

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS**

**DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL-MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**

Erik Pedro Bezerra de Aguiar

**Desenvolvimento de um Sistema para a Verificação de Placas de Circuito Impresso em
Jiga de Teste**

FLORIANÓPOLIS, 2025.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS**

**DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL-MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**

Erik Pedro Bezerra de Aguiar

**Desenvolvimento de um Sistema para a Verificação de Placas de Circuito Impresso em
Jiga de Teste**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Santa Catarina como parte dos
requisitos para obtenção do título de Engenheiro
em 2025.

Orientador:

Prof. Maurício Edgar Stivanello, Dr. Eng.

FLORIANÓPOLIS, 2025.

Bezerra de Aguiar, Erik Pedro
Desenvolvimento de um Sistema para a Verificação de Placas de
Circuito Impresso em Jiga de Teste / Erik Pedro Bezerra de
Aguiar ; orientador, Maurício Edgar Stivanello, 2025.
81 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Instituto Federal
de Santa Catarina, Campus Florianópolis, Graduação em Engenharia
mecatronica, Florianópolis, 2025.

Inclui referências.

1. Engenharia mecatronica. 2. Sistema de Visão. 3.
Automatização. 4. Pesquisa e validação. 5. Regiões de Interesse.
I. Stivanello, Maurício Edgar. II. Instituto Federal de Santa
Catarina. Graduação em Engenharia mecatronica. III. Título.

Desenvolvimento de um Sistema para a Verificação de Placas de Circuito Impresso em Jiga de Teste

Erik Pedro Bezerra de Aguiar

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

Florianópolis, 27 de Fevereiro de 2025.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Eng. Maurício Edgar Stivanello

Prof. Orientador - DAMM/IFSC

Prof. Dr. Eng. Delcino Picinin Júnior

DAMM/IFSC

Prof. Dr. Eng. Raimundo Ricardo Matos da Cunha

DAMM/IFSC

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Ele, Deus nosso criador e salvador.

Agradeço ao meu pai, senhor José Erivaldo de Aguiar por me dar discernimento e postura para encarar a vida.

Agradeço à minha mãe, senhora Edite Faustino Bezerra por me dar ternura e amor para viver a vida.

Agradeço aos meus amigos, aos de Maceió - AL que cresceram comigo e aos de Florianópolis - SC que desenvolvi uma bela amizade ao longo do período de formação.

Agradeço aos meus irmãos, primos, tios e tias, padrinho, madrinha e aos demais familiares que torceram por mim em minha caminhada.

Agradeço à minha melhor amiga e também namorada Letícia da Silvera, que incentivou-me e apoiou-me nessa última caminhada desta etapa acadêmica.

Agradeço a todos os professores que passaram pela minha vida acadêmica, desde a escolinha até minha formação de bacharelado, em especial ao meu orientador Prof. Maurício pela paciência e apoio nessa reta final.

Agradeço ao IFSC - Florianópolis pelo ensino de qualidade e enriquecedor que absorvi nestes últimos anos.

Por fim, agradeço a mim mesmo, por mais que tenha fraquejado e falhado, nunca desistir dessa caminhada e de meu sonho.

RESUMO

O desenvolvimento de ferramentas, utilizando visão computacional, capaz de identificar padrões, falhas ou condições desejadas em ambientes industriais é uma técnica que já vem sendo utilizada há algum tempo. Este Trabalho de Conclusão de Curso apresenta o desenvolvimento e a validação de um sistema de visão computacional aplicado à identificação de padrões e falhas em processos industriais. A pesquisa foi conduzida no setor de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) da Intelbras, com o objetivo de avaliar a viabilidade dessa tecnologia para automação e aumento da produtividade em atividades de alta repetibilidade. A solução proposta consiste na implementação de um sistema de visão computacional, avaliando e medindo as regiões de interesse, aliado a um protótipo de jiga de testes, possibilitando a validação experimental do método. Além do software, foi desenvolvido o suporte físico necessário para a realização dos testes, evidenciando uma abordagem multidisciplinar da Engenharia Mecatrônica. Os resultados obtidos fornecem subsídios para futuras aplicações em ambientes produtivos.

Palavras-chave: Sistema de Visão, Jiga de teste, Automatização, Pesquisa e validação, Regiões de Interesse.

ABSTRACT

The development of tools using computer vision capable of identifying patterns, failures, or desired conditions in industrial environments is a technique that has been in use for some time. This Undergraduate Thesis presents the development and validation of a computer vision system applied to the identification of patterns and failures in industrial processes. The research was conducted in the Research and Development (R&D) department at Intelbras, aiming to assess the feasibility of this technology for automation and increased productivity in highly repetitive tasks. The proposed solution consists of implementing a computer vision system to evaluate and measure regions of interest, combined with a test jig mock-up, enabling the experimental validation of the method. In addition to the software, the necessary physical support for testing was developed, highlighting the multidisciplinary approach of Mechatronics Engineering. The results obtained provide a foundation for future applications in production environments.

Keywords: Vision System, Test Jig, Automation, Research and Validation, Regions of Interest.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Tipos de Placas CI.....	21
Figura 02 - Esquemático da Tecnologia - Surface-Mounted Componentes.....	22
Figura 03 - Esquemático da Tecnologia - Through-Hole Componentes.....	22
Figura 04 - Problemas SMD.....	23
Figura 05 - Arquitetura de um sistema de visão computacional.....	25
Figura 06 - Técnicas de Iluminação: (1) Luz de fundo, (2) Luz vertical, (3) Luz direcionada, (4) Luz fluorescente, (5) Luz difusa e (6) Luz bidirecional.....	27
Figura 07 - Imagem Digital e a distribuição de pixels.....	28
Figura 08 - Imagem RGB x Imagem Grayscale.....	30
Figura 09 - Painel de Placas com Componentes.....	37
Figura 10 - Painel de Placas com Defeitos (Exemplo).....	38
Figura 11 - Jiga de teste (linha de produção).....	40
Figura 12 - Protótipo de jiga (Visão baixo direita).....	42
Figura 13 - Suporte gabarito inicial para o painel de placas.....	44
Figura 14 - Adaptação para impressão da peça.....	44
Figura 15 - Suporte gabarito final para o painel de placas.....	45
Figura 16 - Gabarito versão final.....	45
Figura 17 - Suporte para o gabarito final.....	46
Figura 18 - Adaptação para impressão do gabarito final.....	47
Figura 19 - Detalhes das peças desenvolvidas.....	47
Figura 20 - Montagem do protótipo no CAD.....	48
Figura 21 - Montagem parcial do protótipo.....	48
Figura 22 - Vista da montagem final do protótipo.....	49
Figura 23 - Circuito.....	50
Figura 24 - Placa finalizada.....	51
Figura 25 - Fonte CIE.....	51
Figura 26 - Dispositivo de vídeo.....	52
Figura 27 - Fluxograma Utilização do Software.....	54
Figura 28 - Fluxograma Resumido.....	55
Figura 29 - Arquivos das Coordenadas ROI.....	56
Figura 30- Fluxograma Processamento de Imagens.....	57
Figura 31 - Imagem do Painel com as ROI.....	58
Figura 32- Interface.....	59
Figura 33 - Mensagem de Erro.....	59
Figura 34 - Captura de Imagem.....	60
Figura 35 - Geração de Relatório.....	60

