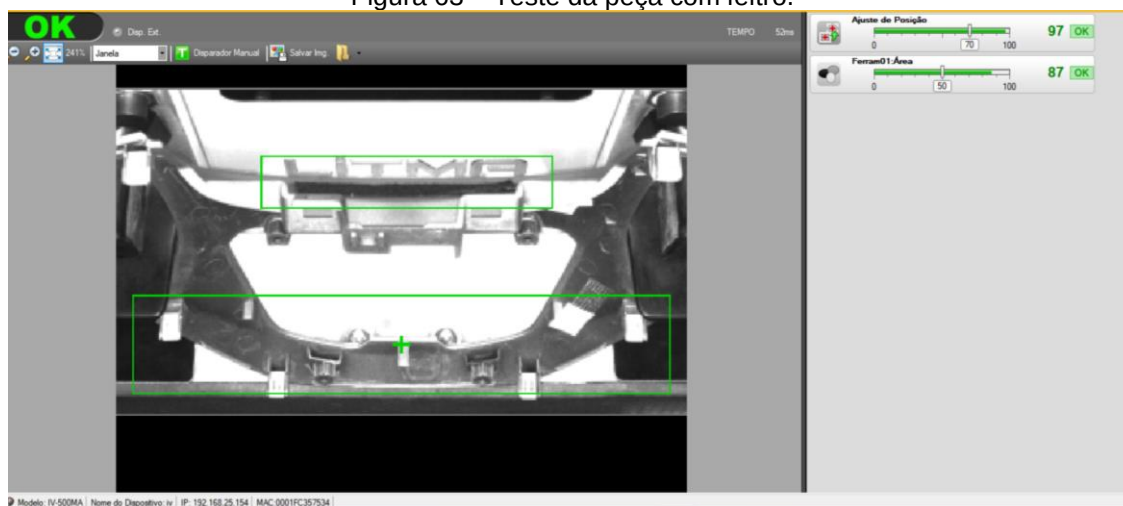
Figura 62 – Aplicação da ferramenta de área para detecção do clipe.



Fonte: Próprio autor.

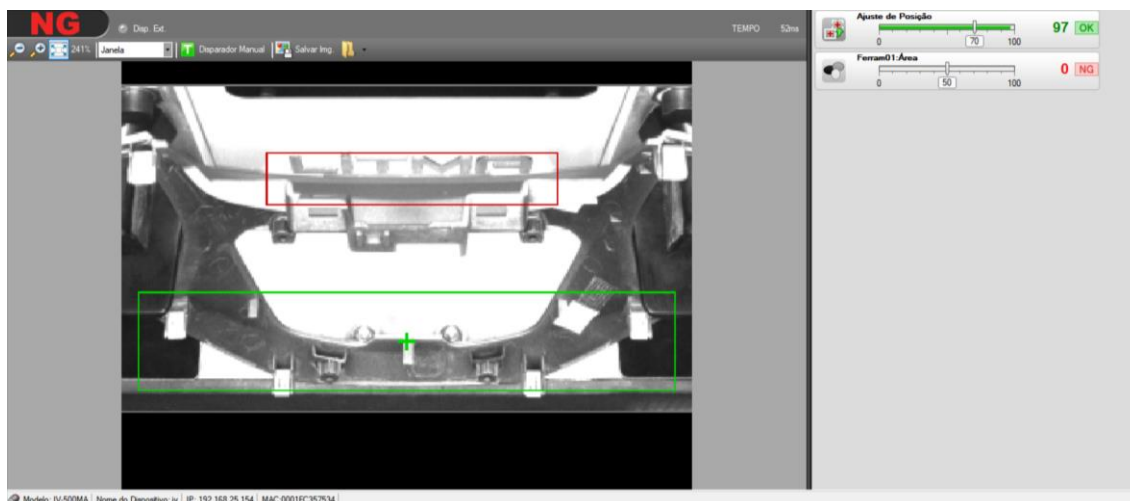
Para validação da programação do feltro, testou-se uma peça com e sem feltro, como pode ser visto nas Figura 63 e Figura 64.

Figura 63 – Teste da peça com feltro.



Fonte: Próprio autor.

Figura 64 – Teste da peça sem feltro.



Fonte: Próprio autor.

As imagens para validar a programação da detecção do feltro mostram que os resultados das inspeções estão validados, pois o teste foi negado na ausência do feltro e aprovado em sua presença.

4.3.3.1.2 Sensor de Aparência

Pelo fato de que os tons das cores preta e preta metalizado serem muito parecidos não foi possível a detecção pelo sensor de visão, tornando necessária a implementação de um sensor de aparência específico para diferenciação dos tons das cores.

Para detectar os diferentes tipos de cores da peça, será utilizado um sensor de aparência LRW500 da fabricante Keyence conforme especificações de projeto.

Para a programação do sensor de aparência, faz-se necessário o posicionamento da peça que será inspecionada. Para realizar a captura da cor da peça, é necessário posicionar o sensor de aparência com inclinação de aproximadamente 15° em relação a superfície a ser inspecionada, ajustando o seu foco manualmente. Posteriormente, registra-se a cor da peça no banco de dados do controlador do sensor de aparência. A cor registrada no banco de dados do controlador será representada por um percentual de 0 a 999, sendo que 0 é a ausência da tonalidade da cor registrada e 999 a presença. Portanto, se registrada uma cor preta no banco de dados, ao testar uma peça com a cor cinza nesse banco o valor que será mostrado no controlador será de aproximadamente 500, já para uma peça branca será de aproximadamente 0 e uma peça preta terá aproximadamente 999.

Conforme os critérios de avaliação que devem ser inspecionados na peça, são necessários a inspeção de 3 cores: preto, preto metalizado e cinza. Então, deveriam ser registrados 3 bancos de cores no controlador do sensor de aparência. Porém, após testes realizados se analisou que os diferentes formatos da peça influenciavam nos resultados, pelo fato que o campo de captura do sensor mudava de acordo com a geometria da peça.

