

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA

LUAN GABRIEL DOS SANTOS AYRES
SAMUEL MELLO

VALIDAÇÃO DE COMPONENTES AUTOMOBILÍSTICOS UTILIZANDO
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2021

LUAN GABRIEL DOS SANTOS AYRES

SAMUEL MELLO

VALIDAÇÃO DE COMPONENTES AUTOMOBILÍSTICOS UTILIZANDO INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, do Departamento Acadêmico de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Profa. Dra. Virginia Helena Varotto Baroncini

Co-orientadora: Profa. Dra. Fernanda Cristina Corrêa

PONTA GROSSA

2021



Este Trabalho de Conclusão de Curso está licenciado sob uma Licença Creative Commons Atribuição **4.0 Internacional**

LUAN GABRIEL DOS SANTOS AYRES
SAMUEL MELLO

VALIDAÇÃO DE COMPONENTES AUTOMOBILÍSTICOS UTILIZANDO
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 10/dezembro/2021

Virginia Helena Varotto Baroncini
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Fernanda Cristina Correa
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Frederic Conrad Janzen
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Felipe Mezzadri
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Ponta Grossa
2021

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus.

Agradecemos aos nossos pais e familiares que deram sempre apoio e incentivo incondicional. À nossa orientadora professora Virginia Baroncini e co-orientadora Fernanda Corrêa, por aceitarem conduzir nosso trabalho e ajudar-nos no que fosse necessário. À instituição UTFPR por proporcionar um ambiente propício a realização de nossas atividades. Somos gratos a todos os professores e amigos que nos ajudaram a chegar até aqui no âmbito pessoal e acadêmico, em especial ao professor Sergio Stevan.

À empresa Continental agradecemos por permitir a realização do projeto, em especial ao Senhores Itair Wilazinski, Everton Ruppel, Hederson Kratsch e a toda equipe de da MFS Continental, nosso muito obrigado.

- 1ª Lei: Um robô não pode ferir um ser humano ou, por inação, permitir que um ser humano sofra algum mal.
- 2ª Lei: Um robô deve obedecer às ordens que lhe sejam dadas por seres humanos, exceto nos casos em que entrem em conflito com a Primeira Lei.
- 3ª Lei: Um robô deve proteger sua própria existência, desde que tal proteção não entre em conflito com a Primeira ou com a Segunda Lei.
- (ASIMOV, Isaac, 1950)

RESUMO

Com o constante aumento dos padrões de qualidade da indústria automobilística, faz-se necessário o aumento também da qualidade das peças produzidas e enviadas para os fabricantes de automóveis. Para tubulações de ar condicionado é de vital importância a colocação de componentes específicos que aumentem sua vida útil, além de haver grande importância na constância de entrega dessas tubulações ao cliente. Dessa forma, decidiu-se aprimorar a linha de produção de tubulações de ar condicionado desenvolvendo uma bancada de inspeção final automatizada auxiliada por sensores de visão. Assim, quando houver uma peça com defeito ou sem os componentes necessários, ela é identificada pelo sistema e o erro é corrigido, de modo que não chegue ao cliente peças sem conformidade. Para encontrar o modo de operação ótimo dos sensores, foram desenvolvidos testes com a cor da base de captura de imagem, o modo de operação dos sensores, a utilização ou não do filtro polarizador e do ajuste de posição automático, em seguida esses testes foram validados por meio de semanas de operação contínua da linha de produção. Como resultado, observou-se que o sistema projetado melhorou a confiabilidade, garantindo o destino de peças, em conformidade e com todos os seus componentes, ao cliente.

Palavras-chave: Automação. Visão por computador. Inteligência Artificial. Ar Condicionado. Indústria automobilística .

ABSTRACT

As the quality standards of the automotive industry are constantly increasing, it is also necessary to increase the quality of the parts produced and shipped to the automobile manufacturers. For air conditioning pipes, it is of vital importance to install specific components that increase their useful life, and it is also very important to deliver these pipes consistently to the customer. It was therefore decided to improve the production line for air-conditioning pipes by developing an automated final inspection bench assisted by vision sensors. As soon as there is a defective part or a part without the necessary components, it is identified by the system and the error is corrected, thus nonconforming parts do not reach the customer. To find the optimal operation mode for the sensors, tests were developed with the color of the image capture base, the operation mode of the sensors, the use or not of the polarizing filter and the automatic position adjustment, then these tests were validated through weeks of continuous operation of the production line. As a result, it was observed that the designed system improved reliability, guaranteeing the destination of parts, in conformity and with all their components, to the customer.

Keywords: Automation. Computer Vision. Artificial Intelligence. Air Conditioning. Automotive Industry.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Trator a vapor desenvolvido por Joseph Cugnot	16
Figura 2 - Miura X8, um super esportivo brasileiro	18
Figura 3 - Ciclo de funcionamento do ar condicionado	21
Figura 4 - Exemplo de entrada e saída na linguagem de programação <i>Ladder</i>	24
Figura 5 - Simbologia da linguagem de programação <i>Ladder</i>	24
Figura 6 - Modelo da bancada, na figura é apresentada uma peça OK, está saí pela parte traseira da bancada	26
Figura 7 - Modelo da bancada, na figura é apresentada uma peça NG, está cai para um compartimento na parte inferior da bancada	26
Figura 8 - Disposição das bancadas	27
Figura 9 - Fluxograma descrevendo o ciclo da peça	28
Figura 10 - Etiqueta NG, para peça impressa não aceitável pelos padrões estabelecidos	30
Figura 11 - Etiqueta OK colocada na peça.....	31
Figura 12 - CLP S7-1200 da Siemens.....	33
Figura 13 - IHM KTP700 da Siemens.....	33
Figura 14 - Componentes presentes no sensor IV2	34
Figura 15 - Lente HP-Quad do sensor de visão IV2-G600MA	35
Figura 16 - Dimensões do sensor de visão IV2-G600MA	35
Figura 17 - Componentes interligados em rede e exemplos de IP de cada um	36
Figura 18 - Subdivisões e ferramentas de aprendizagem do programa IV2-Navigator	37
Figura 19 - Do lado esquerdo uma peça OK e do lado direito uma peça de tamanho menor do que a programada, logo ela está em não conformidade	38
Figura 20 - Do lado esquerdo uma peça OK e do lado direito superfície sem sulcos para atarraxamento, logo esta peça está em não conformidade.....	38
Figura 21 - Do lado esquerdo uma peça OK e do lado direito há a falta do parafuso, logo esta peça está em não conformidade.....	39
Figura 22 - Do lado esquerdo uma peça OK e do lado direito o brilho se encontra diferente da referência, indicando uma não conformidade.....	39
Figura 23 - Os dois lados apresentam peças OK, mesmo com a mudança de orientação o sistema detectou a conformidade	40
Figura 24 - O lado esquerdo apresenta a peça aceitável e o lado esquerdo apresenta a peça com uma significativa diferença em largura, dessa forma sendo definida como não aceitável	40
Figura 25 - O lado esquerdo apresenta a peça aceitável e no direito o diâmetro interno está com uma diferença significativa em relação a referência.	41
Figura 26 - O lado esquerdo apresenta a peça aceitável e o lado direito a mesma está com bordas não adequadas, dessa forma sendo definida como não aceitável	41
Figura 27 - O lado esquerdo apresenta a referência de peça aceitável e o lado direito apresenta uma peça com diferença no afastamento.....	42

Figura 28 - O lado esquerdo apresenta a data de vencimento aceitável e o lado direito apresenta a data de vencimento não aceitável, os dois primeiros dígitos encontram-se diferentes da referência	42
Figura 29 - O lado esquerdo apresenta a etiqueta aceitável e o lado direito há um problema de localização da mesma, em que existe a detecção de brilho em área proibida	43
Figura 30 - Processo de programação do sensor de visão para a utilização em uma nova peça.....	43
Figura 31 - Data Matrix gerado com o código 888888888888DATA21133OP888888	44
Figura 32 - Leitor de DM SR 1000 da Keyence.....	45
Figura 33 - Degradação do <i>data matrix</i>	45
Figura 34 - Cortina de segurança GL-R28H da Keyence.....	46
Figura 35 - Peça sendo analisada pelo sistema de ajuste automático do programa.....	47
Figura 36 - Programa perdendo a posição da peça	48
Figura 37 - Teste com o filtro polarizador, é possível identificar o brilho ajustado ao máximo na caixa da direita.....	49
Figura 38 - Teste sem o filtro polarizador, é possível identificar o brilho ajustado em 119 na caixa da direita e o modo geração imagem em HDR.	49
Figura 39 - Taxa de correspondência encontrada quando o sistema compara a peça sem a presença da tampa transparente com a imagem de referência.....	50
Figura 40 - Taxa de correspondência encontrada quando o sistema compara a peça com a presença da tampa transparente com a imagem de referência.....	51
Figura 41 - Taxa de correspondência encontrada quando o sistema compara a peça sem a presença da tampa preta com a imagem de referência.....	51
Figura 42 - Taxa de correspondência encontrada quando o sistema compara a peça com a presença da tampa preta com a imagem de referência.....	52
Figura 43 - Taxa de correspondência encontrada quando o sistema compara a peça sem a presença da etiqueta com a imagem de referência.	52
Figura 44 - Taxa de correspondência encontrada quando o sistema compara a peça com a presença da etiqueta com a imagem de referência.	53
Figura 45 - Identificação dos componentes com 100% de sucesso, taxa de correspondência máxima em 100% e mínima em 92% quando todos os componentes então presentes.....	53
Figura 46 - Resultado da identificação dos componentes pelo sistema na ausência dos mesmos na peça	54
Figura 47 - Identificação dos componentes com 100% de sucesso, taxa de correspondência máxima e mínima em 100% quando todos os componentes estão presentes no modo de aprendizagem	54
Figura 48 - Identificação dos componentes faltante no modo de aprendizagem.....	55
Figura 49 - Modelos de teste com etiquetas azul e laranja	56
Figura 50 - Teste de identificação da etiqueta laranja	56
Figura 51 - Teste de identificação da etiqueta azul	57
Figura 52 - Teste da cor de fundo branco para o sensor de visão	57
Figura 53 - Teste da cor de fundo preto para o sensor de visão	58

Figura 54 - Teste da cor de fundo vermelho para o sensor de visão com a etiqueta laranja evidenciada	59
Figura 55 - Teste da cor de fundo verde para o sensor de visão	59
Figura 56 - Etiqueta amarela com fundo verde	60
Figura 57 - Fluxograma que representa a lógica do processo.	61
Figura 58 - Diagrama lógico em <i>Ladder</i> do processo.....	63
Figura 59 - <i>Tags</i> e endereçamento de entrada do programa em <i>ladder</i>	66
Figura 60 - <i>Tags</i> e endereçamento de entrada do programa em <i>ladder</i>	66

LISTA DE SIGLAS

ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
CLP	Controlador Lógico Programável
DM	Data Matrix
EUA	Estados Unidos da América
IA	Inteligência Artificial
IHM	Interface Homem-Máquina
HDR	<i>High Dynamic Range</i> - Grande Amplitude Dinâmica
LED	<i>Light Emitting Diode</i> - Diodo Emissor de Luz
NG	<i>Not Good</i> - Não aceitável
NOK	<i>Not OK</i> - Não OK
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i> - Eficiência Geral do Equipamento
PTL	Pick-To-Light

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	12
1.2	PROBLEMA.....	12
1.3	OBJETIVO GERAL.....	13
1.4	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
1.5	JUSTIFICATIVA.....	13
1.6	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1	HISTÓRIA DOS AUTOMÓVEIS	15
2.2	HISTÓRIA DO AR CONDICIONADO AUTOMOTIVO	19
2.3	INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL.....	21
2.4	SENSOR DE VISÃO.....	22
2.5	LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO LADDER	23
3	METODOLOGIA.....	25
3.1	CICLO DA PEÇA.....	26
3.1.1	Dobra e Aparafusamentos.....	28
3.1.2	Teste de Obstrução	29
3.1.3	Teste de Estanqueidade com hélio	29
3.2	COMPONENTES DA BANCADA DE INSPEÇÃO FINAL	31
3.2.1	CLP - S71200 e IHM - KTP 700	32
3.2.2	Sensor de Visão IV2-G600MA.....	33
3.2.3	Programa IV2-Navigator	35
3.2.4	Leitor de DM SR-1000	44
3.2.5	Cortina de Segurança GL-R28H.....	45
3.3	COLETA DE DADOS.....	46
3.3.1	Teste do Ajuste Automático de posição	47
3.3.2	Teste do Filtro Polarizador.....	48
3.3.3	Teste do Modo de Operação Ótimo	50
3.3.3.1	Teste do modo de operação padrão	50
3.3.3.2	Teste no modo de aprendizagem	54
3.3.4	Teste de detecção de etiquetas coloridas	55
3.3.5	Teste da cor de fundo para o sensor de visão.....	57
3.4	LÓGICA	60
3.5	LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO.....	62
4	CONCLUSÃO.....	67
	REFERÊNCIAS.....	69

1 INTRODUÇÃO

Esta seção tem como objetivo contextualizar, descrever de forma geral o tema abordado, definir objetivos, justificar o trabalho e mostrar como o mesmo foi organizado.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A indústria automotiva se apresenta atualmente como um ambiente competitivo e que vem sofrendo com a redução em suas vendas nos últimos anos, é o que apresenta o relatório da Anfavea (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores) de 2021, quando comparado o ano de 2019 a 2020 houve redução de 25,84% no licenciamento de novos veículos no Brasil (DETRAN, apud ANFAVEA, 2021). Segundo Hansen, Rocha e Lemos (2014) a competitividade do mercado foi potencializada, principalmente com a globalização e a competição com empresas de nível internacional (apud TIGRE, 1998; CHEN et al., 2009). Assim, identifica-se a necessidade de reduzir custos e implementar técnicas de melhoria da qualidade dos produtos finais.

Com o advento da inteligência artificial e da evolução tecnológica é possível otimizar diversas tarefas. Sendo a automação uma oportunidade para melhorar a infraestrutura das fábricas, aperfeiçoar tarefas, aumentar a eficiência e produtividade, tornar mínima a variabilidade em processos produtivos e assegurar a qualidade (GOEKING, 2010; SILVA et al., 2018).

Por meio dos sensores de visão computacional é possível melhorar a qualidade, principalmente utilizando-se também de um sistema de automação, com atividades sem pausa e de menor variabilidade (MELO; ROLOFF, 2008, apud LIMA; CARVALHO, 2014).

1.2 PROBLEMA

A indústria automotiva exige alto padrão de qualidade em seus produtos e para isso, necessita do fornecimento de peças que seguem este modelo.

Um dos problemas identificados na linha de produção foi a atual inspeção de componentes realizada nas peças de ar condicionado entregues ao cliente.

Atualmente o trabalho é realizado de forma manual, ou seja, há funcionários para realizar a inspeção visual da peça. Os funcionários trabalham 8 horas por dia em um ambiente que não permite falhas, o que pode os deixar sujeitos a erros por fadiga. Dessa forma identificou-se a necessidade da realização de uma inspeção final de componentes mais robusta.

1.3 OBJETIVO GERAL

- Realizar a automação da inspeção de tubos de ar condicionado com o auxílio de sensores de visão com IA disponíveis no mercado.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar criticamente a escolha dos componentes;
- Analisar o melhor posicionamento da peça para inspeção;
- Realizar a inspeção visual aplicando sensores de visão com IA integrados;
- Separar as peças que estão aceitáveis ou não-aceitáveis.

1.5 JUSTIFICATIVA

A realização da automação em setores da indústria, de acordo com a bibliografia analisada, apresenta importância no incremento da qualidade, redução de custos e aumento da eficiência de produção.

Visando a melhoria do processo para a adequação da produção à qualidade exigida pelos clientes, encontrou-se a necessidade de automatizar a verificação de peças para a tubulação de ar condicionado, aspirando o aumento na qualidade e redução da variabilidade.

Portanto, o presente trabalho apresenta a criação de uma inspeção visual utilizando inteligência artificial para validação de componentes automobilísticos. De modo a auxiliar na identificação de conformidade ou não nas peças de ar condicionado.

1.6 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O capítulo 2 trata da fundamentação teórica, dando introdução à história dos automóveis e do ar condicionado automotivo, em seguida é dada uma breve introdução aos temas da inteligência artificial, sensores de visão e programação em ladder, assuntos pertinentes para o trabalho. O capítulo 3 descreve o ciclo da peça do ar condicionado dentro da indústria, em seguida são descritos os principais componentes utilizados, depois são demonstrados os testes realizados e a forma de funcionamento definida. Para o capítulo 4 são analisados os testes realizados anteriormente. E no capítulo 5 são expostas as conclusões e os trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção serão introduzidos os temas pertinentes por meio de embasamento teórico da literatura.

2.1 HISTÓRIA DOS AUTOMÓVEIS

A mobilidade sempre foi uma característica humana, crucial no seu desenvolvimento durante a história. Desde muito tempo, houveram tentativas de transportar pessoas através de longas distâncias em períodos cada vez mais curtos (DIETSCHKE; KUHLGATZ, 2014).

Inicialmente, foram desenvolvidos os primeiros veículos a rodas como carroças e seu refinamento com a adição de elementos de direção, suspensão e molas (DIETSCHKE; KUHLGATZ, 2014). As primeiras ideias de veículos auto propelidos datam dos séculos treze e quinze dos escritos de Roger Bacon e Leonardo Da Vinci. Por meio da evolução da sociedade industrial moderna, principalmente nos Estados Unidos e na Europa ocidental, a ideia do desenvolvimento de veículos automotivos floresceu (FLINK, 1990).

Nos séculos 17, 18 e 19 houveram tentativas de inventores europeus na criação de máquinas autopropelidas. Em 1748 uma carroça propelida por um grande motor de relógio foi demonstrada em Paris pelo inventor Jacques de Vaucanson. No começo do século 19, Isaac de Rivas desenvolveu também em Paris um motor movido a hidrogênio, as válvulas e a ignição eram operadas a mão e a sincronia do motor era um problema (PURDY; FOSTER, 2021).