Figura 36 - Ambiente de Armazenamento.....	60
Figura 37 - Protótipo da Jiga construído.....	64
Figura 38 - Lateral do Protótipo.....	65
Figura 39 - 1º Gabarito impresso.....	66
Figura 40 - 2º Gabarito impresso.....	66
Figura 41 - Case de iluminação aberta.....	67
Figura 42 - Case de iluminação fechada.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Matriz de Confusão.....	32
Tabela 2 - Informações da Jiga.....	40
Tabela 3 - Requisito para desenvolver o CAD.....	40
Tabela 4 - Informações do painel.....	42
Tabela 5 - Requisitos para a peça.....	42
Tabela 6 - Principais componentes.....	49
Tabela 7 - Exemplo de Teste por Pannel.....	60
Tabela 8 - Exemplo da Matriz de Confusão Montada.....	61
Tabela 9 - Exemplo da Matriz Final.....	61
Tabela 10 - Matriz de Confusão LED de Comunicação.....	67
Tabela 11 - Matriz de Confusão LED de Iluminação.....	67
Tabela 12 - Matriz de Confusão Buzzer.....	68
Tabela 13 - Matriz de Confusão Capacitor Pequeno.....	69
Tabela 14 - Matriz de Confusão Capacitor Grande.....	70
Tabela 15 - Matriz de Confusão Indutor.....	70
Tabela 16 - Matriz de Confusão MCU.....	71
Tabela 17 - Matriz de Confusão Circuito Integrado 1.....	72
Tabela 18 - Matriz de Confusão Circuito Integrado 2.....	72
Tabela 19 - Matriz de Confusão Circuito Integrado 3.....	73
Tabela 20 - Resultado Geral.....	73

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Taxa de Iluminação.....	26
Equação 2 - Função $f(x,y)$ derivado da matriz $M \times N$	27
Equação 3 - Equação de conversão RGB para Grayscale.....	29
Equação 4 - Acurácia.....	33
Equação 5 - Precisão.....	33
Equação 6 - Sensibilidade ou Recall.....	33
Equação 7 - Especificidade.....	33
Equação 8 - Erro.....	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API	Application Programming Interface
CAD	Computer Aided Design
IFSC	Instituto Federal de Santa Catarina
PCI	Placa de Circuito Impresso
PET	Programa de educação tutorial
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PTH	Pin Through Hole
SMD	Surface mounted device
SMC	Surface-mounted Components
THC	Through-Hole Components
PCB	Printed Circuit Boards

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Justificativa	16
1.2 Definição do Problema	17
1.3 Objetivo Geral	17
1.4 Objetivos Específicos	17
1.5 Estrutura do Trabalho	18
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1 Placas de Circuito Impresso	20
2.1.1 Tecnologia de Montagem em Superfície	21
2.1.2 Tecnologia de Furo Metalizado	22
2.1.3 Tipos de Defeitos em Processos de Montagem SMD e PTH	22
2.2 Visão Computacional	24
2.2.1 Iluminação	25
2.2.2 Imagens Digitais	27
2.2.3 Sistemas de Cores e Transição entre Padrões de Cores	28
2.2.4 Análise Estatística de Imagens para Detecção de Componentes	30
2.2.5 Regiões de Interesse (ROIs) em Imagens para Detecção de Componentes	31
2.3 Métricas de Avaliação de Sistemas de Visão	32
2.4 Trabalhos Correlatos	34
3 METODOLOGIA	36
3.1 Definição dos requisitos	38
3.2 Proposta e Desenvolvimento do Hardware do Sistema	39
3.2.1 Protótipo da Jiga	39
3.2.2 Suporte gabarito das Placas PCI	42
3.2.3 Montagem do protótipo de jiga com o suporte da placa	47
3.2.4 Alimentação e Circuito dos LED	49
3.2.5 Webcam	52
3.3 Proposta e Desenvolvimento do Software do Sistema	52
3.3.1 Ambiente de Desenvolvimento	52
3.3.2 Descrição Geral do Software	53
3.3.3 Sistema de Avaliação de Paineis	55
3.3.4 Interface do Usuário	57
3.3.5 Experimentos e Definição da Média de Luminosidade	60
3.3.6 Experimentos para Coleta de Dados para Matriz de Confusão	61
3.4 Integração	62
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	62
4.1 Hardware	63
4.2 Software	67
4.2.1 Avaliação do Componente: LED de Comunicação	67
4.2.2 Avaliação do Componente: LED de Iluminação	68
4.2.3 Avaliação do Componente: Buzzer	69

4.2.4 Avaliação do Componente: Capacitor Pequeno	69
4.2.5 Avaliação do Componente: Capacitor Grande	70
4.2.6 Avaliação do Componente: Indutor	71
4.2.7 Avaliação do Componente: Microcontrolador	72
4.2.8 Avaliação do Componente: Circuito Integrado 1	72
4.2.9 Avaliação do Componente: Circuito Integrado 2	73
4.2.10 Avaliação do Componente: Circuito Integrado 3	74
4.2.11 Avaliação do Geral	74
4.3 Requisitos	75
5 Conclusão	76
5.1 Sugestões para trabalhos futuros	77
REFERÊNCIAS	78

1 INTRODUÇÃO

Uma das características que nos faz sermos humanos é o fato de estarmos propícios a erros em todos aspectos de nossas vidas, mas em alguns ambientes essa característica pode ser muito prejudicial e até mesmo danosa. Em um ambiente industrial e de alta competitividade, por exemplo, esses erros tornam-se sinônimos de prejuízo ou até mesmo risco à integridade dos colaboradores. Uma vez que, a confiabilidade na validação de um produto que acabou de sair da linha de produção depende, única e exclusivamente, de um operador. Essa avaliação passa a ter outros parâmetros não mensuráveis, como por exemplo o estado mental e físico do operador na validação daquele produto.