Com isso, fez-se necessário o registro de 6 bancos de cores que podem ser vistos no Quadro 4.

Quadro 4 – Bancos de cores do LRW.

Banco	Cor	Modelo
1	Preto	1 e 3
2	Cinza	2 e 4
3	Preto	5
4	Cinza	6
5	Preto metalizado	7
6	Cinza	8

Fonte: Próprio autor.

Para validação do teste de cor e definição de uma faixa aceitável da cor inspecionada, foi realizado o seguinte teste:

Selecionou-se o banco de cor no controlador do sensor de aparência correspondente a cor do modelo. Então, testou-se todos os modelos no banco de cor selecionado.

O Quadro 5 mostra a média de 5 amostras de cada modelo testado no banco 1.

Quadro 5 – Média de 5 amostras de cada modelo testado no banco 1.

Modelo	Média das leituras
1	996
2	535
3	997

Modelo	Média das leituras
4	534
5	782
6	435
7	686
8	476

Fonte: Próprio autor.

De acordo com o Quadro 5, pode-se determinar uma faixa de cor para aprovação do banco 1 de 900 a 999, pois todos outros modelos testados no banco 1 não serão aprovados pelo fato que não entram na faixa definida.

Para os demais bancos, foi aplicado o mesmo método para definir a faixa de cor para aprovação e validação do teste. Os quadros que mostram a média de 5 amostras de cada modelo testada nos bancos restantes, pode ser visto em Apêndice B.

O Quadro 6 mostra as faixas para aprovação da cor de cada banco de cor do controlador do sensor de aparência:

Quadro 6 – Faixa para aprovação de cor de cada banco.

Banco	Faixa para aprovação de cor
1	900 a 999
2	900 a 999
3	930 a 999
4	900 a 999
5	930 a 999
6	900 a 999

Fonte: Próprio autor.

4.3.3.2 Módulo programação CLP

O módulo de programação do CLP é responsável por comandar e monitorar todo funcionamento da bancada. Este módulo realiza a comunicação entre o *software* de gerenciamento de testes Laudit Pro e os equipamentos de visão computacional. Além de ser responsável por receber e realizar comandos na bancada.

Para o entendimento do desenvolvimento da programação do CLP, faz-se necessário entender o funcionamento do *software* de gerenciamento de testes Laudit Pro. Este é responsável por identificar o modelo que será testado a partir da leitura do código de barras. Com isso, os critérios de avaliação passam para o CLP. Após a realização dos testes, o Laudit Pro analisa os resultados e apresenta em uma IHM, onde o operador poderá verificá-los e também para o CLP, que irá liberar a peça ou mantê-la travada dependendo deste.

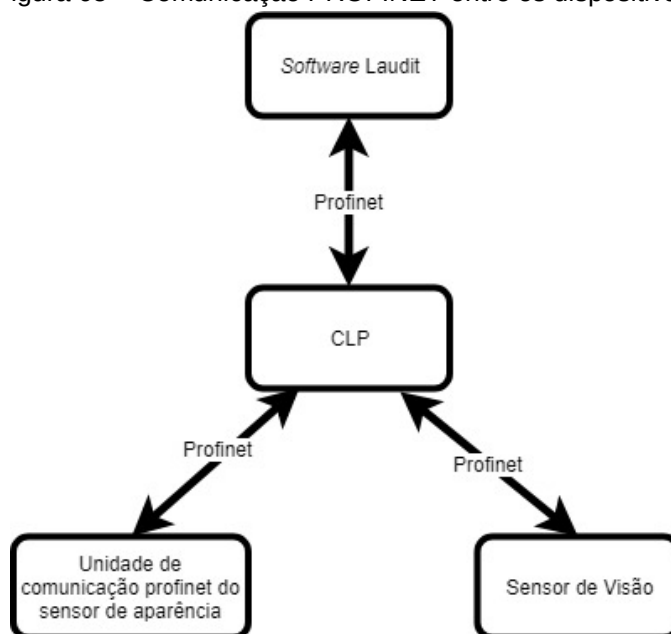
A rede da bancada de inspeção é composta por um computador industrial que possui o *software* de gerenciamento de testes Laudit Pro embarcado, um CLP que recebe os comandos e aciona os dispositivos da bancada, um sensor de visão que realiza os testes de visão e uma unidade de comunicação PROFINET do sensor de aparência que é responsável por comunicar com o controlador do sensor de aparência. Todos os quatro dispositivos que compõe a rede da bancada, estão conectados a um *switch*, possibilitando a comunicação por meio de protocolo de rede PROFINET.

O PROFINET é um protocolo Real Time Ethernet, definido pela PROFIBUS International, que foi desenvolvido para ser usado em redes de comunicação industrial, visando a conexão entre os dispositivos de campo e os controladores. (SAHIN *et. al*, 2013)

O PROFINET oferece uma importante e diferencial características de unir todos os níveis do sistema de automação, ou seja, desde a supervisão no escritório até o controle de movimentos no chão de fábrica. (KLEINES *et. al*, 2008)

O *software* de gerenciamento de testes Laudit Pro se comunica com o CLP que se comunica com os sensores por meio de comunicação PROFINET, como pode ser visto na Figura 65.

Figura 65 – Comunicação PROFINET entre os dispositivos.



Fonte: Próprio autor.