Diversos experimentos com vapor foram realizados nos séculos dezoito e dezenove, Joseph Cugnot, um engenheiro suíço que subsidiado pela França desenvolveu tratores movidos a vapor para tracionar canhões em 1770 (FLINK, 1990). Um desses tratores é mostrado na figura 1.

Figura 1 - Trator a vapor desenvolvido por Joseph Cugnot



Fonte: Encyclopædia Britannica (2021)

Em 1886 Carl Benz entrou com o pedido de patente de seu triciclo motorizado (ULRICH, 2011). Marcando o início do rápido desenvolvimento de veículos automotivos movidos a motores de combustão interna (DIETSCHKE; KUHLGATZ, 2014).

O motor Otto já havia sido patenteado em 1876 e em 1892 Rudolf Diesel entrou com seu pedido de patente em Berlim com sua versão diferenciada e mais eficiente de motor (ULRICH, 2011).

No início poucos empreendedores viam os veículos automotivos como uma opção viável de investimento, diversos desafios surgiram, a priori a opinião pública via com maus olhos a poluição e os barulhos que estes motores faziam. Além da falta completa de estrutura para os veículos, tais como estradas pavimentadas, peças de reposição e reabastecimento de combustível (DIETSCHKE; KUHLGATZ, 2014).

No final do século 19 e início do século 20 os carros mais promissores eram elétricos, tanto que em 1901 um automóvel elétrico detinha o recorde de velocidade, atingindo 100 km/h. Em 1900 nos EUA, 75 fabricantes produziram 4192 veículos automotores, sendo, 1688 com propulsão a vapor, 1575 elétricos e somente 929 movidos a gasolina (FLINK, 1990; ULRICH, 2011).

Foi na década de 20 que o motor a gasolina se firmou como a ideia vencedora, pois apresentava melhor eficiência e autonomia em relação a veículos elétricos, além de utilizarem um derivado do petróleo, com um preço bem reduzido à época (ULRICH, 2011).

Nos anos que se seguiram a indústria viu diversas companhias surgirem, tais como Peugeot, Citroën, Renault, Fiat, Ford e muitas outras. O mercado começou a

entender a importância do automóvel para a sociedade humana (DIETSCHÉ; KUHLGATZ, 2014).

No princípio cada automóvel era único, montado de forma totalmente manual por trabalhadores (DIETSCHÉ; KUHLGATZ, 2014). Com a chegada do modelo T em 1908 e a introdução da linha de produção da Ford em 1913, as coisas começaram a mudar (ULRICH, 2011). O modelo T revolucionou a indústria automobilística dos Estados Unidos. Um modelo com menos luxos e produzido em grandes quantidades, isso fez com que os automóveis se tornassem acessíveis nos Estados Unidos (DIETSCHÉ; KUHLGATZ, 2014). A ideia de Ford era que qualquer trabalhador pudesse comprar seus automóveis e dispor de tempo livre para utilizá-los e usufruir a vida, assim criava-se a base para a sociedade moderna de consumo (ULRICH, 2011).

Por meio das montadoras Citroën e Opel a ideia de Henry Ford foi disseminada pela Europa, entretanto a sua aceitação só iria acontecer em meados da década de 20 (DIETSCHÉ; KUHLGATZ, 2014).

No Brasil a aceitação dos automóveis era uma questão relacionada a escassa infraestrutura do começo do século 20, além de problemas relacionados ao uso do automóvel, como problemas mecânicos e elétricos. A Ford Motor Company foi a primeira empresa a instalar uma fábrica no Brasil em 1919, com está localizando-se no centro de São Paulo. A companhia passava por problemas financeiros à época e viu o mercado brasileiro como uma oportunidade para produzir e vender seu famoso Ford T (ALMEIDA, 2016).

Rapidamente as fabricantes começaram a entender que para ganhar cliente em meio a um mercado saturado, teriam que atender os desejos dos consumidores. Vitórias em corridas foram então utilizadas como propaganda e pilotos exibiam com orgulho a marca de seus carros. O que levou ao aumento da produção de veículos únicos e luxuosos, sendo o entre guerras o período com os mais exclusivos carros, como o Mercedes-Benz 500K, Rolls-Royce Phantom III, Bugatti Royale, entre outros (DIETSCHÉ; KUHLGATZ, 2014).

Os carros mais básicos e populares só voltariam após a segunda guerra mundial. Foi neste momento em que se precisava de carros pequenos e baratos, que o fusca foi desenhado por Ferdinand Porsche (DIETSCHÉ; KUHLGATZ, 2014). *Käfer* era seu nome oficial, um veículo com motor de quatro cilindros refrigerado a ar em boxer traseiro. Em 1972 a sua produção ultrapassou 15 milhões de unidades, se

tornando o veículo mais fabricado do mundo e ultrapassando o Ford T, que detinha anteriormente o recorde (ULRICH, 2011).

Outras respostas as demandas da época foram o Citroën 2CV, o Goliath GP 700, o Fiat 500 C, entre outros. Novos padrões foram sendo desenvolvidos, pensando em acessórios integrados e tecnologia, com uma consideração do custo benefício (DIETSCHE; KUHLGATZ, 2014).

Principalmente durante as décadas de 60, 70 e 80 a indústria de carros totalmente nacionais floresceu com destaque para marcas como: Puma, VEMAC, Gurgel e Gobbi. Uma das mais bem sucedidas foi a Puma, com um veículo esportivo desejado pelos jovens, viu suas vendas crescerem do período de 1964 a 1979. Após isso veio o declínio para a maioria das fabricantes, em 1987 como um dos últimos respiros da indústria automotiva 100% nacional surgiu o Miura X8, um carro a frente de seu tempo pelas suas inovações. Na figura 2 ele pode ser observado, apresentando suas icônicas portas do tipo “asas de gaivota”. (ALMEIDA, 2016).

Figura 2 - Miura X8, um super esportivo brasileiro



Fonte: Noal (2015)

Seja pela concorrência com as multinacionais estrangeiras, seja pela falta de incentivo governamental ou pelas estratégias errôneas adotadas nas empresas nacionais, a década de 90 marcou o declínio dos veículos totalmente nacionais e um avanço de empresas estrangeiras (ALMEIDA, 2016).

Atualmente, a ênfase está em desenvolver carros altamente seguros, sendo um desafio comparando-se a velocidade e o volume de tráfego crescentes ao longo dos anos, essa necessidade de segurança trouxe à tona desenvolvimentos de sistemas de sistemas como o *airbag*, ABS, TCS, sensores inteligentes, entre outros (DIETSCHE; KUHLGATZ, 2014).

2.2 HISTÓRIA DO AR CONDICIONADO AUTOMOTIVO

O desenvolvimento da indústria automobilística é alimentado pelo avanço dos padrões do mercado (DIETSCHKE; KUHLGATZ, 2014). E um dos padrões estabelecidos foi o aparecimento de ar condicionado nos veículos. Hoje comumente difundido, o sistema de ar condicionado automotivo foi introduzido pela primeira vez em 1939 no Packard 180, sendo o primeiro veículo a sair com este sistema de fábrica (DALY, 2006). De acordo com a academia nacional de ciências dos Estados Unidos, o sistema era vendido como um opcional por 274 dólares na época, o compressor funcionava em um sistema fora do motor e o ar saía a partir da parte traseira do carro (NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE, 2021).

Nos primeiros automóveis a forma de controle de temperatura não existia, dado que a construção da cabine era aberta. Eventualmente cabines fechadas foram introduzidas, isso abriu caminho para uma nova necessidade, a de climatização do ambiente interno dos carros (DALY, 2006).

O primeiro sistema de ar condicionado moderno é creditado a Willis Carrier, desenvolvido em 1902 para resolver problemas em uma planta industrial de impressão em Nova York. Mais tarde, em 1933, Carrier começaria a produzir em sua companhia modelos de ar condicionado que se tornariam o padrão para o mercado dos Estados Unidos (VARRASI, 2011).

Entre os automóveis os primeiros sistemas, ainda rudimentares, utilizavam tijolos de argila aquecidos colocados dentro dos automóveis e também a utilização de queimadores, para aquecer seu interior. A ventilação era obtida pelas janelas, pela dificuldade de controle do fluxo de ar e pela eventual entrada de partículas de sujeira e poeira. Logo, carros começaram a ser produzidos com saídas de ar abaixo do para-brisa e motores elétricos para aumentar o fluxo de ar em baixas velocidades (DALY, 2006).

A refrigeração inicialmente era realizada com a colocação de blocos de gelo dentro dos carros. Então trocadores de calor foram introduzidos, utilizando-se ou do calor do sistema de exaustão ou da água de refrigeração do automóvel. Todos esses sistemas eram inseridos no carro pelo proprietário, sendo nenhum deles original de fábrica (DALY, 2006).

Segundo a “*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*” (ASHRAE), o ar condicionado representa uma montagem de

equipamentos para o controle simultâneo de temperatura do ar, umidade relativa, pureza e movimento (ASHRAE, [s.d.]). Em um veículo o ar condicionado tem a função de aumentar o conforto dos passageiros durante o verão, inverno, temporada de chuvas, controle de umidade, controle de circulação de ar, descongelamento, desembaçamento, controle da qualidade do ar, etc (SHAH, 2009).

De acordo com a revista *Popular Science*, um dos primeiros sistemas de ar condicionado foi testado em Nova York em 1933, para resfriar o ambiente interno do automóvel utilizava-se água e um compressor, e para aquecer, a água quente do radiador fluía por serpentinas (Popular Science, 1933).

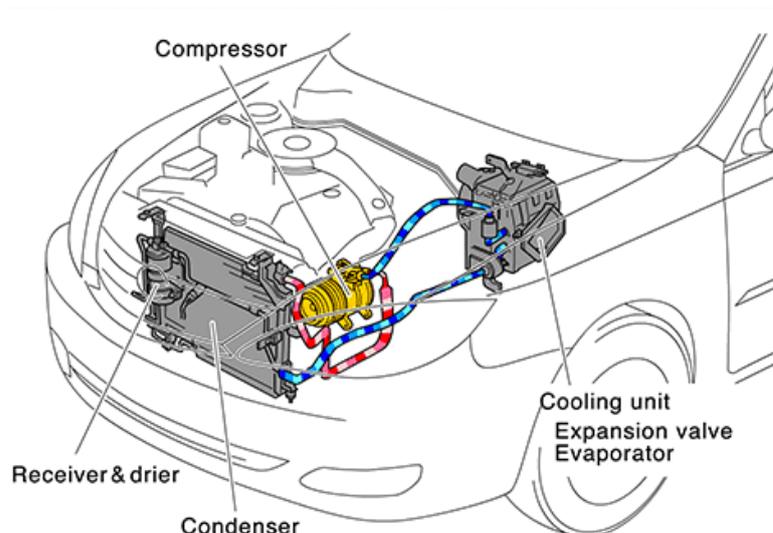
Diversas tentativas de inserir o ar condicionado no mercado ocorreram nos anos 40, foi apenas em 1954-1955 que Nash-Kelvinator apresentou um modelo de ar condicionado acessível para as grandes massas com controles no painel (DALY, 2006).

Nos primeiros sistemas de ar condicionado a única forma de avaliar as funcionalidades e desempenho era através da construção de um modelo de testes, este apresentava altos custos de implementação, além do não entendimento da melhor eficiência de certos *designs* em relação a outros (DALY, 2006).

A introdução de processos computadorizados para desenvolver modelos, permitiu a simulação dos sistemas em um computador antes de sua construção, com isso tornou-se possível padronizar componentes e repassa-los a fabricantes e fornecedores, garantindo a correta montagem e fabricação. Além disso, os *designers* podem modificar e atualizar seus modelos em curtos períodos de tempo, sendo possível também realizar testes de estresse e performance das peças utilizando-se de programas mais avançados (DALY, 2006).

O sistema de ar condicionado atual funciona através de um líquido que circula pelo sistema fechado em um processo de vaporização, liquefação e de vaporização novamente. Sendo necessário que o calor seja emitido para condensar o gás, assim utiliza-se de um compressor, pois com altas pressões a liquefação é realizada de forma facilitada (TOYOTA INDUSTRIES CORPORATION, 2021). A representação do ciclo pode ser observada na figura 3.

Figura 3 - Ciclo de funcionamento do ar condicionado



Fonte: TOYOTA INDUSTRIES CORPORATION (2021)

De acordo com Farrington e Rugh (2020), os sistemas de ar condicionado representam um valor expressivo no consumo de combustível em veículos convencionais e híbridos, e energia em elétricos. Dessa forma o quesito ambiental precisa ser considerado, principalmente na utilização aumentada de combustíveis causada pelo uso e pelo peso adicional em um carro convencional. Para veículos elétricos o consumo aumentado de energia significa redução da distância útil de utilização. Assim é citado a importância de sistemas mais eficientes (FARRINGTON; RUGH, 2000).

2.3 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Uma das formas de aumentar a eficiência de sistemas é utilizando-se de inteligência artificial e mais especificamente de *machine learning* em diversas etapas do desenvolvimento desses produtos, como é visto no trabalho de Girelli e Corso, neste artigo foi desenvolvido um sistema para detecção de falhas em contentores plásticos utilizando Redes Neurais Convolucionais (GIRELLI; CORSO, 2020).

De acordo com Luger (2013) a inteligência artificial é definida como um ramo da ciência da computação que trata de procedimentos realizados de forma inteligente. Esse conceito começou a ser estudado em 1950 com Alan Turing em seu trabalho “Maquinas computacionais e inteligência”, após cinco anos o primeiro programa de IA

seria apresentado. Após um período de estagnação da área a inteligência artificial ressurgiu na década de 80 com a evolução na forma de armazenamento dos computadores e na expansão dos kits de ferramentas de algoritmos e maiores financiamentos (HPE, 2021).

Uma parte desafiadora da inteligência artificial é o *machine learning*, hoje essa tecnologia é utilizada em diversas áreas na sociedade moderna como na navegação pela internet, em filtros de redes sociais, presente também em produtos como *smartphones*, câmeras, etc (LECUN; BENGIO; HINTON, 2015).

Dessa forma é inquestionável sua importância, pois está é uma das habilidades chave para o comportamento inteligente. Normalmente quando programas encontram soluções para problemas, a mesma não é registrada, no caso de necessitar-se novamente da solução, a mesma é recalculada. Este comportamento representa uma perda expressiva da eficiência e torna certas atividades custosas e muito difíceis de serem resolvidas por um sistema programado (GIRELLI; CORSO, 2020). Assim a solução é permitir que programas aprendam por conta própria, em sistemas não supervisionados, aprendam com um dito “professor” em sistemas supervisionados ou com o ambiente em sistemas de reforço (LUGER, 2013).

O método de aprendizagem supervisionada é o mais comum, pois esse funciona com o princípio da utilização de uma base de dados, previamente classificada. Por exemplo, quer-se identificar aspectos presentes em uma rua, dessa maneira imagens devem ser fornecidas, estas devem estar segmentadas e com seus elementos classificados e legendados em categorias (LECUN; BENGIO; HINTON, 2015). A rede então é treinada, sendo que cada amostra deve ter sinais de entrada e respectivas saídas, fazendo então uma tabela atributos/valores e com estas informações a rede pode formular “hipóteses” sobre a classificação das amostras (SILVA; SPATTI; FLAUZINO, 2016).

Dependendo do problema a ser resolvido com a rede, são necessárias múltiplas camadas para atingir o objetivo proposto, dessa forma os pesos colocados nos estágios de computação, de forma precisa, tem como nome *Deep Learning*. Essa técnica é muito utilizada atualmente com o avanço do poder de computação (SCHMIDHUBER, 2015).

2.4 SENSOR DE VISÃO

A visão 2D na indústria é uma tecnologia relativamente desenvolvida, utilizada com sucesso desde os anos 80, é a tecnologia de visão com menor custo de aquisição, utilizadas principalmente em robôs, como no robô *FlexPicker* da ABB utilizado em aplicações de movimentação de pequenos objetos de forma rápida e precisa (ABB, 2021; GAN; TANG, 2011).

Sensores de visão são empregados em diversas áreas na indústria para solucionar problemas de detecção, utilizam câmeras integradas e iluminação para capturar imagem, diversos modelos contam com IA para configurações ótimas de captura e detecção (KEYENCE CORPORATION, 2021a).

Neste trabalho foi utilizado o sensor de campo de visão amplo Tipo monocromático AF de modelo IV2-G600MA, este utiliza iluminação própria em infravermelho para capturar imagens que são então tratadas e processadas por algoritmos de *machine learning* (KEYENCE CORPORATION, 2021b).

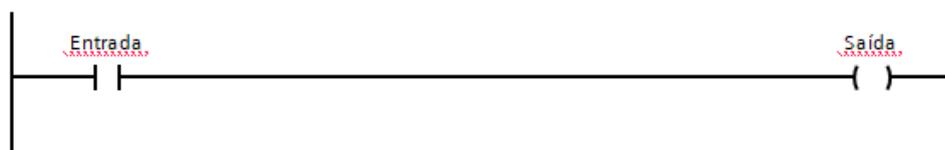
A câmera inicialmente captura a imagem padrão a ser testada, em seguida o operador deve selecionar em um *software* os pontos a serem verificados, dessa forma quando novas amostras forem apresentadas haverá a comparação com a imagem padrão nas características apontadas pelo operador, o programa irá então decidir se a amostra em questão atende as especificações, assinalando como OK (aceitável) ou NG (não aceitável). A precisão da classificação pode ser ajustada através das configurações do aplicativo do fabricante (KEYENCE CORPORATION, 2021b).

2.5 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO LADDER

De acordo com SILVA (2016) a linguagem *Ladder* segue normas e padrões internacionais e ela foi a primeira que surgiu para a programação de CLPs. O diagrama *Ladder* deve ser delimitado na esquerda e na direita por linhas verticais chamadas de linha de força da esquerda e de linha de força da direita, respectivamente. A linha de força da direita pode ser explícita ou implícita (DE ALMEIDA, 2003).

Na linguagem *Ladder* as entradas são fixas do lado esquerdo e as saídas são fixadas no lado direito. Sua representação pode ser observada na figura 4.