Segundo a NBR 5462 (1994) a confiabilidade de um sistema pode ser definida como a probabilidade de um sistema ou equipamento funcionar sem falhas durante um período de tempo pré-determinado, sob condições de operação específicas. Assim sendo, fica claro que existe uma necessidade de padronização, automação e a diminuição da variável humana em processos que são de alta repetibilidade e muito suscetíveis a erros, como a validação de uma sequência de componentes em placas de circuito impresso. Quando falamos de erros, os humanos sempre estarão propensos a cometê-los, especialmente tratando-se de tarefas repetitivas ou complexas, a automação desses processos pode ajudar a reduzir esses erros, garantindo que as tarefas sejam executadas corretamente e que possuam consistência em seus resultados.

Juntamente com a redução desses possíveis erros, outra variável que é válida a investigação é a melhoria da eficiência nesses processos, no nosso caso a validação da montagem correta de placas PCI. Com esses processos bem estabelecidos, métricas a serem monitoradas, linhas automatizadas e monitoradas com sistemas de *feedback* para os colaboradores essa linha de produção industrial é capaz de aumentar a sua eficiência na produção e liberar tempo para os funcionários, que antes estavam realizando uma tarefa que ocasionalmente cometiam erros, realizarem e concentrarem-se em tarefas de maior estratégia, levando a uma redução no custo operacional e na quantidade de retrabalho a ser realizado.

A falha humana é uma das grandes responsáveis pela maior parte dos acidentes, dos prejuízos e da baixa produtividade em uma área industrial. Para a prevenção e/ou controle desses eventos indesejáveis dentro de uma empresa, é necessário que os processos, uma vez que bem definidos e delimitados, seja mapeados seus possíveis pontos de erros e suas possíveis soluções tecnológicas para que a variável “falha humana” seja retirada e que esses

paliativos científicos possam retornar valores com métricas bem definidas. Assim, essa proposta de trabalho de conclusão de curso possui como objetivo principal a demonstração da criação e desenvolvimento de uma solução tecnológica para solucionar um problema escalável, melhorando e automatizando o processo de validação de PCI.

Como dizia o consultor de negócios e o escritor e autor , Eliyahu M. Goldratt e Jeff Cox (2012) “... em uma empresa a capacidade de uma cadeia é determinada pelo seu elo mais fraco. Ao focar na identificação e eliminação dos gargalos no processo de produção, uma empresa pode acelerar o fluxo de materiais...”, nesta passagem eles demonstram que o importante é identificar e eliminar gargalos no processo produtivo, por isso a automação é uma ótima solução.

1.1 Justificativa

O avanço tecnológico traz consigo a possibilidade de automatizar e reduzir custos, à medida que as tecnologias ficam mais acessíveis e sofisticadas, em processos repetitivos e pouco estratégicos dentro de qualquer empresa. Os processos repetitivos são uns dos mais propensos a erros humanos dentro das empresas além de serem pontos de redução de custos e aumento de produtividade, segundo o fundador do fórum econômico mundial, Klaus Schwab (2017) ele afirma que a “automação de processos pode ajudar a melhorar a eficiência e a produtividade das empresas, liberando tempo dos funcionários para concentrarem-se em tarefas mais estratégicas”.

Com isso, um sistema, já integrado em um espaço de teste controlado (jiga), que possibilite a automação da verificação de algum produto (placas PCI) sem a interferência humana durante esse processo de verificação, torna-se muito proveitoso para qualquer tipo de empresa, já que tal sistema propicia uma segurança operacional, no que tange à confiabilidade das validações, um aumento da eficiência e redução de custos, no tocante ao número de placas testadas vs placas validadas e a realocação de colaboradores para atividades mais estratégicas e proveitosas dentro dessa empresa.

1.2 Definição do Problema

A problemática escolhida como tema abordado neste trabalho foi idealizada após a identificação de uma possibilidade de pesquisa e uma possível melhoria futura na linha de produção da Intelbras, do setor de EAG alarme e incêndio. Esta necessidade trata-se da validação de uma PCI utilizada em um dos produtos da linha de Alarme e Incêndio, onde atualmente a validação/verificação é feita de forma manual e com um operador na linha para esse processo.

1.3 Objetivo Geral

O objetivo geral do presente trabalho corresponde ao desenvolvimento e validação de um *hardware* e *software* com algoritmos e técnicas de visão computacional e processamento de imagens para a automação no processo da verificação de componentes PTH e SMD em uma placa de circuito impresso visando a integração em uma linha de produção.

1.4 Objetivos Específicos

Para que o objetivo geral deste trabalho fosse alcançado, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Realizar um estudo teórico e relato das técnicas a serem empregadas em trabalhos correlatos;
- Estudar e compreender o processo de fabricação das PCI na linha de produção;
- Com base no estudo realizado, investigar quais os principais erros relacionados aos componentes das placas de circuito impresso;
- Sugerir um modelo de sistema de inspeção computacional e analisar quais erros podem ser solucionados pelo método de inspeção proposto;
- Realizar o levantamento de especificações necessárias para o desenvolvimento do protótipo;
- Desenvolver um *software* protótipo para o sistema de validação;

- Realizar o levantamento de especificações necessárias para a construção de um protótipo da jiga de teste;
- Atestar a solução desenvolvida por meio de testes e métricas definidas;
- Integrar o *software* desenvolvido com o protótipo da jiga.

1.5 Estrutura do Trabalho

Para o desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso o esqueleto da estrutura está distribuída em cinco capítulos principais, em cada um deles trataremos dos aspectos fundamentais para o desenvolvimento e validação do sistema de verificação das placas de circuito impresso (PCI):

1. Introdução

- Neste capítulo é realizada a apresentação dos objetivos do trabalho e a motivação para a realização do mesmo, destacando-se a importância e vantagens da automação para linhas de produção industrial.

2. Fundamentação Teórica

- Aqui são tratados conceitos fundamentais como placa de circuito impresso (PCI), visão computacional, inspeção óptica automatizada, processamento de imagens, métricas de avaliação e trabalhos correlatos.

3. Metodologia

- Na metodologia do projeto são abordados, de forma detalhada, os requisitos para a realização do mesmo. A explanação das minúcias do desenvolvimento do *hardware* e *software*, metodologias, ferramentas, testes realizados e a integração entre o protótipo de jiga desenvolvido e o *software* desenvolvido.

4. Resultados

- Já em resultados, corresponde a exibição do que foi alcançado e obtido durante o período de testes e os ajustes finos para a validação do sistema, onde será avaliado a sua eficiência na validação das placas PCI. E o estudo dos possíveis benefícios

gerados em termos de desempenho operacional, segurança nos resultados e a automação do processo produtivo.

5. Considerações finais

- Por fim, nas considerações finais será tratado as conclusões do projeto, sua importância e ganhos para a área de automação industrial. Juntamente com sugestões de melhorias para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção, serão abordados os conceitos, tecnologias e estudos anteriores que constituíram a base necessária para o desenvolvimento do sistema de classificação de placas de circuito impresso automatizado baseado em visão computacional. Este capítulo será dividido em seções e onde cada uma delas terá sua parte dedicada à explicação detalhada dos aspectos relevantes ao projeto.