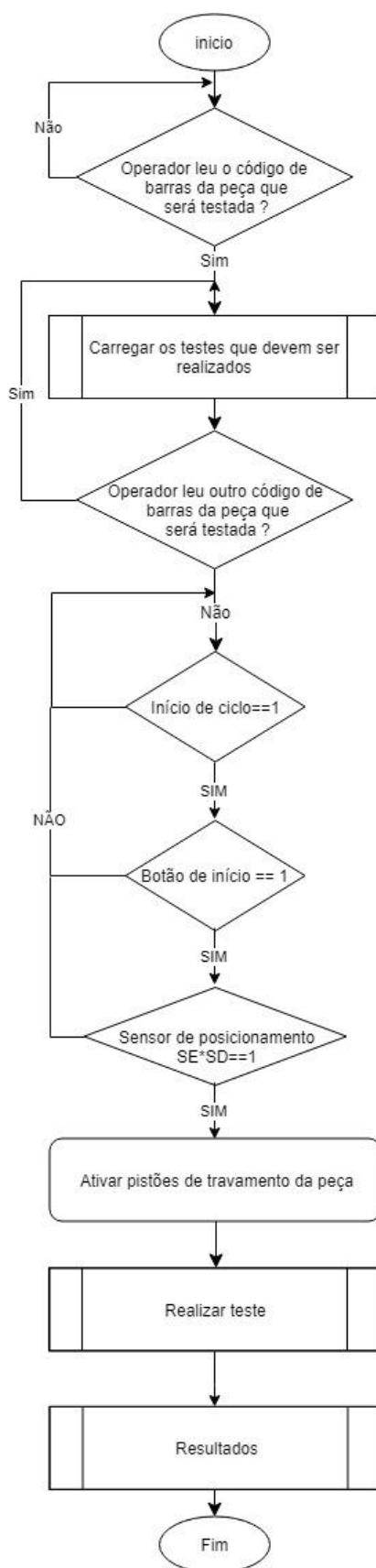
Com a comunicação entre os dispositivos configuradas, inicia-se a etapa de programação do CLP da bancada, conforme mostra o fluxograma de funcionamento da bancada, visto na Figura 3.

A fim de representar graficamente a programação do CLP, desenvolveu-se um fluxograma do programa principal, que possui diversos subprogramas.

Há três principais razões para a utilização de fluxogramas. Primeira: fluxogramas possuem uma sintaxe mínima. Quando se reduz o foco em sintaxe, pode-se aumentar o esforço em análise. Segunda: fluxogramas são uma representação universal. Nenhum outro sistema visual alcançou a aceitação dos fluxogramas. Terceira: fluxogramas são mais fáceis para estudantes iniciantes em computação do que estrutura de código. (GODIM *et al*, 2008)

O fluxograma do programa principal é o primeiro programa a ser executado e representa as operações principais e iniciais da bancada e faz a chamada de três subprogramas. O fluxograma do programa principal pode ser visto na Figura 66.

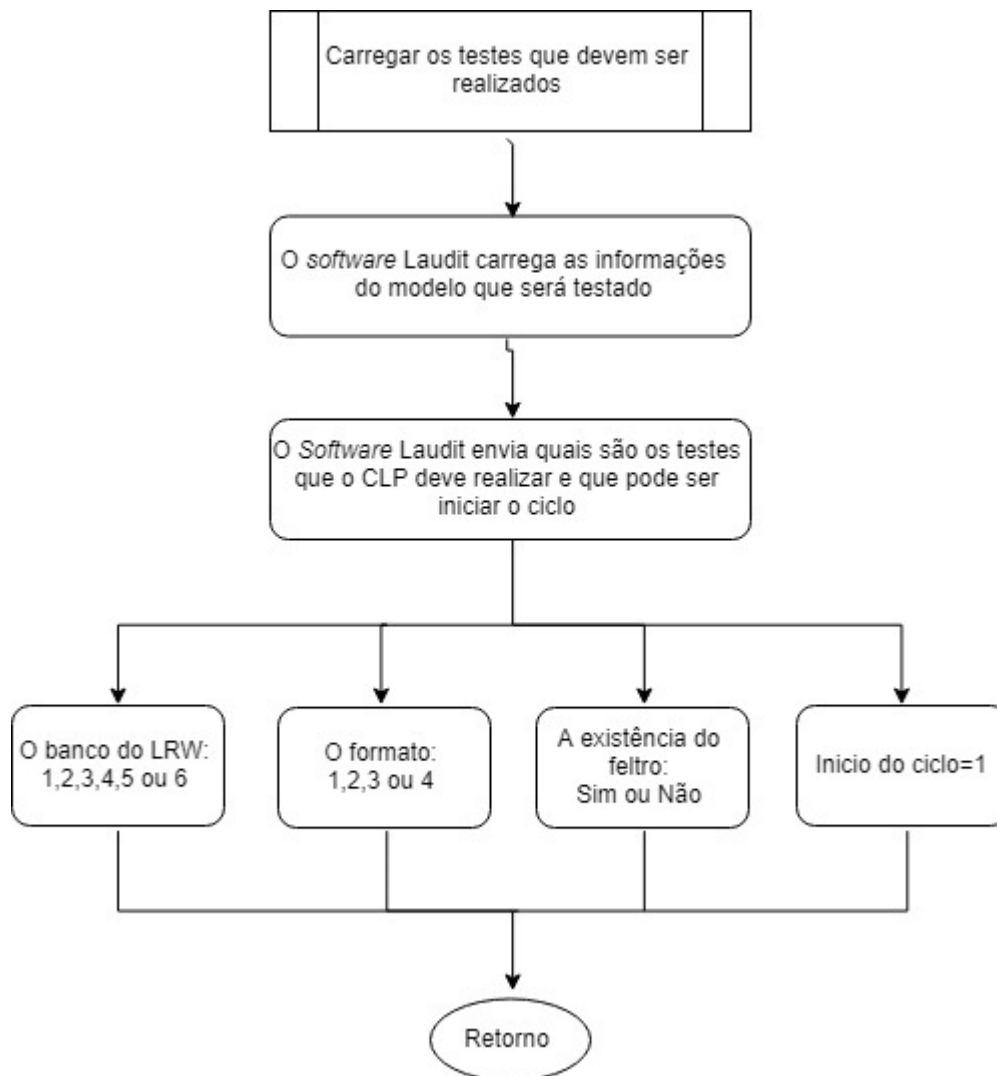
Figura 66- Fluxograma programa principal



Fonte: Próprio autor.