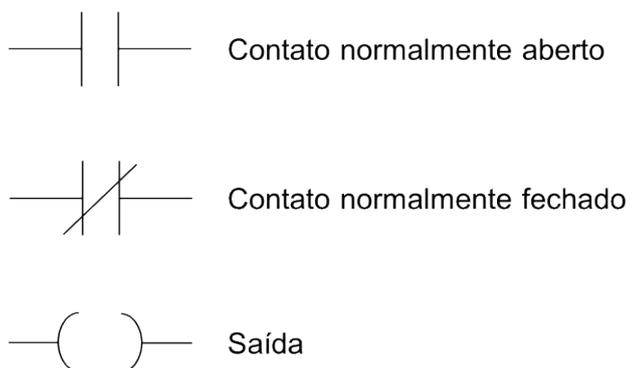
Figura 4 - Exemplo de entrada e saída na linguagem de programação *Ladder*



Fonte: Autoria própria

Ainda sua simbologia pode ser dividida em contato aberto, contato fechado e saída.

Figura 5 - Simbologia da linguagem de programação *Ladder*



Fonte: Autoria própria

As principais funções da linguagem de programação *Ladder* são *AND* e *OR*. A função *AND*, representa as chaves de entradas das linhas que são individuais e os contatos encontram-se em série, os contatos ficam em linhas horizontais. Já a função *OR* representa a presença dos contatos em paralelo, esses contatos ficam em colunas verticais (DE ALMEIDA, 2003).

3 METODOLOGIA

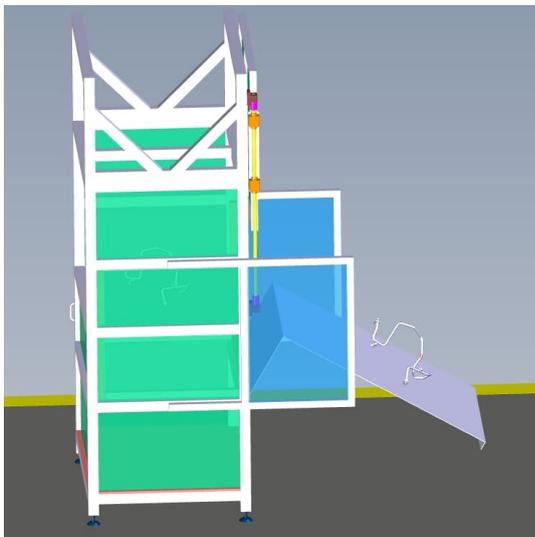
A fabricação de tubulações para ar condicionado pode apresentar uma geometria complexa de acordo com cada modelo de carro desenvolvido pelo cliente. Essas tubulações contam também com materiais que evitam o seu desgaste, tais como tampas que vedam a entrada de ar nas válvulas e assim evitam a oxidação interna das peças e garantem uma melhor eficiência para os carros.

Dessa forma, para garantir a qualidade das peças produzidas, foi desenvolvido o projeto de uma bancada de inspeção final de componentes para tubulações de ar condicionado utilizando inspeção visual automatizada.

A bancada irá contar com uma redoma e uma abertura na parte frontal da mesma para que o operador consiga inserir a peça, já com os devidos componentes, acima dela uma TV para auxiliar no acompanhamento visual do processo, dentro da redoma existem dois sensores de visão IV2-G600MA da Keyence que irão julgar a conformidade da peça em OK e NG.

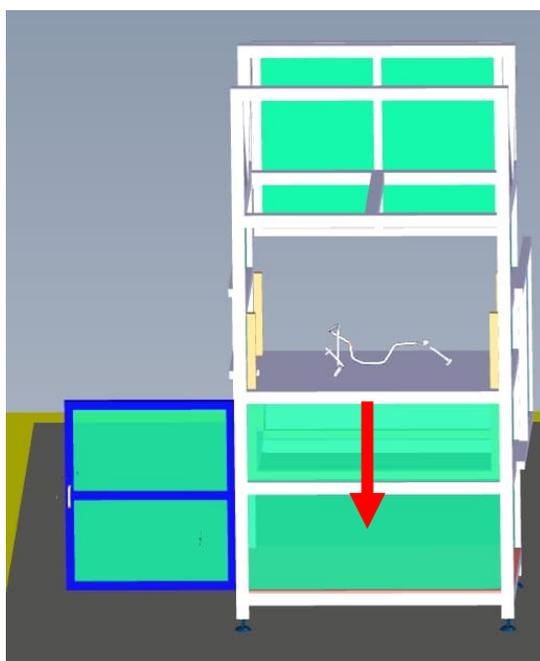
Com o auxílio da equipe de protótipos da empresa, foi desenvolvido um modelo em 3D para que seja possível a visualização do projeto. Na parte traseira existe uma porta que sobe auxiliada por um pistão pneumático, assim quando o sensor detectar uma peça OK essa porta abre e a peça sai pela parte traseira da bancada, como é mostrado na figura 6. Caso o sensor detectar uma peça NG, a base se abre, com o auxílio de outros dois pistões, fazendo com que a peça caia em um compartimento abaixo, conforme figura 7.

Figura 6 - Modelo da bancada, na figura é apresentada uma peça OK, está saí pela parte traseira da bancada



Fonte: Autoria própria

Figura 7 - Modelo da bancada, na figura é apresentada uma peça NG, esta cai para um compartimento na parte inferior da bancada



Fonte: Autoria própria

3.1 CICLO DA PEÇA

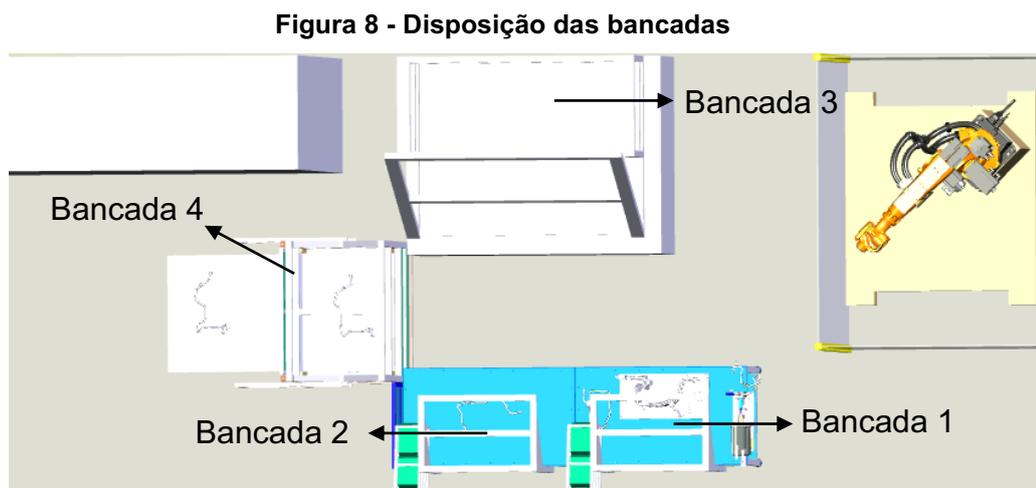
Inicialmente, se faz necessário explicar o ciclo que a peça realiza para os testes.

A operação consiste em quatro processos principais, estes estão descritos abaixo:

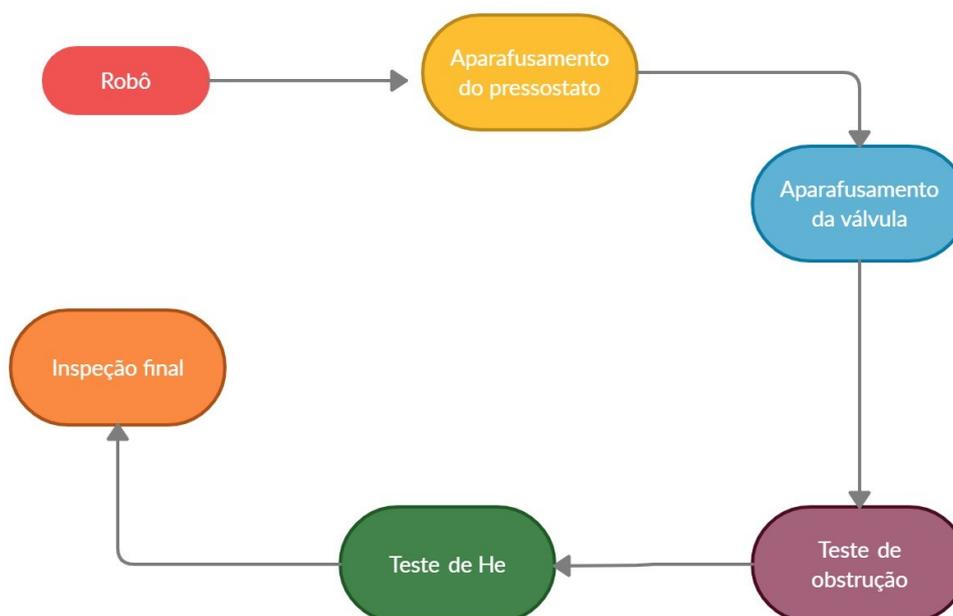
- 1º - Aparafusamento do pressostato;
- 2º - Aparafusamento de válvula;
- 3º - Teste estanqueidade de alta pressão e teste do funcionamento elétrico do pressostato;
- 4º - Teste de estanqueidade com hélio;

Estes testes são realizados em bancadas e são realizados previamente à inspeção final.

Inicialmente a peça chega até a máquina como um tubo moldado, já com todos seus componentes soldados. O ciclo inicia-se com a peça no reservatório do robô, em seguida ela segue para o aparafusamento do pressostato, na bancada 1, na sequência é realizado a conferência no gabarito de geométrica e a peça recebe as etiquetas (essas estão indicadas no gabarito de geometria). Logo após, é efetuado o aparafusamento da válvula, para assim poder realizar o teste de estanqueidade e de funcionamento elétrico do pressostato, realizados na bancada 2. Por fim, faz-se o teste do Hélio na bancada 3 e o teste de inspeção final observado pelo operador na bancada 4. A disposição das bancadas é mostrada na figura 8 e o fluxograma que descreve o processo pode ser visto na figura 9.



Fonte: Equipe de protótipos da empresa

Figura 9 - Fluxograma descrevendo o ciclo da peça

Fonte: Autoria própria

3.1.1 Dobra e Aparafusamentos

Com o tubo no reservatório do robô, o operador confere se o mesmo está em boas condições para realizar a dobra, então o tubo é colocado no local correto, após ser realizado o acionamento de um botão, o braço robótico começa a realizar as dobras do qual foi programado. Após o robô realizar a dobra, o operador deverá retirar a peça dobrada e colocá-la no suporte do aparafusamento.

Os componentes necessários para as próximas etapas são armazenados em reservatórios que apresentam o sistema PTL (*pick-to-light*), este sistema é formado por um sensor capacitivo e um LED que pode ser programado de diferentes formas. O sistema PTL fica aceso na cor verde informando o reservatório pertinente, que contém a peça correta, e apagado nos outros reservatórios. Em caso de erro na escolha os LEDs do PTL se acendem na cor vermelha. Os botões bimanuais só serão alimentados após o operador retirar todos os componentes pertinentes dos reservatórios.

Em seguida, o operador posiciona o pressostato no parafusador e aciona o botão bimanual, assim iniciando o aparafusamento do pressostato com o motor. Este

sai da posição *home* (posição de início) iniciando o avanço e o giro. Nesse momento uma indicação luminosa verde pulsante na frequência de 0,5 Hz ocorre. O motor avança até encontrar a rosca da peça para iniciar o aparafusamento. Quando o torque no eixo do motor, previamente configurado na IHM, for atingido, o processo será interrompido e a máquina volta a *home*, ou seja, posição inicial. Caso o motor avance e não encontre a rosca e conseqüentemente não atinja o torque, a máquina entrará em falha após 50 segundo. A condição de falha aciona o LED vermelho de forma intermitente.

Ao finalizar o aparafusamento do pressostato, é realizada a conferência se a peça corresponde a geometria desejada pelo cliente. Assim ela é direcionada para o módulo de aparafusamento da válvula. O operador fixa o *oring* (anel de vedação) na extremidade da peça e posiciona a válvula, em seguida o conjunto é levado para o parafusador e é acionado o botão bimanual. Logo, inicia-se o aparafusamento da válvula (o motor avança de maneira semelhante ao aparafusamento anterior).

3.1.2 Teste de Obstrução

Após ser finalizado ambos os aparafusamentos, a peça irá para os módulos de testes. O primeiro é o teste de estanqueidade, ou teste de obstrução.

Neste teste, ocorre a pressurização com ar comprimido da peça. As conexões são vedadas e é realizada a injeção de ar simultaneamente. Há um sensor de pressão que é utilizado para a detecção de qualquer obstrução no interior da peça.

Na realização do teste o operador coloca os bocais nos dois lados da peça, dessa forma vedando todas as saídas de ar. Para o início do teste o operador pressiona o comando bimanual e o LED verde começa a pulsar. No momento em que esse LED fica intermitente, o processo foi finalizado e a peça foi aprovada. Caso o LED vermelho se acenda a peça foi rejeitada pelo teste.

Com o pressostato da peça é realizado a conexão rápida de um dispositivo eletrônico, que injeta uma tensão nos seus terminais e de acordo com o retorno desta grandeza, mede a sua magnitude e a compara com os níveis de ensaio.

3.1.3 Teste de Estanqueidade com hélio

Finalizando o teste de obstrução, a peça deve ir para o teste de estanqueidade de alta pressão com hélio. Nesse processo ocorre a pressurização de gás Hélio dentro da peça, as conexões são vedadas, e com o auxílio de pistão pneumático, a peça é enclausurada. Como o gás hélio é mais leve que o ar, caso exista algum ponto de perfuração ou com solda não conforme, que possa deixar a peça com algum tipo de vazamento, a máquina detecta a presença do hélio fora do conjunto com o auxílio de capilares e envia a informação para o CLP, caso isso ocorra a peça é reprovada.

Para realizar o teste descrito anteriormente, a peça é posicionada dentro do gabarito, em seguida são fechados os manípulos a fim de vedar a peça. A porta da câmara é também fechada e aperta-se o botão de *start* do teste. Após alguns momentos o teste é finalizado e uma torre luminosa posicionada próxima a IHM informa se a máquina detectou vazamento (luz vermelha) ou se a peça está sem vazamento (luz verde).

Caso a peça seja reprovada, o operador aproxima sua TAG do leitor RFID para que seja impresso a etiqueta NOK, mostrada na figura 10, caso a peça seja aprovada, a etiqueta OK é impressa automaticamente e o operador a cola em um local adequado da peça. A etiqueta colocada na peça pode ser observada na figura 11.

Figura 10 - Etiqueta NOK, para peça impressa não aceitável pelos padrões estabelecidos



Fonte: Autoria própria

Figura 11 - Etiqueta OK colocada na peça



Fonte: Autoria própria

Por fim, o operador retira os componentes do reservatório e coloca a peça dentro na inspeção final para que seja realizada a conferência por outro operador, em seguida a peça está pronta para ser destinada ao cliente.

3.2 COMPONENTES DA BANCADA DE INSPEÇÃO FINAL

Dentro do projeto, é indispensável analisar criticamente as escolhas dos componentes que irão integrar o mesmo, pois um componente mal dimensionado pode causar danos materiais a máquina, implicar em gastos desnecessários, redução da produtividade do setor e até mesmo provocar acidente.

O projeto da bancada de inspeção final é formado por perfil estrutural de alumínio, com chapas de ACM posicionadas nos vãos dos perfis.

Tendo em vista que o protocolo de rede da empresa é o PROFINET, foram escolhidos componentes que atendem a esse requisito, a fim de manter o padrão definido pela empresa. Sendo assim, os componentes eletrônicos são:

- 1 CLP Siemens S71200 1214C, DC/DC/DC;
- 1 IHM Siemens KTP 700;
- 2 Câmeras Keyence IV2-600MA;
- 1 Leitor de QR code Keyence SR1000;
- 1 TV STI;

- 2 pares de cortina de luz Keyence GL-R28H;
- Cabos e conexões pertinentes.

A seguir será detalhado cada componente.

3.2.1 CLP - S71200 e IHM - KTP 700

Para a programação do funcionamento da bancada de inspeção final se faz necessário a utilização de um CLP. A escolha do integrador Siemens se deu por conta dos seguintes fatores:

- Qualidade e confiabilidade de seus produtos;
- Fácil integração das condições de monitoramento dos componentes para a automação;
- Gerenciamento do CLP na detecção rápida de danos mecânicos;
- Programação através do software *TIAportal* ser de fácil entendimento;
- Funcionalidade de registro de banco de dados, os quais podem ser utilizados para a fácil visualização do OEE;
- Pequenas dimensões (sendo um controlador pequeno, é mais fácil de alocar dentro do painel elétrico);
- Facilidade de expansão das entradas e saídas através de módulos;
- Baixo custo de aquisição.

Tendo em vista o projeto, o CLP S7-1200, apresentado na figura 12, contando com suas 14 entradas digitais, 10 saídas digitais, 2 entradas analógicas (0-10 V DC) e memória de trabalho 75 KB, atende as necessidades expostas pelo projeto, sendo todas as suas saídas em 24 V, além de trabalhar em protocolo de comunicação PROFINET (Siemens AG, 2018a).

Figura 12 - CLP S7-1200 da Siemens



Fonte: Siemens AG (2018a)

A IHM escolhida foi a KTP700 BASIC, mostrada na figura 13, o motivo da escolha foi seu tamanho de 15,4 cm por 8,59 cm o qual se encaixaria dentro do painel já pré-definido, apresenta também comunicação PROFINET e é compatível com os outros componentes já escolhidos no projeto (Siemens AG, 2018b).