2.1 Placas de Circuito Impresso

O objeto a ser observado centralmente neste trabalho são as Placas de Circuito Impresso Montadas, apontadas como PCI no desenvolvimento desse trabalho, que correspondem aos componentes essenciais na eletrônica moderna. As PCI servem como base para a conexão elétrica e suporte físico de componentes eletrônicos, sendo eles PTH e SMD.

O uso de Placas de Circuito Impresso é feito em praticamente todos os dispositivos eletrônicos, desde um smartphone até em sistemas robustos de automação industrial. As PCI são fundamentais para o funcionamento de diversas tecnologias que definem o mundo moderno.

Sendo as Placas de Circuito Impresso, do inglês *Printed Circuit Boards*, a base onde repousa as trilhas ou caminhos para realizar a ligação elétrica componentes distintos. Sua fabricação dá-se pelo uso de um material dielétrico para a constituição da sua camada rígida e normalmente possuem uma fina lâmina de cobre para a criação das trilhas. Na Figura 01, pode-se observar a divisão dos tipos de PCI.

Figura 01 - Tipos de Placas CI



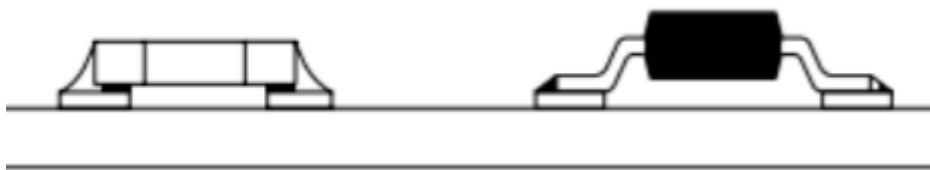
Fonte: Adaptado HOFFMAN (2025).

2.1.1 Tecnologia de Montagem em Superfície

Com a montagem de componentes planejados na superfície das placas de circuito impresso, a tecnologia SMD permite a produção com alta quantidade de componentes e alta automação no processo de fabricação com um menor custo. Segundo Lee (2002) a utilização da *surface-mounted components* (Figura 02) pode reduzir o peso e o volume das placas em até 90%, sendo interessante para vários setores como: eletrônica, telecomunicações, transporte e desenvolvimento aeroespacial.

Os Componentes de Montagem em Superfície (SMC) podem ser utilizados em grande parte dos componentes, como diodos, capacitores, circuitos integrados (CI) e resistores. Porém, por conta de restrições da tecnologia SMD os dispositivos não apresentam uma dispersão de potência maior que 2W.

Figura 02 - Esquemático da Tecnologia - *Surface-Mounted Componentes*



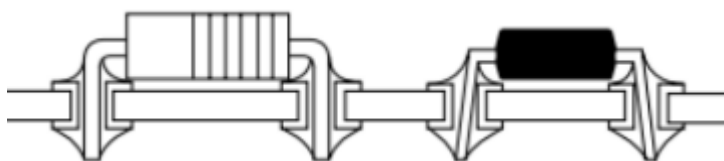
Fonte: Adaptado de LEE (2002).

2.1.2 Tecnologia de Furo Metalizado

A Tecnologia de Furo Metalizado (PTH) (Figura 03) consiste em componentes com longos terminais, chamados *pins*, que são inseridos nas *vias* para a interligação entre as trilhas e conectar corretamente os componentes à placa de circuito impresso. Lee (2002) ressalta que o PTH foi o primeiro método utilizado na fabricação de PCI. Essa tecnologia é utilizável em diversos formatos e funcionalidades de componentes, assim que inseridos os componentes passam pelo o processo de soldagem e logo após o excesso de cada pino são cortados e descartados.

Os Componentes de Furo Passante (THC) são amplamente difundidos devido aos fatores de dimensionamento imutável, tipos de conexão específicas, requisitos de alta tensão ou alta corrente, prototipagem e projetos de baixo custo.

Figura 03 - Esquemático da Tecnologia - *Through-Hole Componentes*



Fonte: Adaptado de LEE (2002).

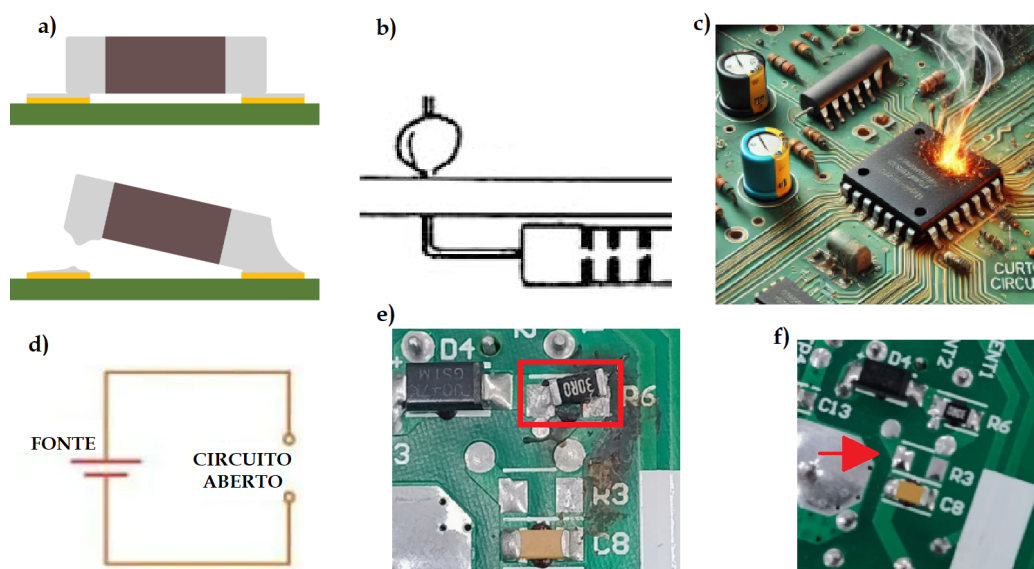
2.1.3 Tipos de Defeitos em Processos de Montagem SMD e PTH

Durante a linha produtiva de placas PCI, o processo de montagem e inserção de componentes eletrônicos, tanto utilizando a Tecnologia de Montagem em Superfície (SMD) quanto a Tecnologia de Furo Passante (PTH), podem surgir diversos tipos de defeitos. Esses defeitos podem comprometer o desempenho do circuito e a confiabilidade dos produtos.