O subprograma carregar testes é chamado no programa principal, Figura 66 quando o operador realiza a leitura do código de barras do modelo da peça a ser inspecionada. Este carrega para o CLP as variáveis para testes do modelo e início de ciclo. O fluxograma do subprograma carregar testes pode ser visto na Figura 67.

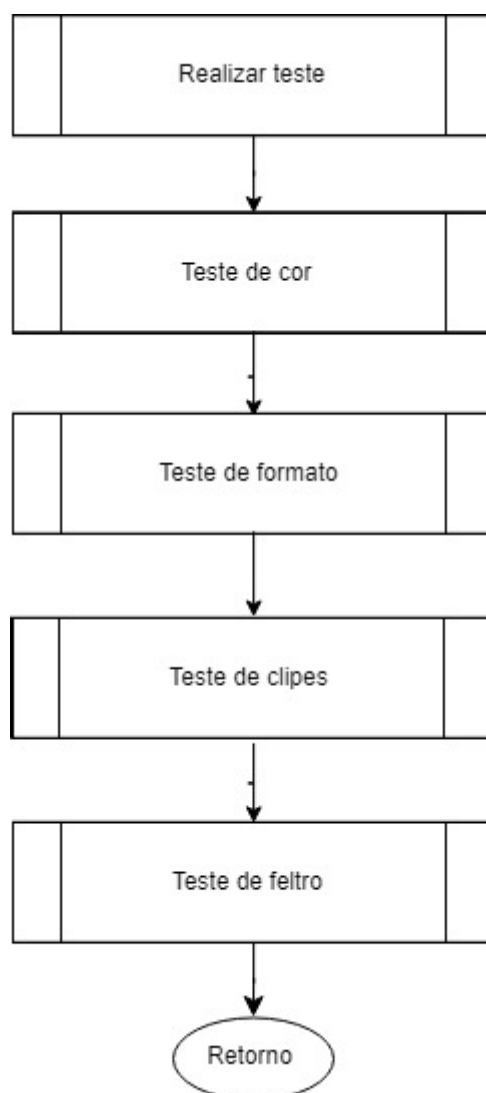
Figura 67 - Fluxograma subprograma carregar testes



Fonte: Próprio autor.

Após carregar as variáveis de teste, retorna-se para o programa principal Figura 66, onde guarda-se o posicionamento correto da peça, indicado pelos sensores de posicionamento esquerdo e direito, e também aguarda-se o operador acionar o botão de início para iniciação dos testes. Após essas condições serem atendidas, é realizada a chamada do subprograma realizar teste. Neste, são realizadas as chamadas dos subprogramas de teste de visão, como pode ser visto na Figura 68.

Figura 68– Fluxograma do subprograma realizar teste.



Fonte: Próprio autor.

No subprograma realizar testes, Figura 68 o primeiro subprograma de teste a ser chamado é o de análise da cor. O fluxograma para testar cor do modelo da peça a ser inspecionada pode ser visto na Figura 69.

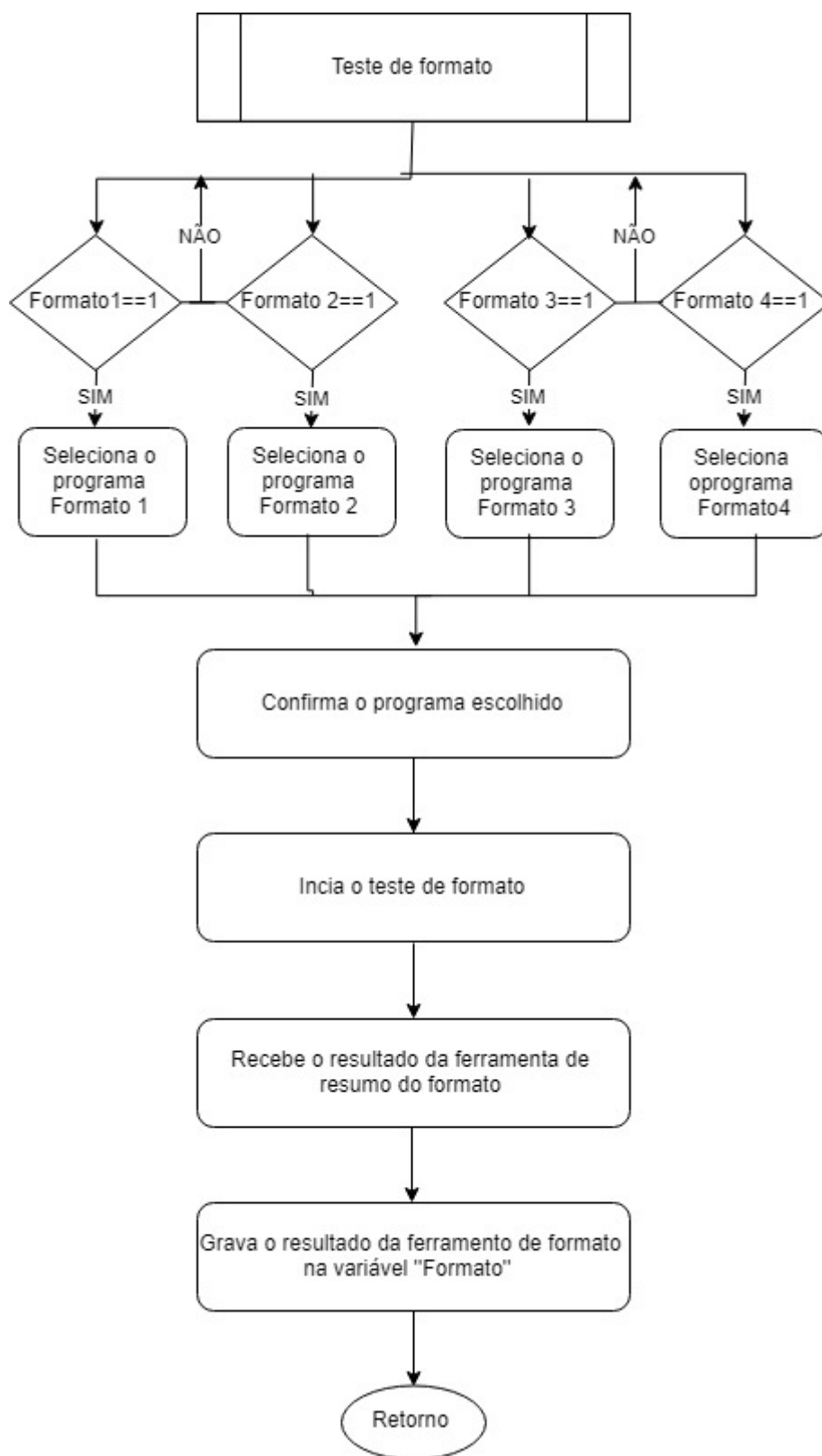
Figura 69- Fluxograma do subprograma Teste de cor.