Figura 13 - IHM KTP700 da Siemens



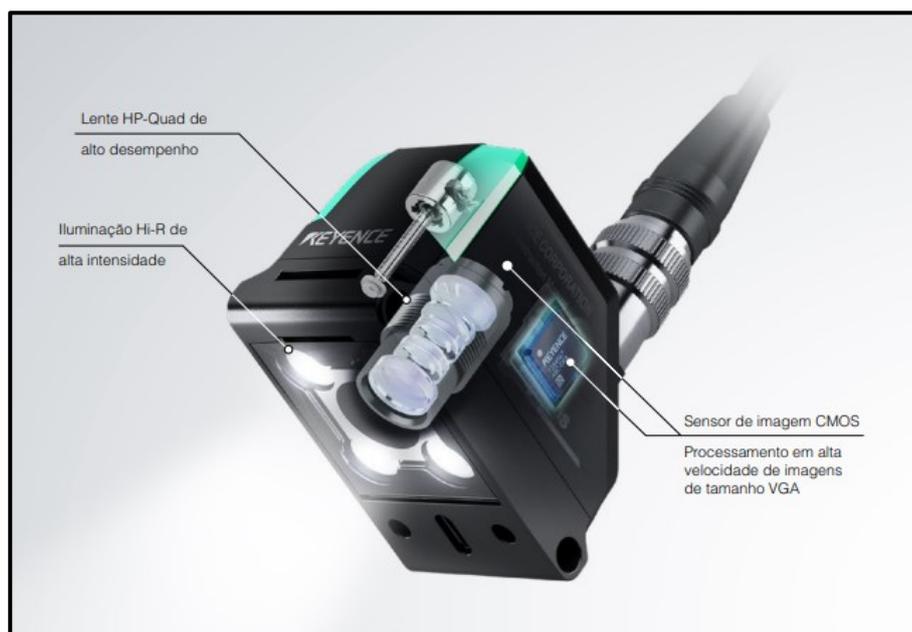
Fonte: Siemens AG (2018b)

3.2.2 Sensor de Visão IV2-G600MA

Um dos objetivos do projeto é a utilização de inspeção visual com o auxílio de câmeras a fim de detectar os componentes presentes nas peças, buscou-se no mercado um sensor de visão com melhor custo benefício para o projeto. Encontrou-se o sensor de visão IV2-G600MA da Keyence, ele apresenta uma câmera monocromática, suficiente para o projeto, e utiliza também o protocolo PROFINET de comunicação.

O sensor é mostrado na figura 14, ele possui um sensor de visão com IA integrada projetada especialmente para a diferenciação de presença/ausência, sendo capaz de detectar diferenças entre imagens registradas de produtos aceitáveis e inaceitáveis para determinar automaticamente as melhores configurações (KEYENCE CORPORATION, 2020).

Figura 14 - Componentes presentes no sensor IV2



Fonte: KEYENCE CORPORATION (2020)

O sensor de visão permite imagens nítidas a uma distância que pode variar de 40 a 600mm. A iluminação LED integrada oferece a iluminação necessária para o correto funcionamento do sensor. A lente *HP-Quad* (*quad* de alta precisão) apresenta 4 elementos de vidro o que minimiza os efeitos de distorção. Isso possibilita capturar imagens brilhantes e nítidas com baixa distorção, conforme mostra a figura 15.

Figura 15 - Lente HP-Quad do sensor de visão IV2-G600MA



Fonte: KEYENCE CORPORATION (2020)

As dimensões do sensor são apresentadas na figura 16.

Figura 16 - Dimensões do sensor de visão IV2-G600MA



Fonte: KEYENCE CORPORATION (2020)

A programação da câmera conta com IA que analisa imagens de produtos OK e NG registradas utilizando diversas características, como cor, brilho e formato para ajustar automaticamente as configurações de detecção ideais. Os usuários precisam apenas registrar produtos aceitáveis e inaceitáveis para concluir a configuração.

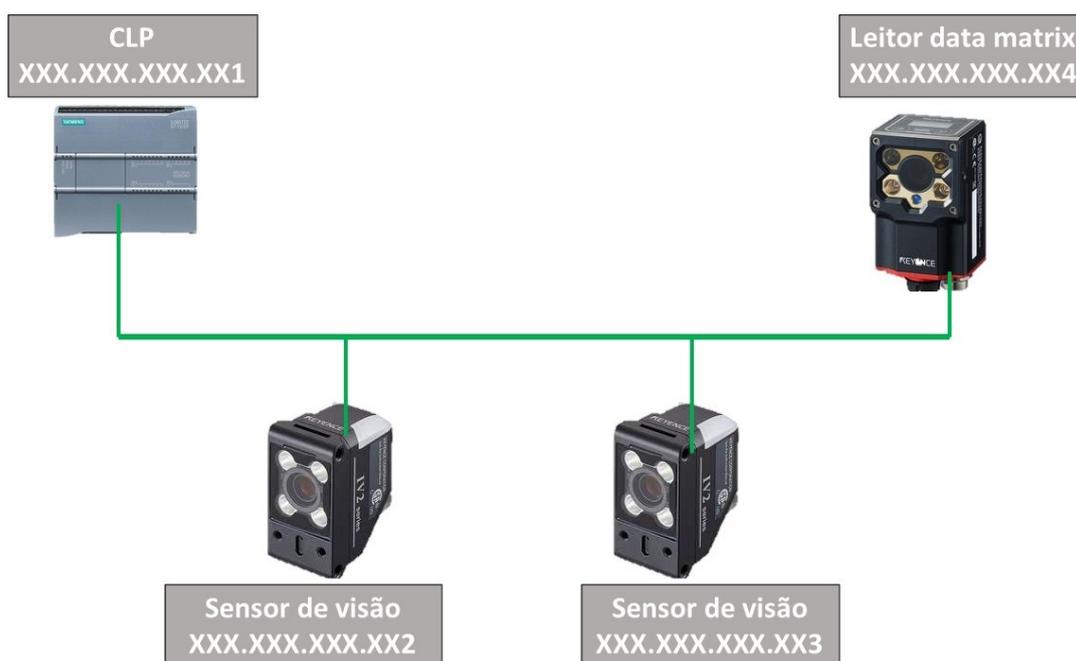
O sensor pode ser configurado com dois tipos de disparo, interno, no qual o programador define o tempo entre um disparo ou outro, e externo, no qual o CLP envia a informação para que o sensor realize o disparo. Assim ele verifica a imagem que está à frente de sua lente e realiza o julgamento que foi programado. O sensor comporta até 128 programas (com cartão SD, sem o cartão pode conter até 32 programas), ou seja, o mesmo sensor pode ser programado para até 128 peças.

3.2.3 Programa IV2-Navigator

Junto com o sensor de visão é disponibilizado para o comprador o programa IV2-Navigator. Nele é possível realizar a programação desejada para o bom funcionamento da inspeção visual.

Ao abrir o software é possível visualizar os modos de conexão com as câmeras. Configurando o IP do computador e das câmeras em uma mesma faixa de endereço. Por exemplo XXX.XXX.XXX.XXX conforme mostra a figura 17.

Figura 17 - Componentes interligados em rede e exemplos de IP de cada um

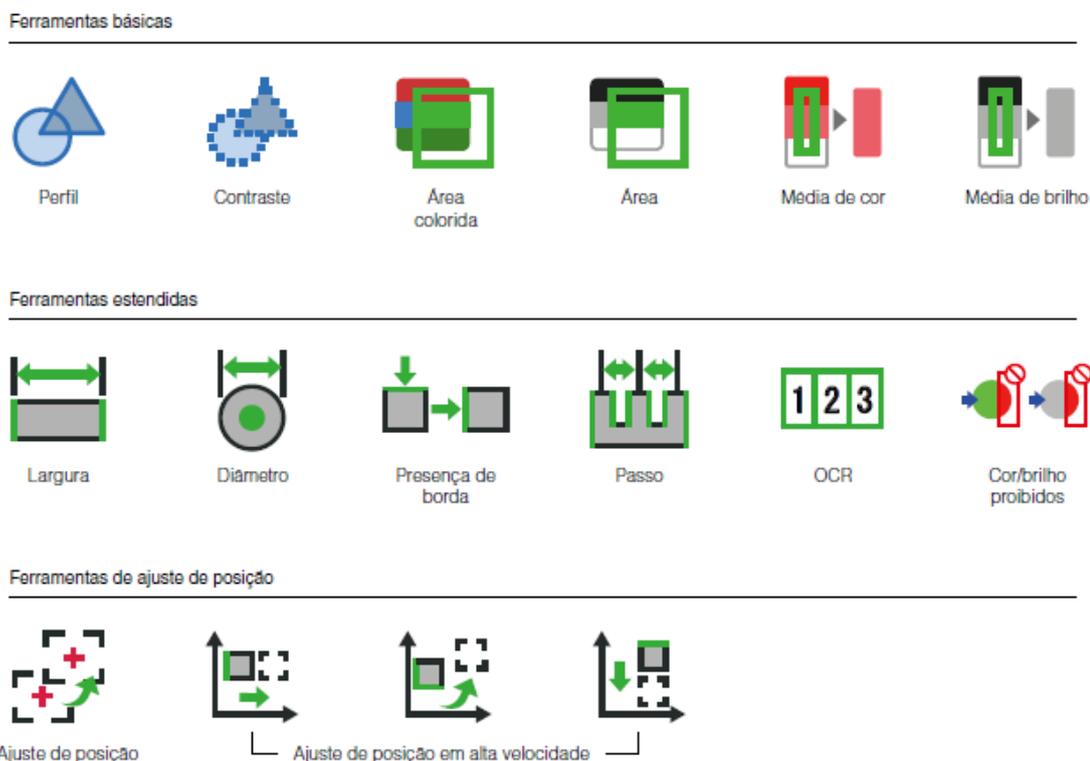


Fonte: Autoria própria.

A câmera possui dois modos de operação, o modo aprendizagem (*Learning Settings*) e o modo padrão (*Tool Settings*). O modo aprendizagem utiliza IA para diferenciar imagens aceitáveis e não aceitáveis, no modo padrão o programador define a melhor ferramenta da câmera para que ela realize o julgamento.

Existem 3 subdivisões de ferramentas, são elas: ferramentas básicas, ferramentas estendidas e ferramentas de ajuste de posição. Nas ferramentas básicas temos perfil, contraste, área colorida, área, média de cor e média de brilho e ajuste de posição. Nas ferramentas estendidas largura, diâmetro, presença de borda, Passo, OCR e cor/brilho proibidos. Em ferramentas de ajuste de posição temos ajuste de posição e ajuste de posição em alta velocidade. Todas essas subdivisões e ferramentas podem ser vistas na figura 18.

Figura 18 - Subdivisões e ferramentas de aprendizagem do programa IV2-Navigator



Fonte: KEYENCE CORPORATION (2020)

As ferramentas área colorida, média de cor e cor proibidos não estão disponíveis pois a câmera utilizada no projeto é monocromática.

Em todas as ferramentas é necessário ajustar:

- O formato e tamanho da janela em cima do alvo (se necessário adicionar uma máscara a janela);
 - A sensibilidade de cada aplicação;
 - As configurações de cada ferramenta (como intensidade de brilho, adicionar ou remover contorno, entre outras);
 - A tolerância (alguns ainda é possível adicionar um limite máximo, por exemplo, o brilho em algum componente, se o brilho exceder o programado a peça será identificada como NG);
 - Ajustar a rotação da peça.
- Perfil: podem ser identificadas diferenças provocadas por variação de brilho ou diferenças em tamanhos de superfície. Na figura 19 é apresentado uma

diferença relacionada ao tamanho da peça analisada em relação a referência estabelecida, linhas da imagem.

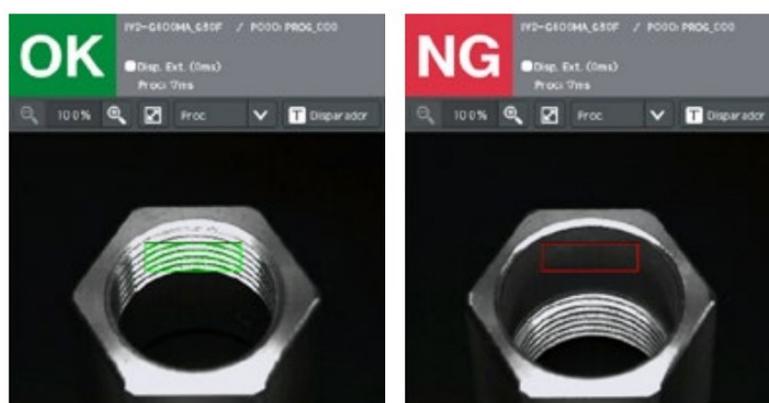
Figura 19 - Do lado esquerdo uma peça OK e do lado direito uma peça de tamanho menor do que a programada, logo ela está em não conformidade



Fonte: KEYENCE CORPORATION (2020)

- **Contraste:** é possível distinguir objetos com padrões variados e não uniformes. Na figura 20 é apresentado uma “porca” em que é detectado a presença dos sulcos através da análise de contraste dentro do quadrado pré-definido no programa. Na imagem da direita os sulcos não estão no lugar correto, de acordo com a referência. Dessa forma esta peça é não aceitável.

Figura 20 - Do lado esquerdo uma peça OK e do lado direito superfície sem sulcos para atarraxamento, logo esta peça está em não conformidade

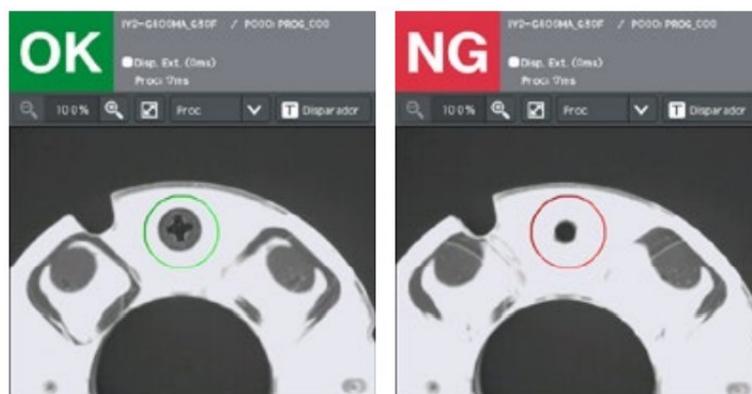


Fonte: KEYENCE CORPORATION (2020)

- **Área:** Com essa ferramenta é possível identificar diferenças dentro da área selecionada. Na figura 21 nota-se a falta do parafuso na imagem da direita,

este problema é detectado pelo sensor pela comparação com a imagem referência e analisando a área dentro do círculo definido.

Figura 21 - Do lado esquerdo uma peça OK e do lado direito há a falta do parafuso, logo esta peça está em não conformidade



Fonte: KEYENCE CORPORATION (2020)

- Média de brilho: Essa ferramenta tem o objetivo de identificar diferenças de brilho dentro de uma área pré-definida. Na figura 22, é possível observar a grande diferença entre a peça branca e preta e quando realizada a comparação com a referência, a imagem da direita está não aceitável.

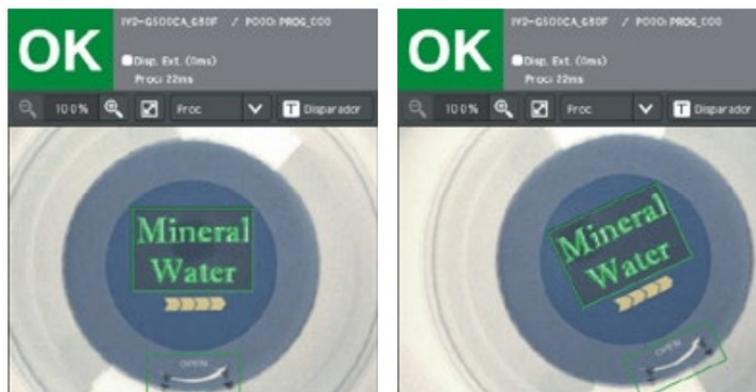
Figura 22 - Do lado esquerdo uma peça OK e do lado direito o brilho se encontra diferente da referência, indicando uma não conformidade



Fonte: KEYENCE CORPORATION (2020)

- Ajuste de posição: Essa ferramenta tem o objetivo de detectar um padrão a ser testado mesmo que haja rotação do objeto de testes. Na figura 23 há a rotação da embalagem, entretanto existe também a detecção do ponto de abertura, pré-definido para ser testado, assim as duas embalagens estão aceitáveis.

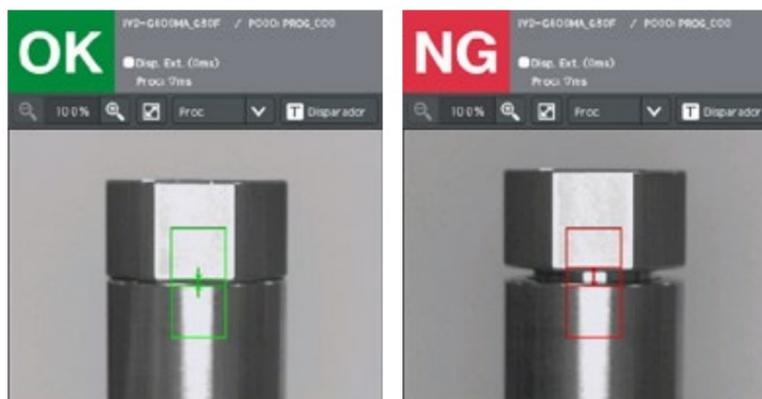
Figura 23 - Os dois lados apresentam peças OK, mesmo com a mudança de orientação o sistema detectou a conformidade



Fonte: KEYENCE CORPORATION (2020)

- **Largura:** Tem a função de distinguir diferenças de largura em posições pré-definidas. Pode trabalhar com medidas reais. Na figura 24 a imagem da direita apresenta um espaço acima dos limites definidos como aceitável, sendo um possível problema de montagem, sendo assim a peça é definida como não aceitável.

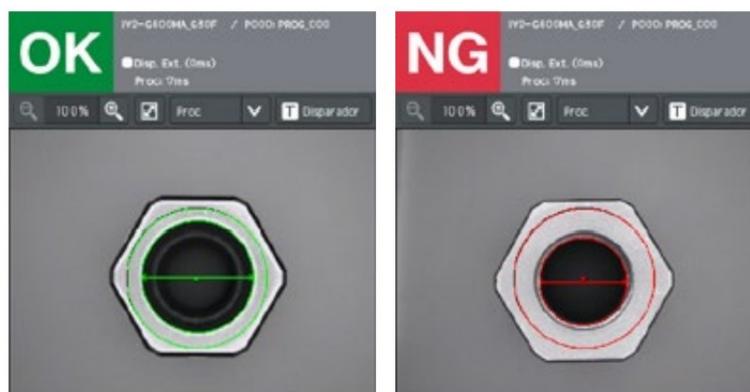
Figura 24 - O lado esquerdo apresenta a peça aceitável e o lado esquerdo apresenta a peça com uma significativa diferença em largura, dessa forma sendo definida como não aceitável



Fonte: KEYENCE CORPORATION (2020)

- **Diâmetro:** Com essa função é possível definir diâmetros mínimo, máximo e o especificado. Podendo apresentar medidas reais. A figura 25 mostra a não conformidade sendo apontada na imagem da direita através do diâmetro incorreto, de acordo com a referência imposta pelo usuário.