Segundo Prasad (2013) a tecnologia SMD, por sua alta densidade de componente e de processos automatizados está sujeita aos seguintes defeitos (Figura 04):

- *Tombstoning* (Efeito Túmulo) (a): Ocorre quando um dos terminais do componente SMD se levanta durante a soldagem, criando uma falha de contato. Esse defeito pode ser causado por diferenças de temperatura ou desequilíbrio na aplicação de pasta de solda;
- Solda Fria (b): Caracteriza-se por conexões frágeis e instáveis devido a temperaturas inadequadas ou fluxo de solda insuficiente durante o processo de refusão;
- Curto-Circuito (c): Pode ocorrer quando a quantidade de pasta de solda aplicada é excessiva, resultando em uma ponte entre os terminais de componentes adjacentes;
- *Open Circuit* (Circuito Aberto) (d): Quando não há soldagem suficiente, deixando um ou mais terminais de um componente desconectados;
- Posicionamento Incorreto (e): Componentes deslocados ou mal posicionados devido a erros de alinhamento durante a inserção automatizada;
- Componentes Faltantes (f): Falhas na colocação de componentes, geralmente causadas por problemas no alimentador.

Figura 04 - Problemas SMD



Fonte: Adaptado do Autor (2025).

Já Wong (2017) refere-se que a montagem com a tecnologia de furo passante (PTH) também pode apresentar falhas, especialmente relacionadas ao processo de inserção e soldagem:

- Furos Vazios: Ocorre quando os terminais dos componentes não preenchem completamente o furo durante a soldagem, gerando falta de conexão elétrica adequada;
- Solda Fria ou Insuficiente: Conexões mecânicas e elétricas frágeis devido a soldagem inadequada, resultando em mau contato ou falhas intermitentes;
- Curto-Circuito: Pode acontecer devido ao acúmulo excessivo de solda, formando pontes de solda entre os terminais de diferentes componentes;
- Excesso de Solda (Excesso de Fillet): Um excesso de solda pode levar à formação de bolhas ou cavidades, que comprometem a qualidade mecânica e elétrica da conexão;
- Terminais Mal Inseridos: Os pinos dos componentes podem ser dobrados ou não totalmente inseridos, resultando em problemas de conectividade;
- Desalinhamento ou Falta de Componentes: Se os terminais não estiverem corretamente posicionados em seus respectivos furos, o componente pode ser soldado de forma incorreta ou nem ser inserido, afetando o funcionamento do circuito.

2.2 Visão Computacional

A visão computacional é a área do conhecimento responsável pela visão de uma máquina e como essa máquina interpreta o meio em que está inserido a partir de imagens capturadas por câmeras de vídeo, sensores e outros dispositivos de aquisição juntamente a algoritmos (SZLISKI, 2010). Com isso, Ballard (1982) afirma que dessa maneira é possível reconhecer, manipular e extrair informações sobre objetos e cenas que são capturados por esses dispositivos de aquisição.

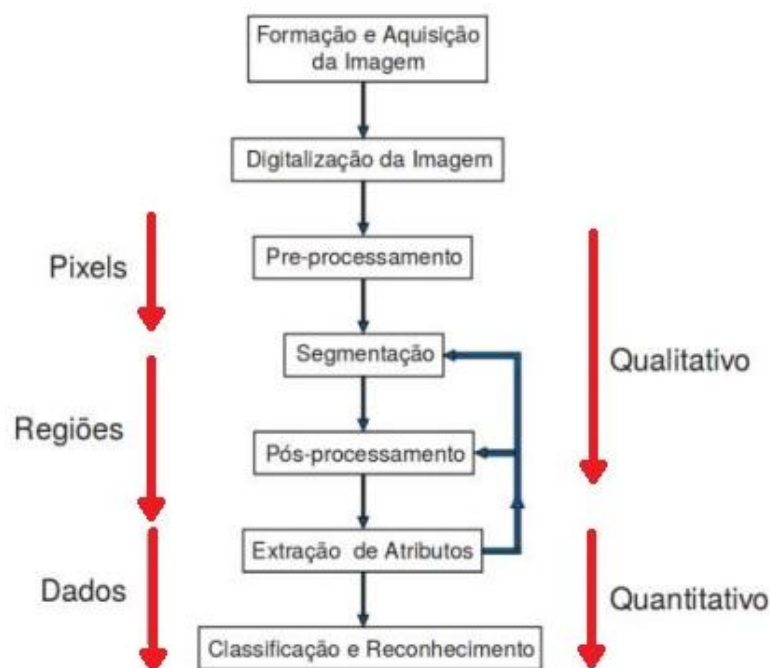
A arquitetura de um sistema de visão computacional, apresenta diversas partes e funcionalidades (MILANO, 2005), entre elas:

- Aquisição da Imagem: É o processo em que os conjuntos de imagens são adquiridas por meio de uma câmera ou um dispositivo de aquisição. Dessa forma, os *pixels* indicam coordenadas de luz e propriedades físicas. As imagens podem ser em sequência, bidimensionais ou tridimensionais;

- Pré-Processamento: Sua finalidade é a melhoria dos atributos de uma imagem antes da extração das informações. Nesta etapa aplica-se métodos específicos que facilita a identificação de objetos ou das *region of interest* (ROI). Podem ser citados como exemplo filtros que reduzem o ruído da imagem ou conversão entre espaços de cor;
- Detecção e Segmentação: Aqui são realizadas as delimitações dos objetos ou as ROI de uma imagem. Entre as técnicas mais comuns estão a binarização, baseada na similaridade entre a intensidade de *pixels* e a detecção de bordas;
- Extração de características: Trata-se da obtenção de dados e atributos matemáticos que representam a imagem ou um objeto, como texturas, bordas, movimentos, coloração, intensidade, escalas e a conexão entre os componentes da imagem;
- Processamento de alto nível: Por fim, a validação dos dados obtidos da imagem e a classificação dos objetos ou cenas obtidas.

A Figura 05 resume essas partes e funcionalidades.

Figura 05 - Arquitetura de um sistema de visão computacional.



Fonte: Adaptado de ESQUEF (2003).