Fonte: Próprio autor.

Com o teste de cor realizado, retorna-se para o subprograma realizar teste, Figura 68. O próximo subprograma a ser chamado é o teste de formato. O fluxograma de programação do teste de formato pode ser visto na Figura 70.

Figura 70- Fluxograma do subprograma teste de formato.



Fonte: Próprio autor.

Após ter finalizado o teste de formato, retorna-se para o subprograma realizar teste, Figura 68. O próximo subprograma a ser chamado é o teste de clipe. Nele são realizados os testes de presença dos cliques, como pode ser visto na Figura 71.

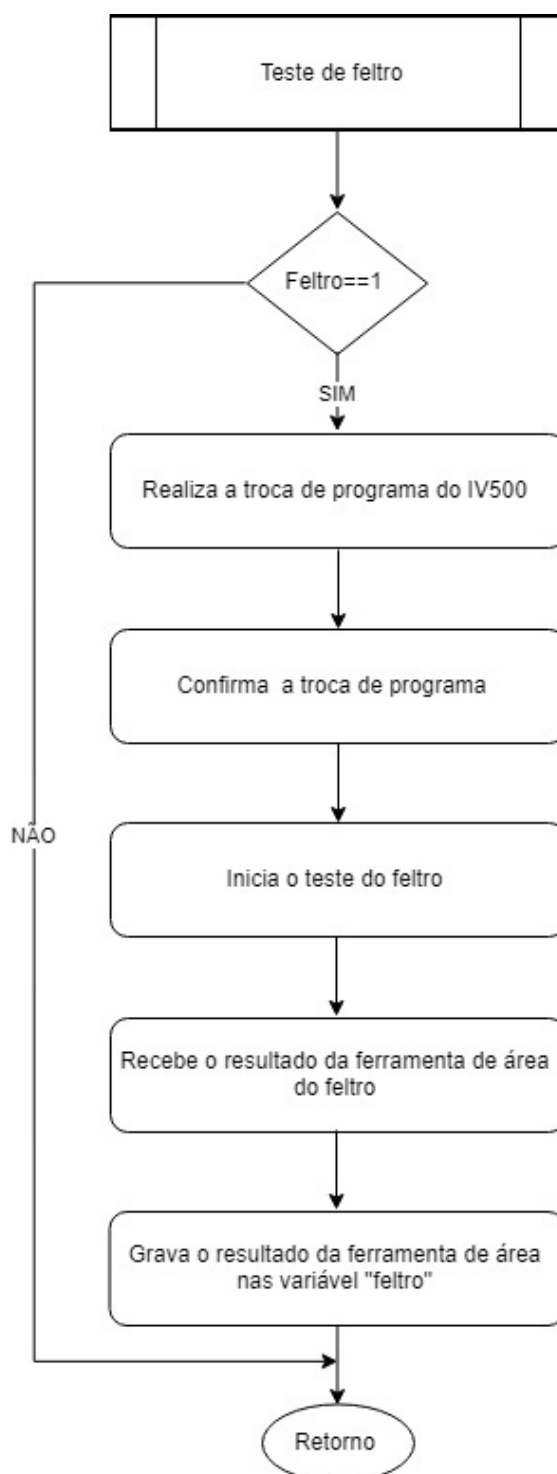
Figura 71 - Fluxograma do subprograma teste de cliques.



Fonte: Próprio autor.

Com o teste dos cliques finalizados, retorna-se para o subprograma realizar teste, Figura 68. O próximo subprograma a ser chamado é de teste de feltro. No qual se realiza o teste de presença do feltro, como pode ser visto na Figura 72.

Figura 72 - Fluxograma do sub programa teste de feltro.