Figura 25 - O lado esquerdo apresenta a peça aceitável e no direito o diâmetro interno está com uma diferença significativa em relação a referência.



Fonte: KEYENCE CORPORATION (2020)

- Presença de borda: É possível analisar a quantidade de bordas presentes e a conformidade dessas bordas em relação a uma referência pré-definida. Na figura 26 encontram-se bordas não aceitáveis analisando-se a imagem da direita em relação a referência.

Figura 26 - O lado esquerdo apresenta a peça aceitável e o lado direito a mesma está com bordas não adequadas, dessa forma sendo definida como não aceitável



Fonte: KEYENCE CORPORATION (2020)

- Passo: Pode ser realizado a análise do objeto de teste em relação ao afastamento e largura de partes pré-definidas. Podendo também ser utilizado dimensões reais. Na figura 27 analisando a imagem da direita, os pinos encontram-se tortos em relação a referência, assim é detectado uma não conformidade e peça é considerada não aceitável.

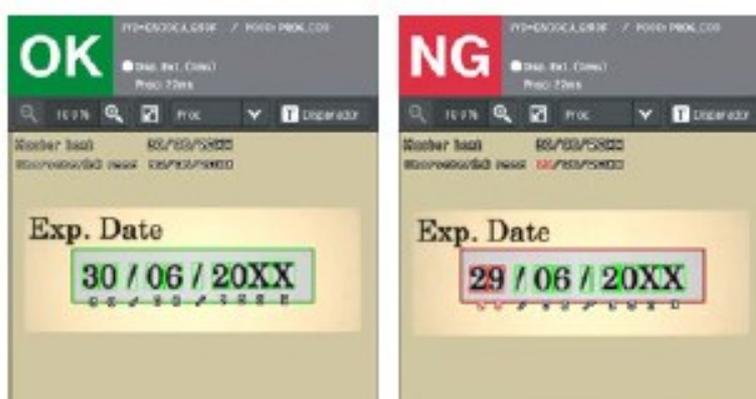
Figura 27 - O lado esquerdo apresenta a referência de peça aceitável e o lado direito apresenta uma peça com diferença no afastamento



Fonte: KEYENCE CORPORATION (2020)

- OCG: Inspeção baseada em letras, números e algarismos, através da comparação com um padrão pré-estabelecido é possível identificar uma conformidade ou não do objeto de testes. Na figura 28 é realizada a comparação da data de validade em rótulos, nota-se que o da direita apresenta a parte correspondente ao dia diferente da referência, definido como a imagem da esquerda, assim ele é considerado não aceitável.

Figura 28 - O lado esquerdo apresenta a data de vencimento aceitável e o lado direito apresenta a data de vencimento não aceitável, os dois primeiros dígitos encontram-se diferentes da referência



Fonte: KEYENCE CORPORATION (2020)

- Brilho proibido: Com esta ferramenta é analisado o brilho em partes específicas do objeto de teste, assim quando definido um padrão é possível identificar mudanças de posição no objeto teste. Na figura 29 identifica-se que a etiqueta da direita se encontra fora de posição em relação aos quadrados que

representam o padrão correto, dessa forma a etiqueta é considerada não aceitável.

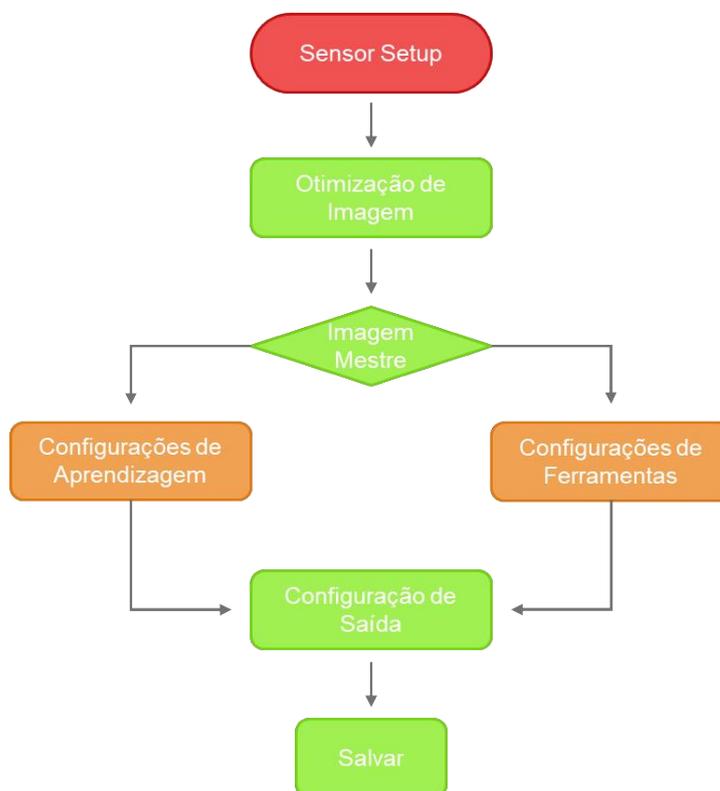
Figura 29 - O lado esquerdo apresenta a etiqueta aceitável e o lado direito há um problema de localização da mesma, em que existe a detecção de brilho em área proibida



Fonte: KEYENCE CORPORATION (2020)

O fluxograma da figura 30 apresenta em resumo as telas do software em que é realizada a programação do sensor de visão.

Figura 30 - Processo de programação do sensor de visão para a utilização em uma nova peça



Fonte: Autoria própria

3.2.4 Leitor de DM SR-1000

Atualmente todas as peças fabricadas contam com uma identificação em *data matrix*, que é uma forma de armazenar informações relevantes em códigos de pretas e brancas em formato quadrado, semelhante ao *QR code*. Sendo esses códigos gravado nas peças ou com impressão de etiqueta.

As etiquetas das peças produzidas na linha em questão são impressas após o teste de estanqueidade com hélio e é composta pelo PN da peça, data da fabricação, linha em que foi produzida e identificação de qual operador produziu a peça. Todas essas informações estão organizadas dentro do *data matrix*, por exemplo, o código alfanumérico a seguir: 888888888888DATA21133OP888888, representa o *data matrix* da figura 31.

Figura 31 - Data Matrix gerado com o código 888888888888DATA21133OP888888



Fonte: ASPOSE Pty Ltd (2021)

Com esse tipo de etiqueta é possível rastrear a peça pelo PN (*product number*), quem produziu, em qual linha entre outras informações.

Sendo assim, é necessário um leitor de *data matrix*. O escolhido foi o leitor de código de foco automático SR-1000 da Keyence, com comunicação vai PROFINET, ele é mostrado na figura 32. Esse leitor pode ser montado a uma distância de até 1000mm, tem ajuste automático de tempo de exposição, filtro de processamento de imagens, polarização automática (eliminando o reflexo que a etiqueta possa eventualmente causar), ajuste automático do ângulo e da iluminação.

Figura 32 - Leitor de DM SR 1000 da Keyence



Fonte: KEYENCE CORPORATION (2018)

Além dele ter a funcionalidade de julgar a qualidade do código, uma vez que a degradação da qualidade do código pode ser detectada antes da ocorrência de erros, esse modo pode ser usado para manutenção preventiva do processo de impressão conforme mostra a figura 33.

Figura 33 - Degradação do *data matrix*



Fonte: KEYENCE CORPORATION (2018)

O CLP envia a *string* desejada para o SR-1000 e este armazena essa informação na memória. Ao receber o *trigger* do CLP, é disparado um laser na cor verde e um feixe de luz na cor vermelha até que o leitor realize a leitura da etiqueta, assim ele compara o que leu com a *string* armazenada em sua memória, assim ele pode validar ou não a etiqueta que está posicionada a frente dele.

3.2.5 Cortina de Segurança GL-R28H

A cortina de segurança é um instrumento de segurança que tem como o objetivo monitorar um ponto de operação perigoso, ao detectar algo no caminho de algum dos seus feixes de laser, tem como o objetivo interromper o processo.

Uma das principais premissas de qualquer projeto é a segurança, pensando nisso, foi determinado a utilização de dois pares de cortina de luz para a bancada, um posicionado na parte frontal da bancada e outro na parte traseira. O modelo escolhido foi o GL-R28H da Keyence com 28 eixos de ópticos, o mesmo pode ser visto na figura 34. Além do modelo escolhido se encaixar dentro da estrutura montada ele também tem comunicação PROFINET e é uma cortina de segurança blindada, com um grau de proteção IP65/IP67 (resistência a jatos de água, encharcamentos e a prova de água).

Figura 34 - Cortina de segurança GL-R28H da Keyence



Fonte: KEYENCE CORPORATION (2017)

O transmissor e o receptor da cortina luminosa devem estar alinhados para que os feixes de laser também fiquem em pleno funcionamento. A cortina envia continuamente um sinal *true* (1) para o CLP. Quando um feixe de luz é interrompido, ou seja, existe um obstáculo entre o transmissor e o receptor, o sinal enviado para o CLP será *false* (0) e assim é informado a interrupção do sinal da cortina luminosa. Ou seja, o funcionamento dela é semelhante a um botão de emergência.

3.3 COLETA DE DADOS

O princípio básico do funcionamento das câmeras é a detecção de componentes pertinentes e a validação da geometria das peças. A fim de validar a funcionalidade da câmera, foram realizados alguns testes em laboratório.

Foram testados os componentes pertencentes as peças. De modo geral a câmera precisa detectar tampas na cor preta e amarela, pressostato da cor preta,

tampa transparente, e etiquetas na cor azul, laranja e amarela. Como a câmera escolhida é monocromática, necessitava-se ser validado principalmente a diferenciação das cores de cada etiqueta, pois existem peças que comportam apenas etiqueta azul e outras apenas etiqueta laranja, sendo assim, a câmera também evitaria de que, por algum descuido, o operador possa trocar as etiquetas coladas em cada peça.

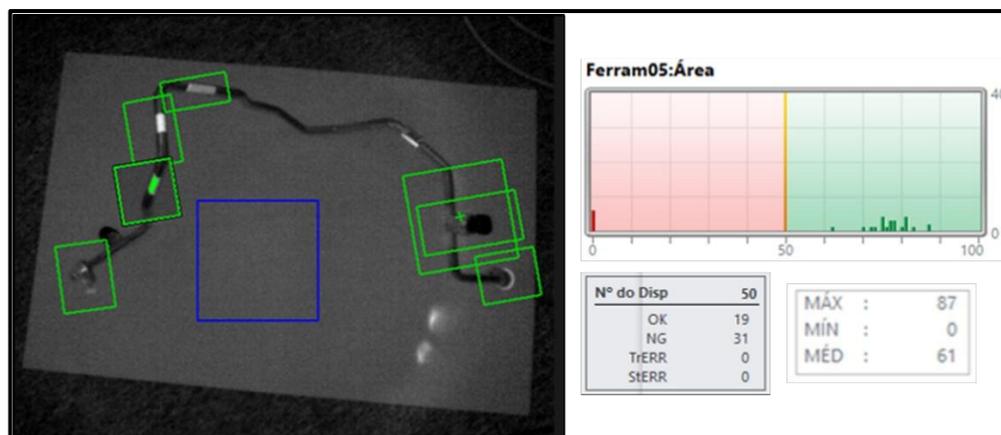
3.3.1 Teste do Ajuste Automático de posição

O primeiro teste a ser validado é a utilização ou não do ajuste automático de posição pelo software. O programa foi configurado utilizando o ajuste automático.

A figura 35 mostra o resultado da análise de 50 imagens registradas pela câmera, pode ser observado que os valores têm inconsistências, por exemplo um dos parâmetros, que foi programado sob a etiqueta azul, obteve uma média de similaridade com a referência de 61, levando em conta que o limite definido foi 50, a média ficou muito baixa, pois abaixo desse valor a etiqueta não iria mais ser identificada da mesma forma.

Na ferramenta área é possível identificar no gráfico a distribuição das detecções realizadas. Abaixo pode ser observado a distribuição de identificações OK e NG, essas representando o resultado com o sistema utilizando todos os parâmetros pré-definidos.

Figura 35 - Peça sendo analisada pelo sistema de ajuste automático do programa



Fonte: Autoria própria

Também foi possível observar que o programa perdia a posição com facilidade. Como mostra a figura 36.

Figura 36 - Programa perdendo a posição da peça



Fonte: Autoria própria

Sendo assim, o ajuste de posição não obteve o resultado esperado, portanto foi decidido definir uma posição fixa para a peça e aumentar a tolerância nas ferramentas a fim de absorver alguma possível variação de geometria.

3.3.2 Teste do Filtro Polarizador

O próximo teste foi a utilização do filtro polarizador. Na programação foi observado que na utilização do mesmo, o brilho teve que ser ajustado ao máximo, como é possível ver na figura 37. Assim, com alguma variação nas condições de teste em que o programa necessite aumentar o brilho, o teste estaria comprometido.

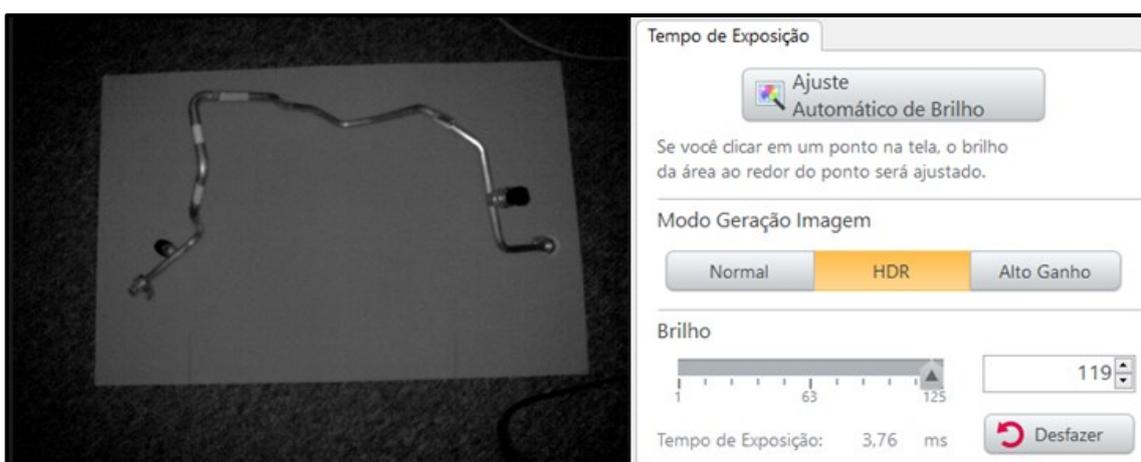
Figura 37 - Teste com o filtro polarizador, é possível identificar o brilho ajustado ao máximo na caixa da direita.



Fonte: Autoria própria

Já sem o filtro, é possível observar que a imagem ficou mais nítida e o brilho não necessitou de um ganho tão elevado para se comparar a imagem do teste anterior. Foi utilizado o valor de 119 no ganho de brilho e o modo utilizado foi o HDR, assim deixa possibilitado que o programa aumente ou diminua o brilho de forma automática se necessário. O resultado dessas configurações pode ser visto na figura 38.

Figura 38 - Teste sem o filtro polarizador, é possível identificar o brilho ajustado em 119 na caixa da direita e o modo geração imagem em HDR.



Fonte: Autoria própria

Sendo assim decidiu-se a não utilização do filtro polarizador pelas desvantagens enunciadas, tais como o brilho necessário para a adequação da imagem e a nitidez da mesma.

3.3.3 Teste do Modo de Operação Ótimo

Diante das duas opções de modo de operação para o sensor de visão, um deve ser escolhido, sendo eles: modo de operação padrão e o modo de aprendizagem.

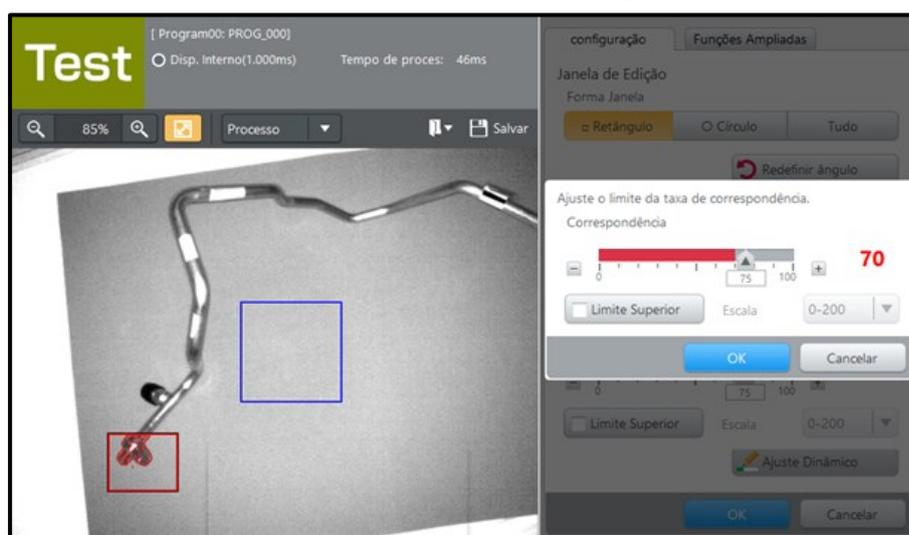
3.3.3.1 Teste do modo de operação padrão

Neste modo de operação todos os parâmetros devem ser definidos manualmente.

Primeiro foi realizado testes com o sensor no modo padrão e então utilizadas as ferramentas de modo individual.

Para a tampa transparente foi utilizado a ferramenta contraste. Na figura 39 é mostrada que a imagem sem a tampa encontrou uma taxa de correspondência de 70 em relação a referência.