2.2.1 Iluminação

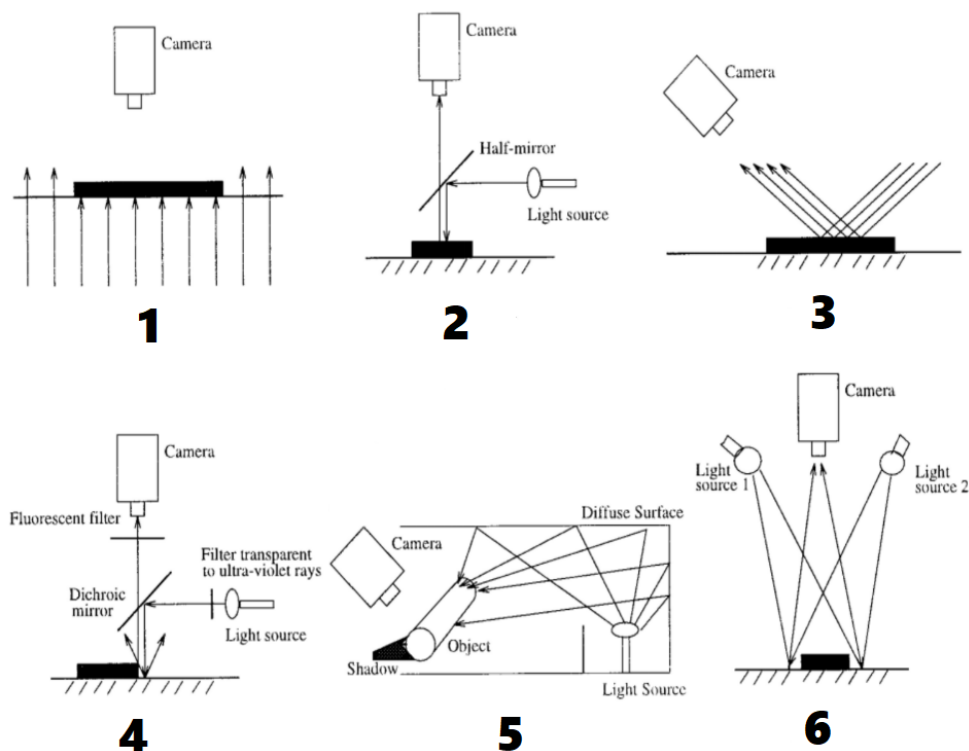
Um sistema de iluminação bem construído simplifica a análise visual durante inspeções, reduzindo a necessidade de etapas mais complexas de processamento digital de imagens. Alguns dos critérios fundamentais para garantir a qualidade na captura de imagens incluem: intensidade luminosa, distribuição uniforme, angulação da luz e composição espectral (MOGANTI, 1996; SZYMANSKI, 2014; SONKA et al., 2014).

Na inspeção de PCI, esses fatores são ajustáveis conforme as propriedades da superfície analisada, como cobre polido ou oxidado, fotoresistente azul ou vermelho, materiais opacos ou translúcidos, exigindo adaptações específicas (MOGANTI, 1996; ZHANG, 2018). Quanto às fontes luminosas, além das tradicionais (fluorescentes, halógenas, LED, xênon, mercúrio e sódio pressurizado), técnicas modernas incorporam fibras ópticas e iluminação polarizada para minimizar reflexos (SZYMANSKI, 2014; DAVIES, 2017).

A Figura 06 ilustra como a combinação de múltiplas técnicas, como a iluminação frontal, lateral e difusa em disposições híbridas potencializa a detecção de falhas. Contudo, a configuração ótima depende de testes iterativos, considerando interações entre o *hardware*, *software* e características do objeto (MOGANTI, 1996; DAVIES, 2017). Recentes avanços destacam a importância da iluminação multispectral e da padronização de cores para aplicações em controle de qualidade automatizados (ZHANG, 2018; SONKA et al., 2014).

Figura 06 - Técnicas de Iluminação:

(1) Luz de fundo, (2) Luz vertical, (3) Luz direcionada, (4) Luz fluorescente, (5) Luz difusa e (6) Luz bidirecional.



Fonte: Adaptado de MOGANTI (1996).

Em ambientes industriais, a neutralização total da luz do entorno ou a criação de espaços totalmente isolados frequentemente apresenta limitações práticas. Diante disso, não busca-se eliminar totalmente a interferência do ambiente, mas sim controlar as variações na intensidade luminosa. Por isso, o objetivo é suprimir a flutuação de luminosidade, geralmente diminuindo a taxa de iluminação R , onde I é a intensidade da fonte luminosa primária e I_{amb} é a intensidade da luz ambiente.

Equação 1 - Taxa de Iluminação

$$R = \frac{I_{amb}}{I}$$

Fonte: MOGANTI (1996).

Segundo Gonzalez e Woods (2018), essa abordagem minimiza inconsistências na captura de imagens sem exigir infraestruturas complexas de blindagem luminosa.

2.2.2 Imagens Digitais

Segundo Marques e Vieira (1999) a digitalização de imagens baseia-se em sujeitar o sinal obtido da câmera a uma discretização espacial (amostragem) e em amplitude (quantização). A discretização espacial delimita a resolução de uma imagem, dividindo-a em uma matriz $M \times N$ (equação 1), originando uma matriz onde cada ponto é definido: *Pixel*. A amplitude é responsável pelo valor desses *pixels* onde a função $f(x, y)$ representa a intensidade f em qualquer ponto x e y (Marques, 1999).

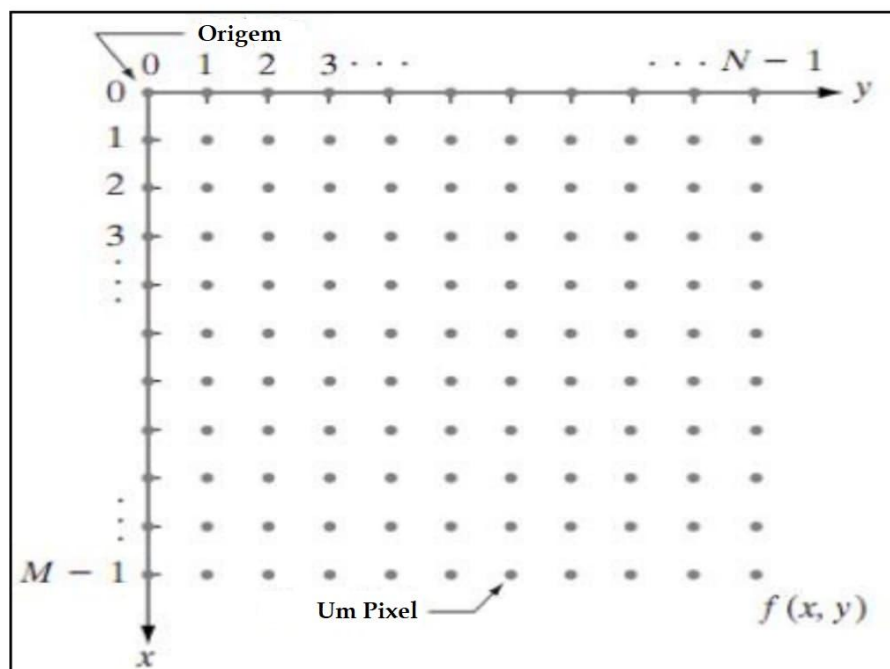
Equação 2 - Função $f(x, y)$ derivado da matriz $M \times N$

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0, 0) & f(0, 1) & \dots & f(0, N - 1) \\ f(1, 0) & f(1, 1) & \dots & f(1, N - 1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(M - 1, 0) & f(M - 1, 1) & \dots & f(M - 1, N - 1) \end{bmatrix}$$

Fonte: MARQUES (1999).