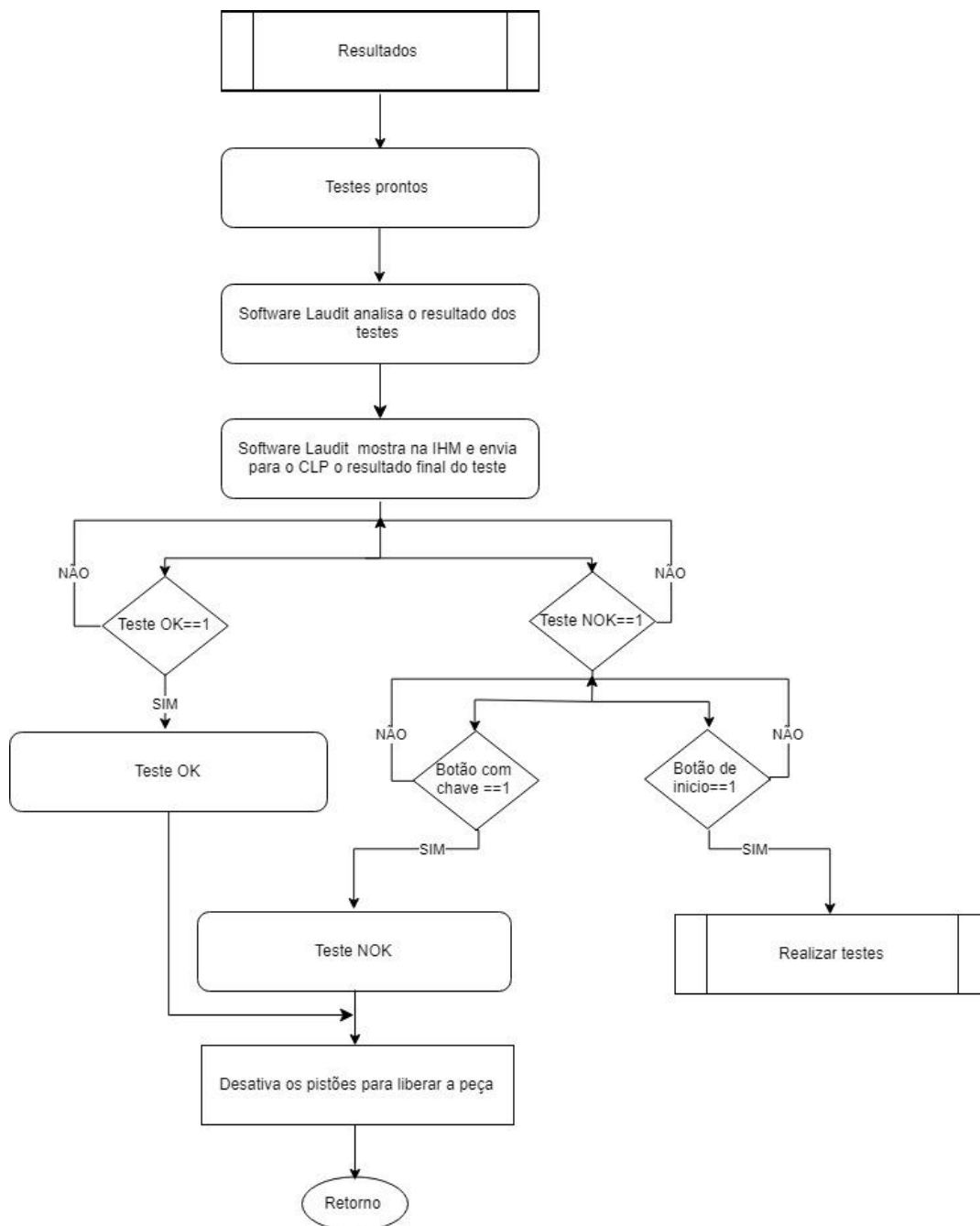


Fonte: Próprio Autor.

Finalizado o último teste de visão, retorna-se para o programa principal, Figura 66, onde é chamado o subprograma resultados. Neste subprograma, são analisados os resultados dos testes pelo *software* de gerenciamento de testes *Laudit Pro*. Caso o teste esteja aprovado, a peça é liberada e o teste é finalizado. Já se o

teste for reprovado, o operador irá analisar o resultado, se ele conseguir fazer correção sem retirar a peça da bancada, o mesmo realiza a correção e aperta o botão do início para reiniciar os testes de visão. Se o operador não conseguir realizar a correção, deverá chamar o supervisor da linha, que irá liberar a peça reprovada através do botão com chave. O fluxograma do subprograma resultados pode ser visto Figura 73.

Figura 73 - Fluxograma do subprograma resultados.



Fonte: Próprio Autor.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com as necessidades do cliente em fornecer produtos de qualidade para o mercado, chegou-se no objetivo de desenvolver uma bancada de inspeção para realização de testes de uma de suas peças fabricadas.

A estrutura da bancada foi concebida de forma que foram utilizados perfis de alumínio, e suas dimensões foram baseadas de modo que o sensor de visão mantivesse a distância de captura da imagem.

Com o indexador desenvolvido, conseguiu-se garantir o posicionamento da peça para a inspeção dos critérios de avaliação de modo que foram minimizados os erros provenientes de variação de posicionamento da peça.

Foi desenvolvido um sistema eletroeletrônico modular composto por elementos de proteção, alimentação, controle, acionamentos e distribuição. Este sistema possibilita o acionamento seguro e eficiente para bancada desenvolvida.

Foi possível realizar a detecção dos critérios de avaliação da peça a ser inspecionada através dos testes de qualidade desenvolvidos nos sensores de visão. Os testes foram capazes de garantir a inspeção de todos os itens da peça.

Com todas as variáveis da inspeção definidas e seguindo o fluxograma de funcionamento da bancada determinado pelo cliente, foi desenvolvido uma programação do CLP que possibilita a integração e acionamento de todos os dispositivos presentes na bancada.

Todas as especificações e necessidades do cliente foram atendidos, de modo que foi desenvolvida uma bancada de inspeção de qualidade capaz de realizar todos os testes solicitados para peça e o desenvolvimento seguiu os padrões de bancadas utilizadas na produção do cliente conforme especificado.

A instalação da bancada ocorreu em abril de 2018 e está em funcionamento até o momento sem qualquer contestação vinda do cliente. Porém, existem algumas melhorias que não estavam previstas no escopo inicial do projeto que o cliente identificou após estar operando a bancada, são elas: a necessidade de rastreabilidade da peça inspecionada, a impressão de uma etiqueta para peças aprovadas e peças reprovadas e a detecção de posicionamento correto do feltro.