Figura 39 - Taxa de correspondência encontrada quando o sistema compara a peça sem a presença da tampa transparente com a imagem de referência.

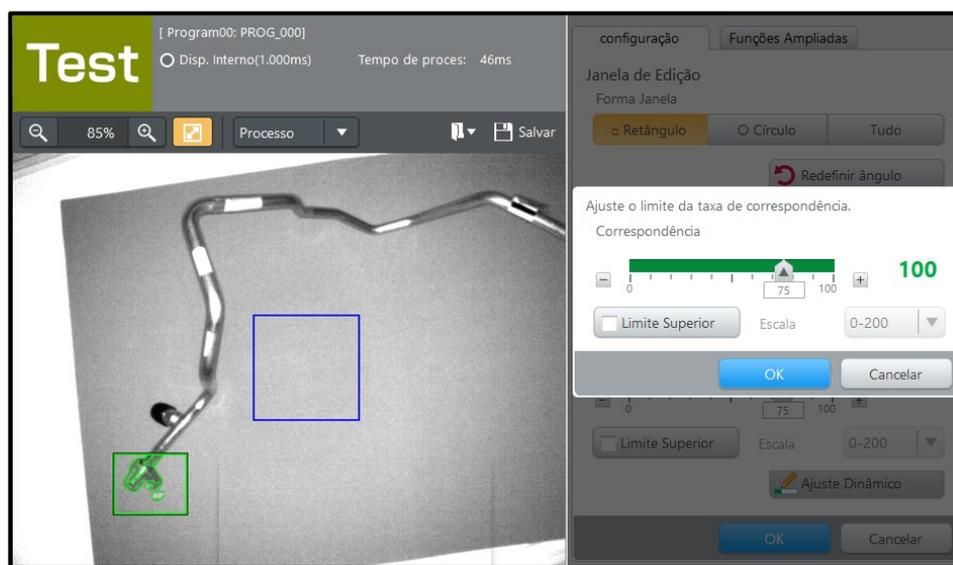


Fonte: Autoria própria

Por conta disso foi definido um limite de 75%, assim o sistema identifica que um valor acima de 75% é uma imagem de uma peça aceitável.

Na figura 40 encontra-se a peça com a tampa transparente posicionada, obtendo 100% de taxa de correspondência em relação a referência.

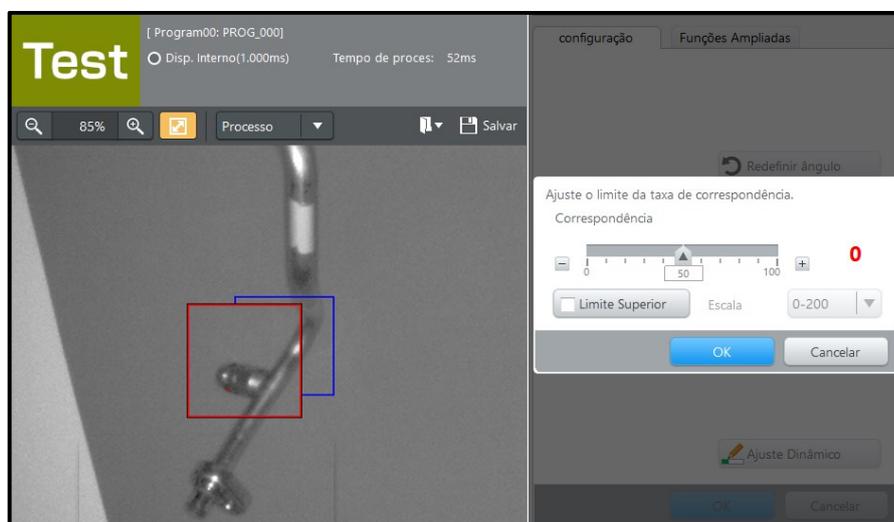
Figura 40 - Taxa de correspondência encontrada quando o sistema compara a peça com a presença da tampa transparente com a imagem de referência.



Fonte: Autoria própria

Para a tampa preta foi utilizada a ferramenta área, utilizando a extração de brilho, quando é realizado o teste com a ausência da tampa preta o sistema detecta 0% de correspondência em relação a referência. Esse resultado pode ser observado na figura 41.

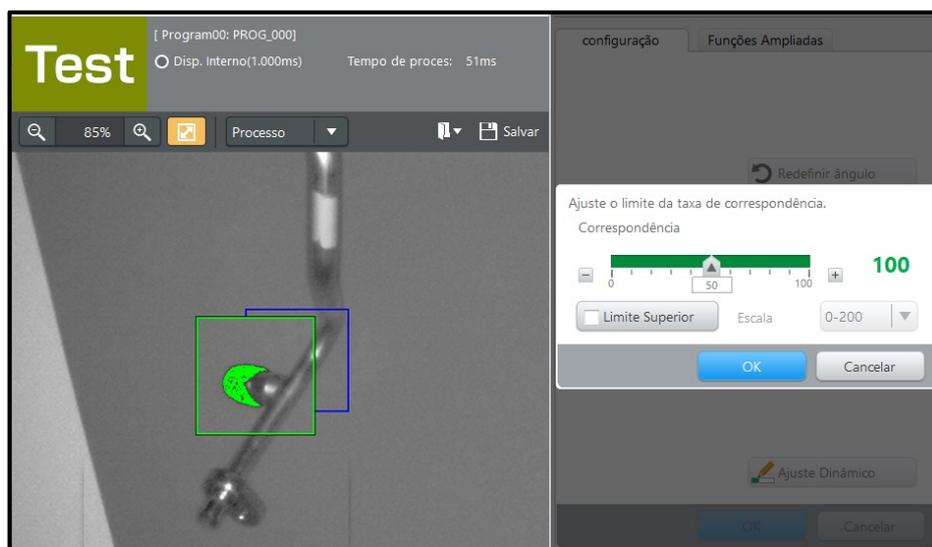
Figura 41 - Taxa de correspondência encontrada quando o sistema compara a peça sem a presença da tampa preta com a imagem de referência.



Fonte: Autoria própria

Com a presença da tampa o resultado permaneceu na maior parte das vezes em 100% de taxa de correspondência em relação a referência pré-definida, como pode ser visto na figura 42.

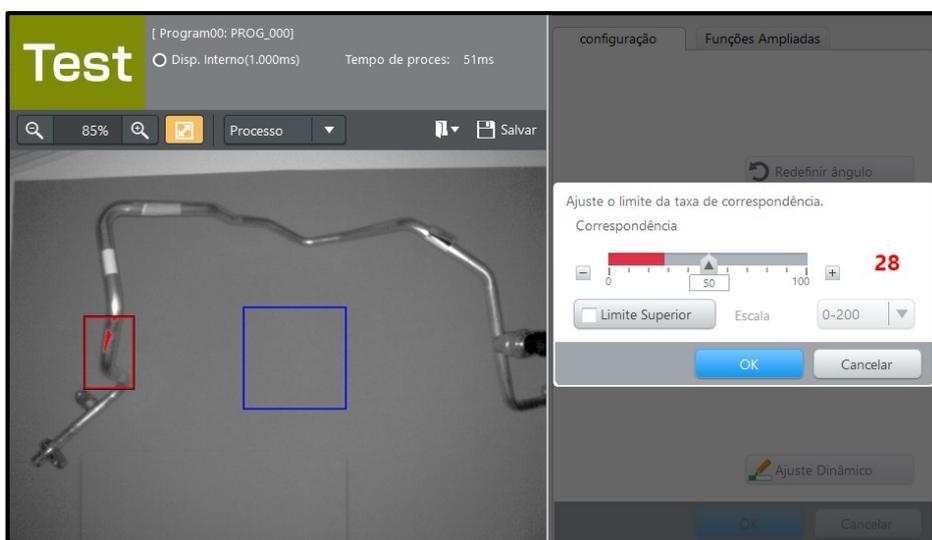
Figura 42 - Taxa de correspondência encontrada quando o sistema compara a peça com a presença da tampa preta com a imagem de referência.



Fonte: Autoria própria

Para as etiquetas também foi utilizado a ferramenta área utilizando a extração de brilho. Para peça sem a etiqueta o valor ficou entre 18% e 33% de correspondência em relação a referência pré-estabelecida. Como é mostrado na figura 43.

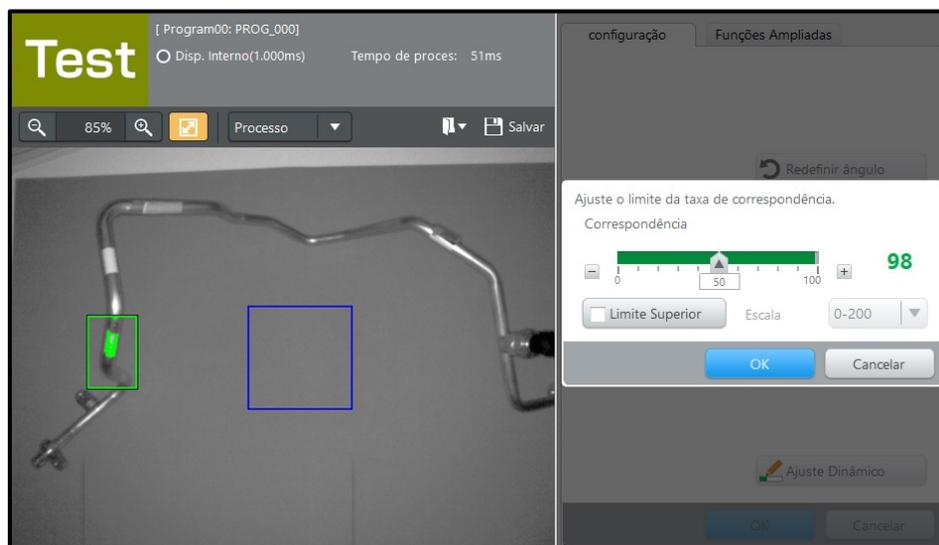
Figura 43 - Taxa de correspondência encontrada quando o sistema compara a peça sem a presença da etiqueta com a imagem de referência.



Fonte: Autoria própria

Para a peça com a etiqueta, foi apresentado um resultado com média de 98% de taxa de correspondência. Pode ser visto esse valor na figura 44.

Figura 44 - Taxa de correspondência encontrada quando o sistema compara a peça com a presença da etiqueta com a imagem de referência.

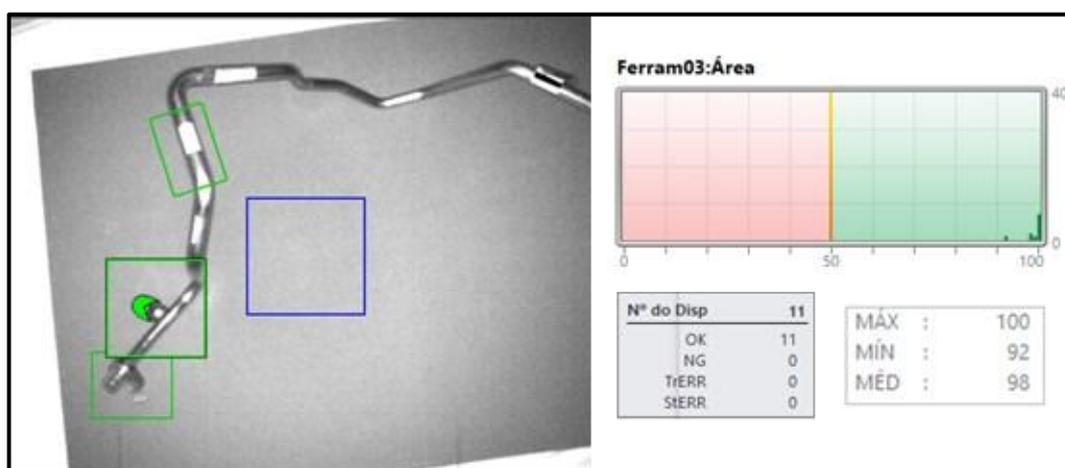


Fonte: Autoria própria

A grande diferença de correspondência na presença ou não da etiqueta se deve provavelmente ao não reflexivo da etiqueta, diferente da estrutura da peça.

Integrando os três componentes o resultado obtido foi o da figura 45. Para a peça com todos os componentes presentes, não houveram problemas para a identificação dos mesmos.

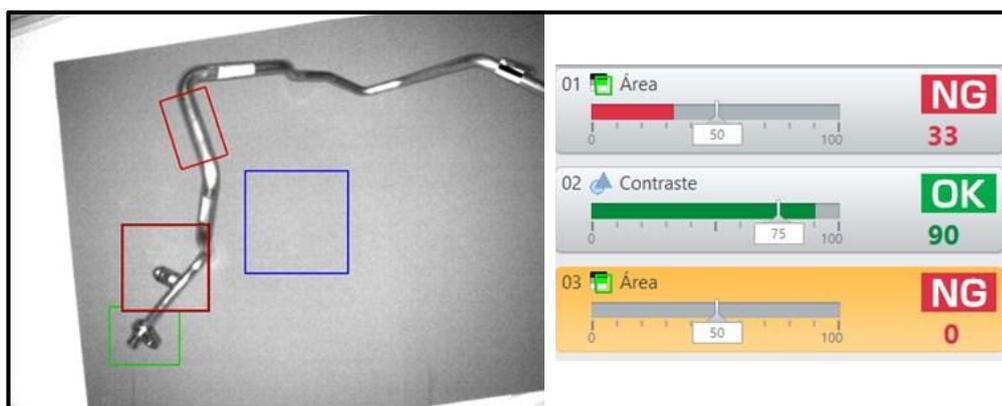
Figura 45 - Identificação dos componentes com 100% de sucesso, taxa de correspondência máxima em 100% e mínima em 92% quando todos os componentes então presentes



Fonte: Autoria própria

Porém quando retirados os três componentes, a câmera leu a falta da tampa preta e a falta da etiqueta, mas para a tampa transparente não foi identificada sua ausência. Como mostra a figura 46.

Figura 46 - Resultado da identificação dos componentes pelo sistema na ausência dos mesmos na peça



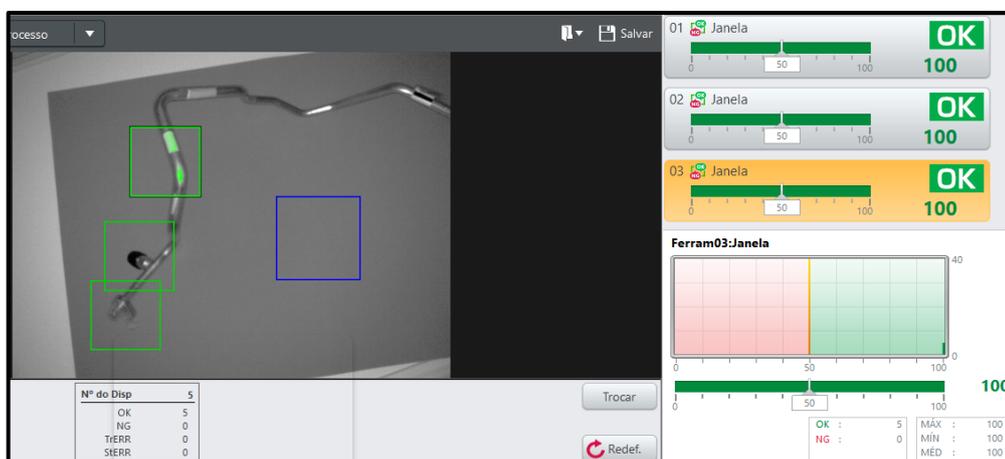
Fonte: Autoria própria

3.3.3.2 Teste no modo de aprendizagem

Neste modo os parâmetros de detecção são definidos automaticamente.

Os mesmos testes foram realizados para o modo aprendizagem. Novamente para a peça completa, com todos os componentes, o programa obteve 100% de sucesso na identificação dos mesmos, esse resultado pode ser visto na figura 47.

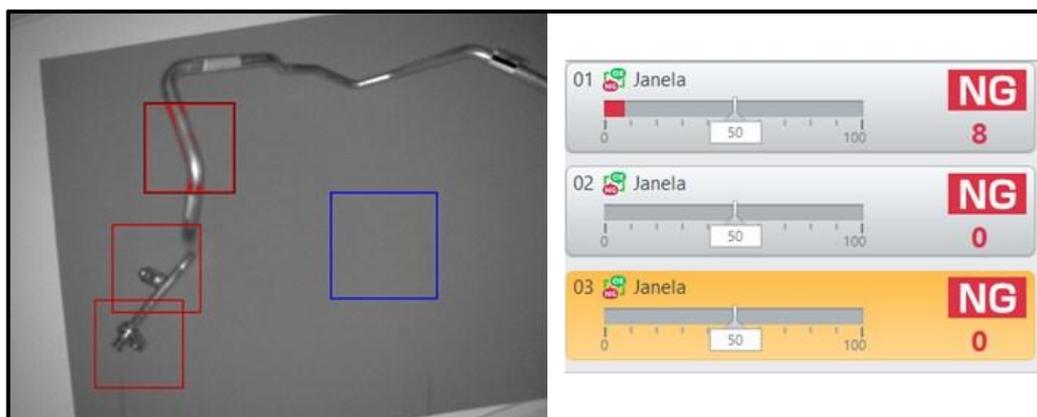
Figura 47 - Identificação dos componentes com 100% de sucesso, taxa de correspondência máxima e mínima em 100% quando todos os componentes estão presentes no modo de aprendizagem



Fonte: Autoria própria

Diferente do resultado anterior, o programa detectou a falta de todos os componentes, mesmo da tampa transparente que havia sido o problema na experiência utilizando o modo de operação padrão, a figura 48 explicita o teste.

Figura 48 - Identificação dos componentes faltante no modo de aprendizagem



Fonte: Autoria própria

Pode ser concluído que o modo aprendizagem apresentou resultados mais confiáveis que no modo padrão, assim definiu-se o modo aprendizagem como a ser utilizado no projeto.

3.3.4 Teste de detecção de etiquetas coloridas

Nesse teste, foi avaliado se o programa consegue diferenciar as cores das etiquetas, considerando que o sensor em questão é monocromático. Dessa forma, foram configuradas a imagem OK para etiqueta laranja e NG para a etiqueta azul. Os modelos de teste podem ser observados na figura 49.