As imagens digitais são distribuídas em eixos: y (horizontal) e x (vertical), começando no canto superior esquerdo, como mostra a Figura 07.

Figura 07 - Imagem Digital e a distribuição de pixels



Fonte: Adaptado de SANTIAGO (2009).

2.2.3 Sistemas de Cores e Transição entre Padrões de Cores

Cada imagem digital colorida pode possuir vários valores para a representação de cada pixel, assim, existem várias formas de representação das cores, o que dá origem a diferentes padrões de cores. Esses sistemas cromáticos são modelos matemáticos e computacionais que padronizam a descrição quantitativa das cores. Esses sistemas são fundamentais em tecnologias que envolvem captura, processamento e reprodução de imagens. Cada sistema desse opera em um espaço cromático, onde são diferenciados pelos seus eixos coordenados que parametrizam atributos como saturação e luminância, por exemplo.

O sistema mais difundido é o sistema RGB (Vermelho, Verde e Azul), esse sistema utiliza combinações aditivas de luzes primárias para a geração de cores. Sua representação matemática dá-se por: $C_{RGB} = (R, G, B)$, com $R, G, B \in [0, 255]$. Porém, existem outros sistemas, como: *Hue Saturation Lightness* (HSL), *Hue Saturation Value* (HSV), CIELAB (“L” significa *light*, “a” o par vermelho/verde e “b” o par amarelo/azul) e o *Cyan Magenta Black* (CMYK). Vale ressaltar que o CIELAB é o padrão internacional de cores.

Uma das etapas fundamentais no processamento de imagens e na segmentação de objetos é a transformação entre diferentes sistemas ou espaços de cores. Ao empregar-se o espaço de cor adequado, torna-se factível implementar algoritmos e métodos para o destacamento ou extração de características específicas das imagens. Entre as conversões, a mais recorrente é a transformação de RGB para escalas de cinza (*Grayscale*). Os principais métodos para essa conversão são o da média e da luminosidade.

Podemos obter a luminosidade a partir da equação 2, onde Y é um valor entre 0 e 255, resultado do produto de cada canal RGB com sua respectiva constante.

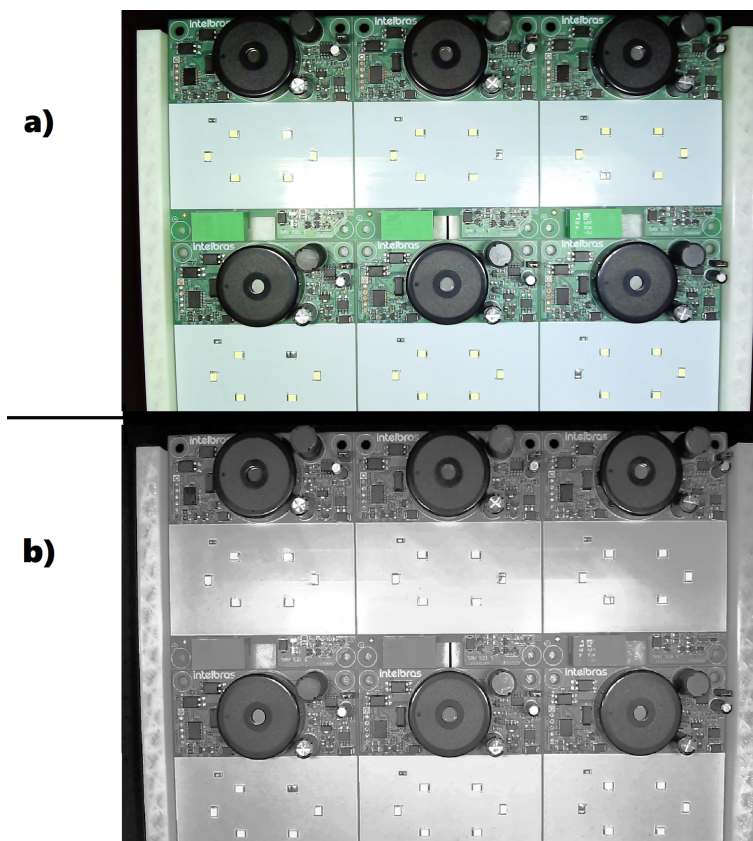
Equação 3 - Equação de conversão RGB para *Grayscale*.

$$RGB[A] \text{ para Cinza: } Y \leftarrow 0.299 * R + 0.578 * G + 0.144 * B$$

Fonte: KAEHLER, A; BRADSKI, G. I (2016).

Ao aplicarmos essa conversão, como representado na Figura 08, podemos notar a diferença entre uma imagem digital utilizando o sistema de cores RGB (Figura 08 - a) e a sua equivalente em escala cinza (Figura 08 - b).

Figura 08 - Imagem RGB x Imagem *Grayscale*



Fonte: do Autor (2025).

2.2.4 Análise Estatística de Imagens para Detecção de Componentes

Quando trata-se de detecção de componentes em placas de circuito impresso, existem diversas formas de realizar tal detecção. Uma delas é a Análise Estatística da Imagem, que envolve técnicas de visão computacional e processamento de imagens. Para realizar essa análise, estatísticas de características de *pixel*, como a média, variância e mediana, desempenham um papel fundamental no reconhecimento e diferenciação de padrões presentes nas imagens das placas.

A mediana é a medida central dos valores de intensidade de uma região da imagem, menos sensível a ruídos e variações extremas do que a média. Ela é especialmente útil para suavizar ruídos em imagens que possam ser causados por reflexos ou pequenas

falhas no processo de captura da imagem (GONZÁLEZ; WOODS, 2018). Também pode ser utilizada para identificar bordas e contornos, que são características importantes na detecção de componentes em PCIs, o que não é o foco deste trabalho. Em imagens de baixa qualidade, ela desempenha muito bem na detecção mais precisa das formas dos componentes.

Outra estatística importante é a Variância que mede a dispersão ou variação das intensidades de um pixel em relação à média. Regiões que contêm componentes tendem a ter uma maior Variância de intensidade, uma vez que os componentes criam contrastes acentuados em relação ao fundo da placa (JAIN, 1989). Já no caso da ausência de componentes, a variância é menor o que reflete em uma área mais uniforme e homogênea. Podendo ser utilizada para diferenciar áreas de alta textura, correspondente aos componentes, de áreas suaves, correspondentes à sem componentes.