REFERÊNCIAS

BACK, N. et al. **Projeto Integrado de Produtos**: planejamento, concepção e modelagem. São Paulo: Manole, 2008.

BALLAST. Sistema de visão industrial funcionamento e aplicação. Disponível em: <<https://www.ballast.com.br/sistemas-de-visao-industrial-funcionamento-e-aplicacao/>>. Acesso em: 15 março. 2018.

BATCHELOR, B. G.; WHELAN, P. F. *Intelligent Vision Systems for Industry*. UK: Springer, 2002

CHAVES, Luciano Lucindo; MARTINS, Flavius Portella Ribas. Aplicação de aprendizado de máquina na inspeção visual de placas de circuito impresso. CIBIN 8, 8º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica, 2003.

GONDIM, Halley Wesley A. S.; AMBRÓSIO, Ana Paula. Esboço de Fluxogramas no Ensino de Algoritmos. Universidade Federal de Goiás (UFG). Goiânia – GO, Brasil, maio de 2008.

KLEINES, H.; DETERT, S.; DROCHNER, M.; SUXDORF, F. *Performance Aspects of PROFINET*. IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol 55, No 1, 2008.

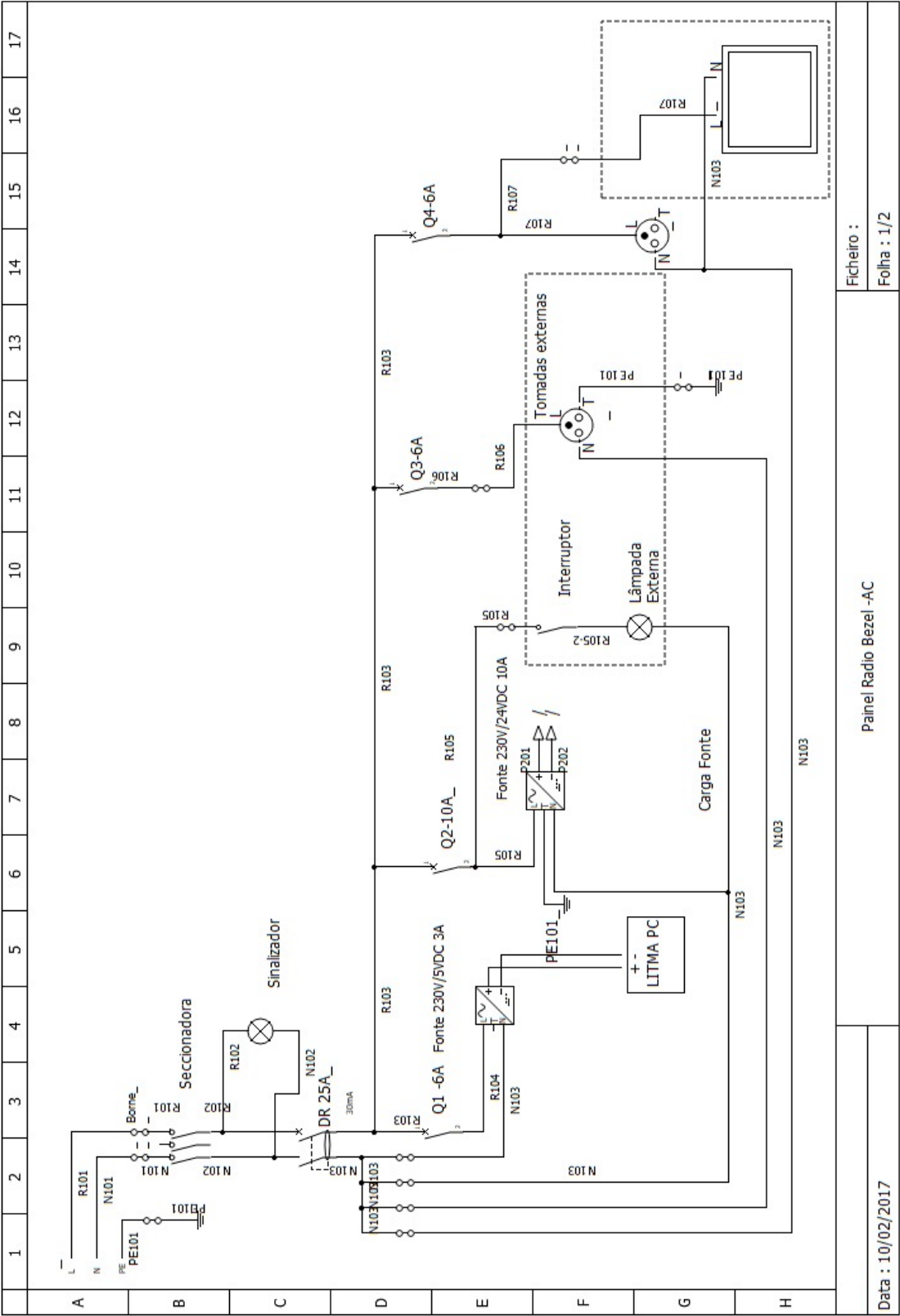
MELO, Daniel Frizke Ferreira de; ROLLOF, Mário Lúcio. Pesquisa e desenvolvimento de sistemas inteligentes baseados em visão artificial para aplicação em dispositivos robóticos/ou mecatrônicos. INDUSCOM, VIII Conferência internacional de aplicações Industriais, Poços de Caldas. 17 à 20, agosto 2008.

OGLIARI, A. Modelo PRODIP. EMC 5302 - Metodologia de Projeto em Engenharia Mecânica, 2017. Disponível em: <<http://emc5302.ogliari.prof.ufsc.br/artigo/modelo-prodip>>. Acesso em: 12 abril 2018.