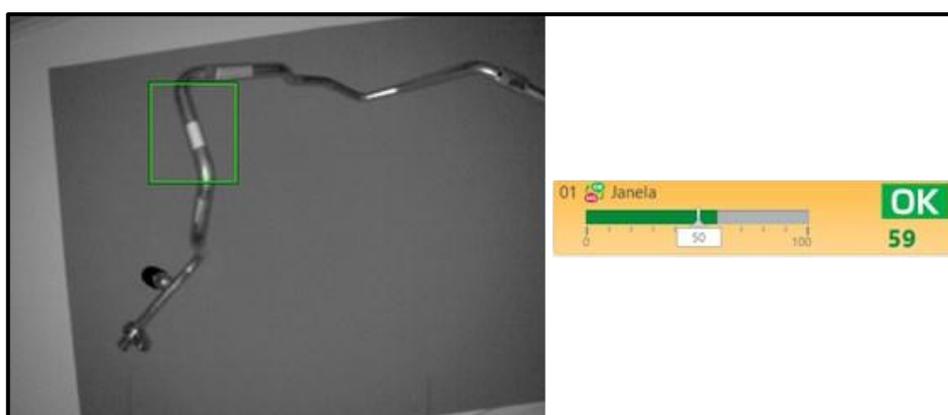
Figura 49 - Modelos de teste com etiquetas azul e laranja



Fonte: Autoria própria

Inicialmente foi realizado o teste de identificação com a etiqueta laranja, utilizando as configurações definidas anteriormente como ótimas para este sistema.

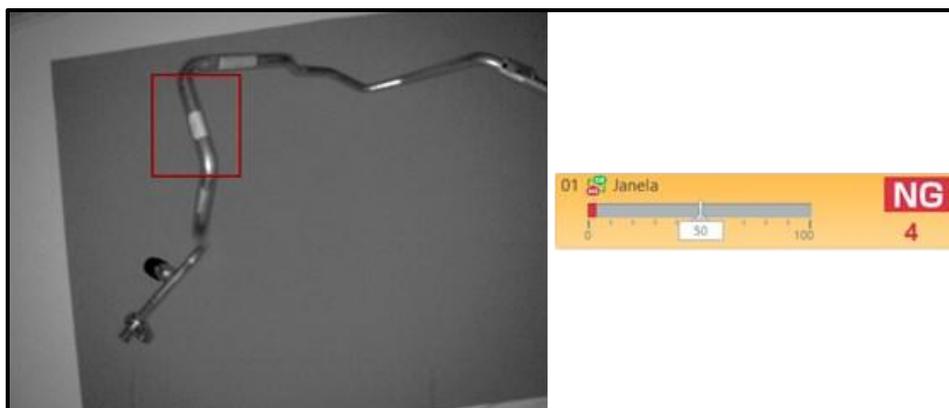
Figura 50 - Teste de identificação da etiqueta laranja



Fonte: Autoria própria

A figura 50 mostra o resultado da detecção do programa quando analisada a etiqueta laranja e comparando a peça com a referência, o programa identificou a presença da mesma com 59% de correspondência.

Em seguida, o teste foi realizado com a etiqueta azul e o programa conseguiu distinguir que ela é não-aceitável com 4% de correspondência a referência, etiqueta laranja, como pode ser visto na figura 51.

Figura 51 - Teste de identificação da etiqueta azul

Fonte: Autoria própria

Com os testes anteriores, foi validado que a câmera monocromática consegue diferenciar a cor das etiquetas, pela diferença de contraste entre elas. Dessa forma sendo possível a identificação automatizada de etiquetas laranjas e azuis

3.3.5 Teste da cor de fundo para o sensor de visão

Visando um melhor aproveitamento da coleta de dados dos sensores, foi realizado testes com algumas cores de fundo, para identificar qual apresentava melhores resultados de na diferenciação dos componentes.

Para esse teste foram utilizados somente os componentes. O primeiro fundo escolhido para o teste foi um da cor branca, obtendo o resultado mostrado na figura 52.

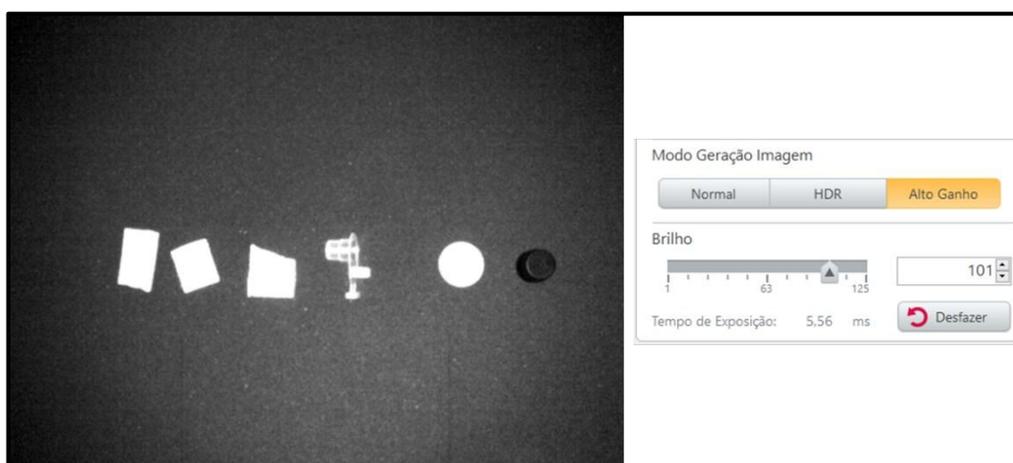
Figura 52 - Teste da cor de fundo branco para o sensor de visão

Fonte: Autoria própria

Pode ser concluído que no fundo branco os componentes de cor escura são de fácil visualização, porém os de cor mais clara apresentam pouca diferenciação com o fundo, ficando sujeitos a uma menor confiabilidade na detecção. Outro fator foi o brilho que precisou ser ajustado próximo ao limite mínimo para que seja diferenciado os componentes de cores claras.

O segundo fundo escolhido foi da cor preta, obtendo os resultados mostrados na figura 53.

Figura 53 - Teste da cor de fundo preto para o sensor de visão



Fonte: Autoria própria

Como pode ser verificado na figura 56, devido ao fato de existirem componentes na cor preta, o brilho teve que ser ajustado muito próximo do seu limite máximo para que esse componente pudesse ser identificado. As duas cores de fundo já testadas prejudicam o funcionamento do programa com relação ao brilho ajustado. Assim foi testado o fundo vermelho e foi obtido o seguinte resultado mostrado na figura 54.

Figura 54 - Teste da cor de fundo vermelho para o sensor de visão com a etiqueta laranja evidenciada



Fonte: Autoria própria

Devido ao fato de existir uma etiqueta na cor laranja (segundo componente da esquerda para a direita), o resultado com o fundo vermelho não foi o desejado.

Dessa forma, entendeu-se que o mesmo ocorreria com a utilização dos fundos azul e amarelo para o teste, pois existem peças com etiquetas azuis e laranjas, tom semelhante ao amarelo. Conseqüentemente, o sensor de visão apresentaria um resultado de menor confiabilidade nessas cores, sendo assim foi descartado a hipótese de fundo nas cores vermelho, azul e amarelo. Em seguida, o fundo verde foi testado e o resultado obtido é apresentado na figura 55.

Figura 55 - Teste da cor de fundo verde para o sensor de visão

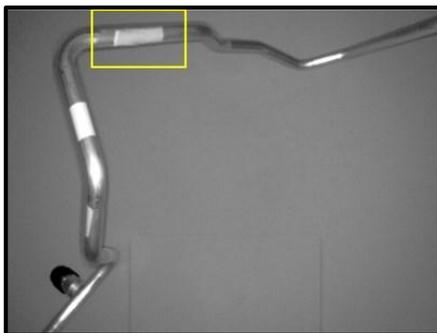


Fonte: Autoria própria

Como nenhum componente é da cor verde, foi possível diferenciar os componentes transparentes e pretos das peças, a etiqueta amarela ficou prejudicada com esse fundo, porém quando testada essa etiqueta colada na peça, a mesma foi

facilmente identificada, como pode ser observado na figura 56. Outro fator foi o ajuste de brilho, no valor avaliado não haveria impacto caso o programa desejasse alterar o valor de forma automática. Por consequência, validou-se que o melhor fundo a ser utilizado é o da cor verde.

Figura 56 - Etiqueta amarela com fundo verde



Fonte: Autoria própria

3.4 LÓGICA

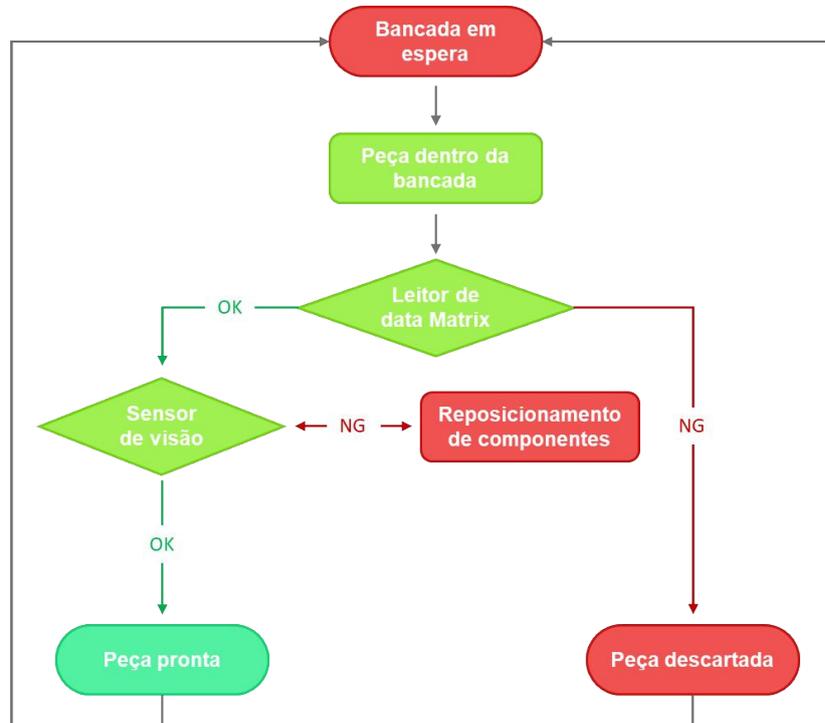
Para o correto funcionamento de um processo dentro de uma fábrica é necessário o mesmo apresentar constância, pois as exigências de segurança, qualidade e tempo do processo são muito altas. Dessa forma definiu-se uma lógica sequencial para o funcionamento da bancada de inspeção final, essa lógica é descrita a seguir:

- O operador coloca a peça dentro da bancada de inspeção;
- O leitor de data *matrix* deve ler a etiqueta e julgar se a peça é OK ou NG;
- Se a peça for NG o alçapão deve se abrir e a peça é descartada para o compartimento de refugio;
- Se a peça for OK os sensores de visão devem validar se todos os componentes estão na peça;
- Se todos os componentes forem detectados na peça o módulo basculante a empurra para fora e a mesma saí pela parte traseira da bancada, assim a peça está pronta para ser entregue ao cliente;
- Se alguns dos componentes não forem detectados, o operador visualiza na TV quais estão em falta e aloca os mesmos na peça, em seguida os sensores de visão realizam uma nova validação, se todos os componentes forem detectados, ela é então destinada para fora do módulo;

- A bancada deve retornar para o ponto de origem e aguardar a próxima peça a ser validada.

Esse processo é resumido pelo fluxograma da figura 57.

Figura 57 - Fluxograma que representa a lógica do processo.



Fonte: Autoria própria

Para que ocorra esse fluxo de forma segura e sem prejudicar o tempo de ciclo da peça, foram tomadas algumas decisões com relação ao posicionamento dos componentes do módulo.

- Foi posicionado um par das cortinas luminosas na parte frontal da bancada e um par na parte traseira, dessa forma é possível interromper o ciclo da máquina quando necessário e evitar algum acidente;
- O leitor de *data matrix* foi fixado na parte superior da bancada e o operador deverá passar a etiqueta em baixo do laser do leitor SR 1000 para que ele realize a conferência se a etiqueta e a peça estão em boas condições para serem destinadas ao cliente;
- Foram posicionados dois sensores de visão na parte de cima da bancada, de maneira que as duas cubram 100% da área de interna da bancada;
- O monitor foi posicionado acima da bancada de inspeção final e esse mostra imagem do sensor de visão em tempo real, para que, caso a peça

esteja sem componente, o operador tenha a informação de forma clara de qual é o componente faltante, assim, posicionando o mesmo corretamente e retornando a peça para o julgamento do sensor de visão.

3.5 LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO

Para interligar os processos e realizar a automatização é necessário a utilização de uma lógica de programação, nesse caso, programação em *Ladder*, no quadro 1 encontram-se as *tags* utilizadas para a explicação do código.

Quadro 1 - Tags utilizadas para facilitar o entendimento da programação em *Ladder*

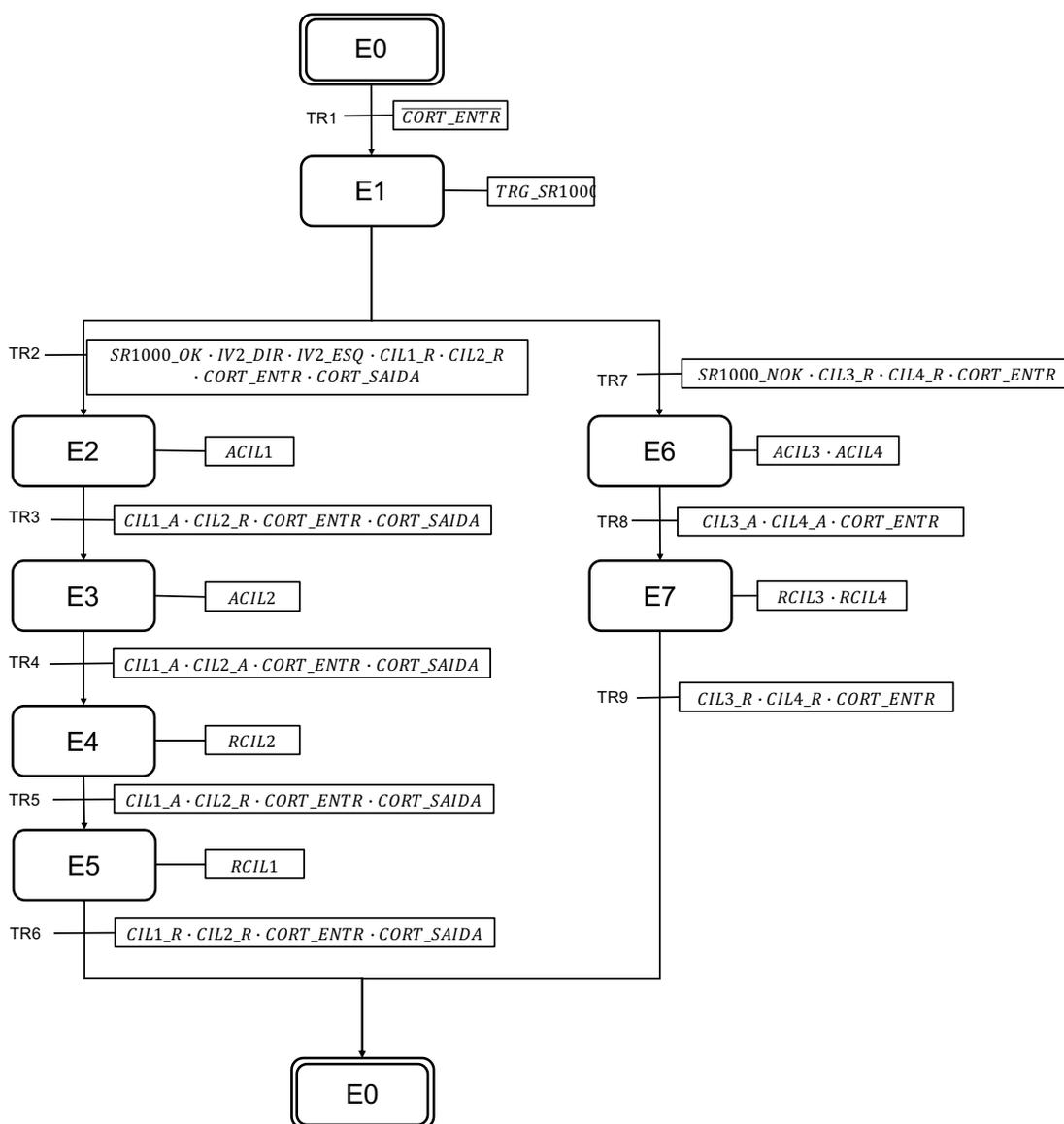
TAG	DESCRIÇÃO
IV2_DIR	Sensor de visão do lado direito
IV2_ESQ	Sensor de visão do lado esquerdo
SR1000_OK	Etiqueta de peça OK
SR1000_NOK	Etiqueta de peça NG
CORT_ENT	Cortina luminosa de entrada
CORT_SAIDA	Cortina luminosa de saída
CIL1_R	Cilindro da porta recuado
CIL1_A	Cilindro da porta avançado
CIL2_R	Cilindro para bascular recuado
CIL2_A	Cilindro para bascular avançado
CIL3_R	Cilindro do alçapão 1 recuado
CIL3_A	Cilindro do alçapão 1 avançado
CIL4_R	Cilindro do alçapão 2 recuado
CIL4_A	Cilindro do alçapão 2 avançado
TRG_SR1000	Disparo do leitor de QR <i>code</i>
ACIL1	Ativa cilindro da porta
ACIL2	Ativa cilindro do basculamento
ACIL3	Ativa cilindro 1 do alçapão
ACIL4	Ativa cilindro 2 do alçapão
rCIL1	Recua cilindro da porta
rCIL2	Recua cilindro do basculamento
rCIL3	Recua cilindro 1 do alçapão
rCIL4	Recua cilindro 2 do alçapão

Fonte: Autoria própria

Para a abertura do alçapão no fundo da bancada de inspeção final, foi posicionado um cilindro na parte frontal e um cilindro na parte traseira, quando esses dois cilindros são acionados ocorre a abertura do alçapão, a base se divide ao meio, e a peça cai por gravidade.