SAHIN, V.; OZCELIK, I.; BALTA, M.; ISKEFIYELI, M. *Topology Discovery of PROFINET Networks using Wireshark*. IEEE, 2013,

STIVANELLO, Maurício Edgar. Inspeção industrial através de visão computacional. 2004. 2-38. (Trabalho de conclusão de curso), Curso de Ciência da Computação - Bacharelado, Universidade Regional de Blumenau - SC, Blumenau, 2004.

APÊNDICE A - DIAGRAMA UNIFILAR DA BANCADA DE INSPEÇÃO

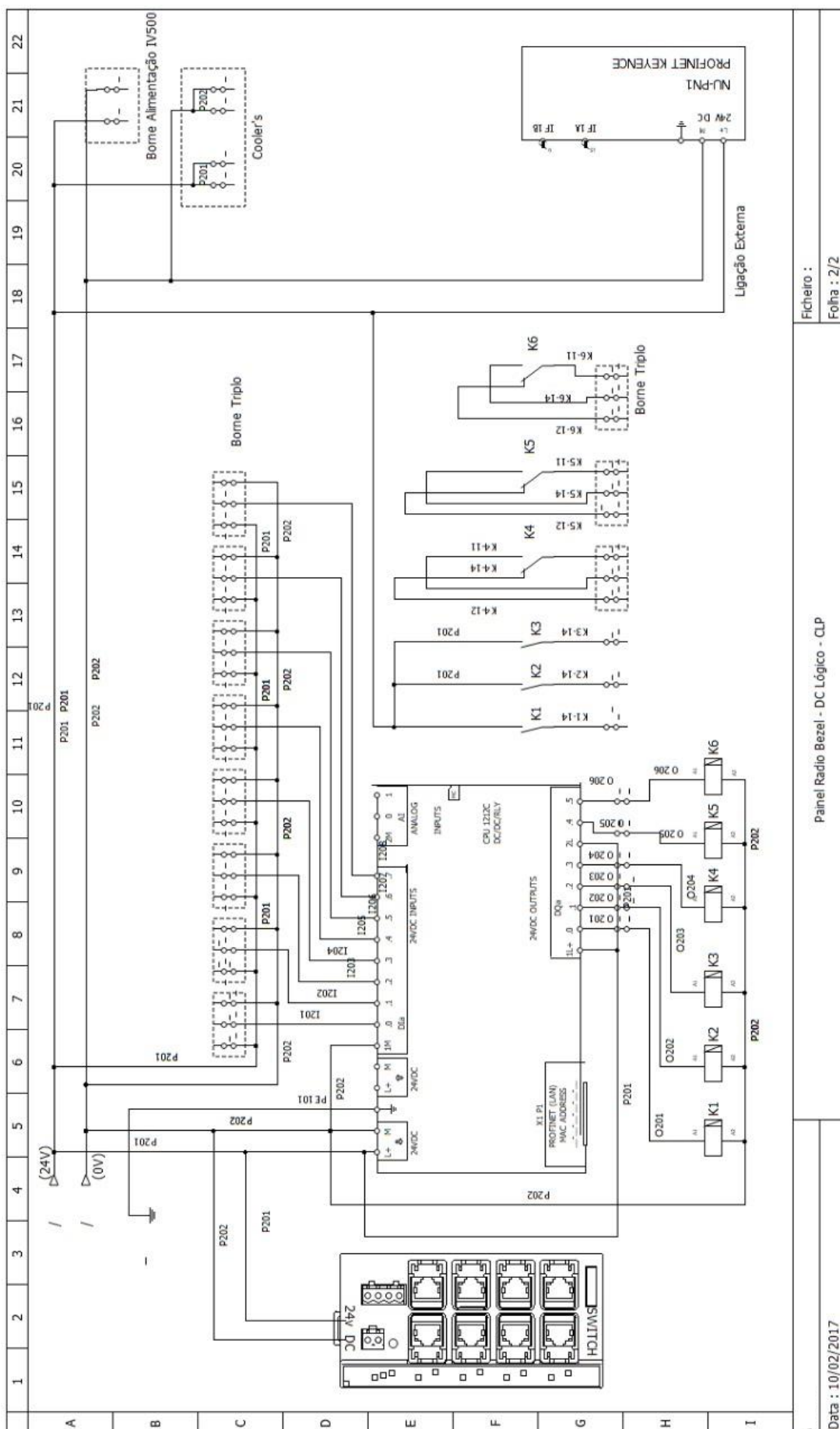


Ficheiro :

Folha : 1/2

Panel Radio Bezel -AC

Data : 10/02/2017



Ficheiro :

Folha : 2/2

Painel Radio Bezel - DC Lógico - CLP

Data : 10/02/2017

APENDICE B - QUADROS DA MÉDIA DE 5 AMOSTRAS DO MODELO 2 AO 6, TESTADA NOS BANCOS DE CORES

Quadro da média de 5 amostras de cada modelo testado no banco 2.

Modelo	Média das leituras
1	100
2	995
3	97
4	991
5	203
6	435
7	686
8	785

Quadro da média de 5 amostras de cada modelo testado no banco 3.

Modelo	Média das leituras
1	703
2	502
3	736
4	528
5	995
6	413
7	870
8	434

Quadro da média de 5 amostras de cada modelo testado no banco 4.

Modelo	Média das leituras
1	87
2	680
3	113

Modelo	Média das leituras
4	602
5	186
6	981
7	333
8	687

Quadro da média de 5 amostras de cada modelo testado no banco 5.

Modelo	Média das leituras
1	725
2	403
3	695
4	457
5	827
6	453
7	986
8	461

Quadro da média de 5 amostras de cada modelo testado no banco 6.

Modelo	Média das leituras
1	137
2	781
3	94
4	722
5	158
6	685
7	227
8	993