Com isso, foi montado um diagrama lógico em *grafcet* para uma melhor explicação do funcionamento do módulo, este é mostrado na figura 58, sendo **E** o evento ocasionado e **TR** a transição/condição para a ocorrência desse evento, todas as entradas e saídas são *booleanas*, ou seja, 1 para ativado e 0 para desativado.

Figura 58 - Diagrama lógico em Ladder do processo



Fonte: Autoria própria

E0 é o estado inicial da máquina, onde todos os pistões se encontram recuados, e não existe nenhuma peça dentro na máquina.

TR1 é a primeira transição, onde o operador invade a cortina de luz da entrada para passar a etiqueta da peça por debaixo do laser do SR-1000. Com isso, a cortina de luz da entrada manda um sinal 0 para o CLP.

Com esse sinal é realizado o E1, que é o gatilho do leitor de *data matrix*. Assim seguiu-se para duas possíveis transições, caso o leitor identifique a etiqueta de peça OK, segue-se para a TR2. Para seguir para o E2 é necessário a realização das seguintes condições:

- O leitor de *data matrix* identifica a etiqueta OK;
- O sensor de visão do lado direito identifica todos os componentes na peça;
- O sensor de visão do lado esquerdo identifica todos os componentes na peça;
- O cilindro da porta está recuado;
- O cilindro basculante está recuado;
- A cortina de entrada envia sinal 1;
- A cortina de saída envia sinal 1 (ou seja, nenhuma das cortinas estão acionadas).

Então ocorre o E2, que é o avanço do cilindro da porta. Para a ocorrência de TR3 são necessárias todas as seguintes condições:

- O cilindro da porta está avançado;
- O cilindro basculante está recuado;
- A cortina de entrada está acionada;
- A cortina de saída está acionada.

Então é realizado a TR3. Possibilitando então a ocorrência do E3, o avanço do cilindro basculante.

Nessa etapa a peça escorrega para o armazenamento de peças OK. Com isso é realizado a TR4, quando as seguintes condições são verdadeiras:

- O cilindro da porta está avançado;
- O cilindro basculante está avançado;
- A cortina de entrada está acionada;
- A cortina de saída está acionada.

Sendo assim ocorre o E4, o recuo do cilindro basculante. Para a ocorrência de TR5 são necessárias as seguintes condições:

- O cilindro da porta está avançado
- O cilindro basculante está recuado
- A cortina de entrada está acionada
- A cortina de saída está acionada.

A transição TR5 possibilita a ocorrência do E5 que é o recuo do cilindro da porta. A transição seguinte, TR6, ocorre quando todas as seguintes condições forem verdadeiras:

- O cilindro da porta está recuado;
- O cilindro basculante está recuado;
- A cortina de entrada está acionada;
- A cortina de saída está acionada.

Com isso ocorre a TR6 e assim retorna-se para o estado de espera (*home*) E0, então a máquina aguarda a próxima peça.

A peça pode seguir outro caminho dependendo do E1. Com as todas as seguintes condições verdadeiras TR7 ocorre:

- O leitor identifique a etiqueta NG;
- O cilindro 1 do alçapão está recuado;
- O cilindro 2 do alçapão está recuado;
- A cortina de entrada não está interrompida.

Assim possibilitando a ocorrência do E6, que é o acionamento do pistão do alçapão 1 e o acionamento do pistão do alçapão 2. Em seguida para a ocorrência de TR8 as condições necessárias são que:

- O cilindro 1 do alçapão está avançado;
- O cilindro 2 do alçapão está avançado;
- A cortina de entrada está enviando 1 para o CLP;

Então ocorre a TR8 e por fim ocorre o E7 que é o recuo do cilindro 1 do alçapão e o recuo do cilindro 2 do alçapão. Ocasionalmente a TR9 com as condições:

- O cilindro 1 do alçapão recuado;
- O cilindro 2 do alçapão recuado;
- A cortina de entrada acionada.

Após isso retorna-se para o E0 e o módulo pode receber a nova peça produzida.

Realizado o *grafcet* de como seria implementado a lógica e com o auxílio do software TIAportal v15.1 foi desenvolvida a lógica do módulo de inspeção final na linguagem *ladder*.

De maneira semelhante ao *grafcet*, definiu-se as *Tags* e o endereçamento das entradas no programa, como é possível ver na figura 59.

Figura 59 - Tags e endereçamento de entrada do programa em *ladder*

PLC tags				
	Name	Data type	Adresse...	Comment
1	IV2_DIR	Bool	%I0.0	Sensor de visao do lado direito
2	SR1000_OK	Bool	%I0.1	etiqueta OK no leitor de qr code
3	CORT_ENTR	Bool	%I0.2	cortina na entrada desacionada
4	CORT_SAIDA	Bool	%I0.3	cortina na saida desacionada
5	CIL1_R	Bool	%I0.4	cilindro da porta recuado
6	CIL1_A	Bool	%I0.5	cilindro da porta avançado
7	CIL2_R	Bool	%I0.6	cilindro basculante recuado
8	CIL2_A	Bool	%I0.7	cilindro basculante avançado
9	CIL3_R	Bool	%I1.0	cilindro do alçapão 1 recuado
10	CIL3_A	Bool	%I1.1	cilindro do alçapão 1 avançado
11	CIL4_R	Bool	%I1.2	cilindro do alçapão 2 recuado
12	CIL4_A	Bool	%I1.3	cilindro do alçapão 2 avançado
13	EMERG	Bool	%I1.4	botao de emergência acionado
14	RESET	Bool	%I1.5	reset acionado
15	IV2_ESQ	Bool	%I2.0	Sensor de visao do lado esquerdo
16	SR1000_NOK	Bool	%I2.1	Etiqueta NOK no leitor de qr code

Fonte: Autoria própria

Similarmente, as saídas foram definidas como é mostrado na figura 60.

Figura 60 - Tags e endereçamento de entrada do programa em *ladder*

17	ACIL1	Bool	%Q0.0	Cilindro da porta
18	ACIL2	Bool	%Q0.1	cilindro basculante
19	ACIL3	Bool	%Q0.2	cilindro do alçapão 1
20	ACIL4	Bool	%Q0.3	cilindro do alçapão 2
21	LED_VERD	Bool	%Q0.4	led verde
22	LED_VERM	Bool	%Q0.5	led verm
23	TRG_SR1000	Bool	%Q0.6	disparo do leitor de DM

Fonte: Autoria própria

4 CONCLUSÃO

Realizados os testes conclui-se que o ajuste automático do programa apresentou resultados oscilantes, o programa perdia com facilidade a posição da peça e acabava colocando as janelas definidas pelo programador no local errado. Assim, concluiu-se que a melhor performance foi encontrada com a não utilização do ajuste automático, ou seja, com a definição do local em que a peça deverá ser alocada dentro na máquina.

Outro fator é o tamanho da janela de detecção, com o ajuste automático desativado é importante deixar a janela maior a fim de que o programa funcione bem, mesmo com pequenas variações de geometria e posição que possam ocorrer.

Com o uso do filtro polarizador a imagem fica muito escura, assim o ajuste do brilho tende a atingir o valor máximo suportado pelo programa. Além disso, a produção deverá ocorrer 24 horas por dia, e o sensor monocromático é sensível a luz solar, ao decorrer do dia a variação de irradiação de luz solar é muito grande, sem contar os dias chuvosos em que a incidência de luz solar é menor. Como não é possível garantir o enclausuramento total do ambiente em que as câmeras serão instaladas, pois deve existir uma abertura na parte frontal para inserir e retirar a peça, é necessário utilizar o ajuste automático do brilho disponível no programa.

Com esse ajuste o programa pode aumentar ou diminuir o brilho de forma otimizada para garantir a melhor qualidade de imagem e por consequência uma melhor detecção dos componentes. Se por acaso o valor do brilho for definido muito próximo dos extremos, esse ajuste pode ser comprometido. Sem o filtro polarizador foi possível configurar o brilho de maneira semelhante, porém em um valor muito menor, o que implica que sendo necessário, o programa pode modificar o brilho, assim foi definido a não utilização do filtro polarizador.

Com relação ao modo de operação do programa, notou-se uma grande diferença no programa em modo padrão e aprendizagem no que se refere a tampa transparente.

De maneira isolada, o modo padrão conseguiu identificar com facilidade a ausência da tampa, porém agregando três componentes esse ajuste ficou prejudicado, tornando o resultado instável. Diferente do modo aprendizagem, neste formato a câmera identificou a ausência de todos os componentes e o resultado foi estável, identificando corretamente as peças aceitáveis e não aceitáveis.

Também foi avaliado o tempo de programação. Para o modo padrão deve ser feito a escolha da melhor ferramenta, ajustar a janela no alvo, testar e validá-la, o que demanda mais tempo que no modo aprendizagem, pois para este é necessário somente definir o local da janela no alvo e salvar as imagens de peça aceitáveis e não-aceitáveis.

Para os testes de diferenciação de cores das etiquetas, a câmera conseguiu distinguir a diferença das etiquetas azul, laranja e amarela de modo satisfatório, assim pode-se concluir que a câmera monocromática atende os requisitos do projeto.

Sendo assim a câmera foi configurada para trabalhar no modo aprendizagem, sem filtro polarizador e sem o ajuste de posição automático.

Nos primeiros dias logo após a implementação do sistema, houve uma diminuição do ritmo da linha de inspeção em relação ao antigo modo, de inspeção manual. O operador apresentava mais atenção ao monitor, colocado acima da bancada de inspeção final, o que tornava o processo mais lento. Entretanto com o passar do tempo, o operador ganhou experiência e confiança com o sistema implementado, o que resultou em uma linha de inspeção mais ágil, rápida e confiável que a anterior.

Associando a bancada de inspeção final projetada à linha de produção, pôde ser percebido uma grande melhora na confiabilidade das peças produzidas e destinadas aos clientes. Além da diminuição de um operador na linha, o que realizava a inspeção final no sistema antigo, assim esse operador pôde ser realocado para outras tarefas.

Até o presente momento nenhuma peça saiu da inspeção final sem o devido componente, o que implica no sucesso da implantação da bancada. Por meio dos resultados obtidos é possível concluir que a automação desse processo melhorou a qualidade, robustez e confiabilidade da linha de produção.

Durante a incorporação da bancada de inspeção final na linha de produção, ocorreram alguns problemas com relação ao posicionamento dos sensores de fim de curso, isso acabou aumentando os tempos de parada na linha de produção. Para contornar esse problema, se faz necessário no futuro estudar o tratamento de falhas pertinente ao sistema, assim agilizando o processo de manutenção em possíveis problemas ocorridos na bancada.

REFERÊNCIAS

ABB. **IRB 360 FlexPicker**. Disponível em:
<<https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-360>>. Acesso em: 9 nov. 2021.

ALMEIDA, M. W. Z. DE. **Carro não se constrói, compra-se: o empreendedor brasileiro na indústria automobilística entre os anos 70 e 90**. Tese (Doutorado em História) – Porto Alegre: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2016.

ANFAVEA. **Carta da ANFAVEA**, nov. 2021. Disponível em:
<<https://anfavea.com.br/site/edicoes-em-pdf/>>. Acesso em: 10 nov. 2021

ASHRAE. **ASHRAE Terminology**. Disponível em:
<<https://xp20.ashrae.org/terminology/index.php?term=air%20conditioner>>. Acesso em: 9 nov. 2021.

ASPOSE Pty Ltd. **Gerar código da matriz de dados online**. Disponível em:
<<https://products.aspose.app/barcode/pt/generate/datamatrix>>. Acesso em 01 dez. 2021.

ASIMOV, I. Runaround. In: ASIMOV, I. **I, robot**. Garden City, New York: Doubleday & Company, Inc., 1950. p. 20-33.

DALY, S. Air-conditioning fundamentals. In: DALY, S. **Automotive Air Conditioning And Climate Control Systems**. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2006. p. 1-7.

DIETSCHKE, K.-H.; KUHLGATZ, D. History of the automobile. In: REIF, K. (Ed.). **Fundamentals of Automotive and Engine Technology**. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014. p. 1–7.

ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA. **1769 Cugnot**. Disponível em:
<<https://www.britannica.com/technology/automobile/History-of-the-automobile#/media/1/44957/92625>>. Acesso em 29 nov. 2021.

FARRINGTON, R.; RUGH, J. **Impact of Vehicle Air-Conditioning on Fuel Economy, Tailpipe Emissions, and Electric Vehicle Range**. In: EARTH TECHNOLOGIES FORUM. Washington: NREL, 31 out. 2000.

FLINK, J. J. The Automotive Idea. In: FLINK, J. J. **The automobile age**. Cambridge: The MIT Press, 1990. p. 1-14.

GAN, Z.; TANG, Q. 3D Acquisition Techniques. In: GAN, Z.; TANG, Q. **Visual Sensing and its Applications**. Hangzhou: Zhejiang University Press; Springer-Verlag, 2011. p. 3-4.

GIRELLI, C.; CORSO, L. L. Detecção de falhas em contentores plásticos utilizando Redes Neurais Convolucionais. **Scientia cum Industria**, v. 8, n. 2, p. 156–163, 17 out. 2020.

GOEKING, W. Da máquina a vapor aos softwares de automação. **O Setor Elétrico**, n. 52, p. 70–77, maio 2010.

HANSEN, P. B.; ROCHA, R. G. DA; LEMOS, F. DE O. Alternativas para aumento de produtividade em uma célula de manufatura com uso das técnicas do sistema Toyota de produção: análise através da modelagem e simulação computacional. **Produto & Produção**, v. 15, n. 1, 27 mar. 2014.

HPE. **O que é inteligência artificial (IA)?** Disponível em: <<https://www.hpe.com/br/pt/what-is/artificial-intelligence.html>>. Acesso em: 9 nov. 2021.

KEYENCE CORPORATION. **Cortina de luz de segurança**: Série GL-R. São Paulo, 2017.

KEYENCE CORPORATION. **Leitores de código 1D e 2D com foco automático**: Série SR-1000. São Paulo, 2018.

KEYENCE CORPORATION. **Sensor de visão**. Disponível em: <<https://www.keyence.com.br/products/vision/vision-sensor/>>. Acesso em: 9 nov. 2021a.

KEYENCE CORPORATION. **Sensor de Visão com IA integrada: Série IV2.** São Paulo, 2020.

KEYENCE CORPORATION. **Vision Sensor IV2 Series: User's Manual.** 2. ed. Osaka, 2021b.

LECUN, Y.; BENGIO, Y.; HINTON, G. Deep learning. **Nature**, v. 521, n. 7553, p. 436-444, 28 maio 2015.

LIMA, R. P. S.; CARVALHO, C. S. S. **Implantação de um sistema de visão computacional aplicada ao controle de qualidade de agulhas em uma indústria farmacêutica.** 30 maio 2014. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Automação Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

LUGER, G. F. IA: história e aplicações. In: LUGER, G. F. **Inteligência artificial.** São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013. p. 11-24.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE. **Air Conditioning and Refrigeration Timeline - Greatest Engineering Achievements of the Twentieth Century.** Disponível em: <<http://www.greatachievements.org/?id=3854>>. Acesso em: 9 nov. 2021.

NOAL, L. **Retrômobilismo#89: O mais tecnológico dos Miura, trio X8, Top Sport e X11 acabou esquecido com os importados!** 14 jun. 2015. Disponível em: <<https://www.conexaoautomotivabr.com/2015/06/retromobilismo89-o-mais-tecnologico-dos.html>>. Acesso em: 29 nov. 2021.

Popular Science. **First Air-Conditioned Auto**, p. 30, nov. 1933.

PURDY, K. W; FOSTER, C. G. **History of the automobile**, nov. 2021. Disponível em: <<https://www.britannica.com/technology/automobile/History-of-the-automobile>>. Acesso em: 29 nov. 2021.

SCHMIDHUBER, J. Deep learning in neural networks: An overview. **Neural Networks**, v. 61, p. 85–117, 1 jan. 2015.

SHAH, R. K. Automotive Air-Conditioning Systems—Historical Developments, the State of Technology, and Future Trends. **Heat Transfer Engineering**, v. 30, n. 9, p. 720–735, ago. 2009.

SIEMENS AG. **Be flexible thanks to networking possibilities**: Basic Controller SIMATIC S7-1200. Germany, 2018a.

SIEMENS AG. **Machine-level visualization with SIMATIC HM**: Efficient to a new level. Germany, 2018b.

SILVA, A. L. E. et al. Proposta de Automação Industrial em uma Empresa Fabricante de Borrachas Escolares. **REVISTA GEINTEC-GESTAO INOVACAO E TECNOLOGIAS**, v. 8, n. 1, p. 4159–4172, 9 mar. 2018.

SILVA, E. A. DA. Linguagem *ladder*. In: SILVA, E. A. DA. **Introdução às linguagens de programação para CLP**. São Paulo: Editora Blucher, 2016. p. 163-222.

SILVA, I. N. DA; SPATTI, D. H.; FLAUZINO, R. A. Arquiteturas de redes neurais artificiais e processos de treinamento. In: SILVA, I. N. DA et al. **Redes neurais artificiais para engenharia e ciências aplicadas**: curso prático. São Paulo: Artliber, 2010. p. 45-53.

TOYOTA INDUSTRIES CORPORATION. **Car Air-Conditioning Mechanisms and the Role of Compressors**. Disponível em: <<https://www.toyota-industries.com/company/business/automobile/compressor/mechanism/>>. Acesso em: 9 nov. 2021.

ULRICH, K. **Há 125 anos Carl Benz solicitava patente do primeiro automóvel**. Disponível em: <<https://www.dw.com/pt-br/h%C3%A1-125-anos-carl-benz-solicitava-patente-do-primeiro-autom%C3%B3vel/a-14799147>>. Acesso em: 9 nov. 2021.

VARRASI, J. **Global Cooling The History of Air Conditioning**. Disponível em: <<https://www.asme.org/topics-resources/content/global-cooling-the-history-of-air-conditioning>>. Acesso em: 9 nov. 2021.