A média trata-se de uma medida de tendência central que reflete a intensidade média dos pixels em uma região da imagem. No contexto de detecção de componentes, uma imagem de uma PCI com presença de componente apresenta uma distribuição de intensidades diferentes em relação a uma imagem sem componentes (GONZÁLEZ; WOODS, 2018). Quando comparada a média de diferentes regiões da placa permite identificar variações de padrão que indicam a presença ou a ausência de um componente. Diferenças sutis na intensidade de fundo e no brilho dos componentes podem ser destacadas usando a média, ajudando na segmentação inicial.

2.2.5 Regiões de Interesse (ROIs) em Imagens para Detecção de Componentes

As regiões de interesse, do inglês *Regions of Interest* (ROIs), são áreas específicas de uma imagem que são selecionadas para uma análise detalhada. Quando trata-se de detecção de componentes PTH e SMD em placas de circuito impresso, as ROIs desempenham um papel fundamental para a otimização nos processos de inspeção automática. A definição de ROIs é feita por coordenadas previamente extraídas das imagens, permitindo a segmentação e análise de áreas específicas que possuam componentes ou regiões críticas da placa.

A definição das regiões de interesse, normalmente, começa com um pré-processamento da imagem, onde são aplicadas técnicas de ajuste de brilho, contraste e remoção de ruído. Ao finalizar esse pré-processamento, algoritmos de detecção de bordas ou

segmentação são utilizados para identificar áreas candidatas que podem conter componentes (GONZÁLEZ; WOODS, 2018). No caso deste trabalho, a definição das coordenadas das regiões de interesse são realizadas previamente, sem a necessidade desses algoritmos.

Utilizar ROIs reduz a necessidade de analisar a imagem inteira, concentrando os cálculos apenas nas áreas que realmente importam. Essa técnica melhora o desempenho do sistema e aumenta a precisão na detecção dos componentes. Por ter um foco em áreas críticas, previamente definidas ou definidas por meio de algoritmos de detecção de bordas ou segmentação, permite que o sistema de visão computacional concentre-se apenas nas áreas que contêm ou não os componentes.

Desta forma, dá-se uma significativa redução no tempo de processamento, pois analisar apenas as ROIs reduz a carga computacional, melhorando a velocidade da inspeção como também melhora a precisão do sistema desenvolvido devido a segmentação e a análise detalhada das regiões de interesse permitindo a detecção de pequenas diferenças que podem indicar falhas, como a ausência de componentes ou o posicionamento incorreto dos mesmos (JAIN, 1989).

Para as PCIs as ROIs são definidas com base no *layout* conhecido da placa, que contém a posição esperada de cada componente. Qualquer desvio em relação a essas posições podem ser usados para detectar a ausência de componente em uma ROI previamente definida. As ROIs também permitem a aplicação de operações de estatística, como a média, em áreas específicas da imagem, melhorando a detecção destes componentes.

2.3 Métricas de Avaliação de Sistemas de Visão

Para validar o sistema de visão desenvolvido é necessário utilizar técnicas e métricas para avaliar o desempenho dos resultados obtidos. Essa validação pode ser realizada por meio de um conjunto de testes aplicados a amostras classificadas de acordo com suas categorias. A partir da análise das amostras coletadas é possível construir uma ferramenta conhecida como Matriz de Confusão.

A Matriz de Confusão é uma tabela que detalha todas as possibilidades de classificação, divididas em: Verdadeiros Positivos (*True Positive* - TP), que correspondem ao número de observações positivas classificadas corretamente; Os Falsos Negativos (*False Negative* - FN), que representam o número de observações positivas classificadas de forma

incorreta; Os Verdadeiros Negativos (*True Negative* - TN), trata-se do número de observações negativas corretamente classificadas; Por fim, temos os Falsos Positivos (*False Positive* - FP), número de observações negativas erroneamente classificadas.

Tabela 1 - Matriz de Confusão

		Classificação Realizadas pelo Sistema	
		Positivo (C1)	Negativo (C2)
Referência	Positivo (C1)	Verdadeiros Positivo (TP)	Falso Negativos (FN)
	Negativo (C2)	Falsos Positivos (FP)	Verdadeiros Negativos (TN)

Fonte: Adaptado STIVANELLO (2019).

Seguindo essa matriz de confusão é possível retirar as principais métricas para avaliação de sistemas como esse. São elas: Acurácia (A) (Equação 4), Precisão (P) (Equação 5), Sensibilidade ou *Recall* (TPR) (Equação 6), Especificidade (TNR) (Equação 7) e Erro (Err) (Equação 8). Neste trabalho utilizaremos a Acurácia, Precisão e o *Recall* para realizar a validação do sistema.

A Acurácia mede a proporção de previsões corretas em relação ao total de previsões realizadas, sendo uma métrica geral de desempenho, uma alta acurácia indica que o sistema está acertando uma grande parte das previsões. A Precisão é particularmente importante em casos onde prever positivamente de forma errada tem consequências críticas, uma alta precisão indica poucos falsos positivos. A Sensibilidade ou *Recall*, mede a capacidade de identificar corretamente os positivos reais, sendo essencial quando a prioridade é identificar todos os casos positivos. Por fim, a Especificidade mede a proporção de negativos corretamente identificados e o Erro representa a proporção de previsões incorretas.

Essas métricas quando analisadas em conjunto, fornecem uma visão ampla do desempenho do sistema, permitindo ajustes e melhorias conforme o necessário para cada sistema desenvolvido.

Equação 4 - Acurácia.

$$A = \frac{TP + TN}{TP + FN + FP + TN}$$

Fonte: Adaptado de HOSSIN; SULAIMAN (2015).

Equação 5 - Precisão.

$$P = \frac{TP}{TP + FP}$$

Fonte: Adaptado de HOSSIN; SULAIMAN (2015).

Equação 6 - Sensibilidade ou *Recall*.

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN}$$

Fonte: Adaptado de HOSSIN; SULAIMAN (2015).

Equação 7 - Especificidade.

$$TNR = \frac{TN}{TN + FP}$$

Fonte: Adaptado de HOSSIN; SULAIMAN (2015).

Equação 8 - Erro.

$$Err = \frac{FP + FN}{TP + FN + FP + TN}$$

Fonte: Adaptado de HOSSIN; SULAIMAN (2015).

2.4 Trabalhos Correlatos

Com o avanço das tecnologias de processamento e captação de imagem a área da visão computacional foi amplamente difundida e desenvolvida. Devido a novas tecnologias, metodologias de pesquisa e avanços de *hardware* a inspeção visual automatizada captou diversos avanços nos últimos anos, em especial a validação de placas de circuito impresso.

Os pesquisadores Ibrahim, Al-Attas e Aspar (2002) fizeram o uso da transformada wavelet. Contudo, o método deles baseia-se na subtração entre a imagem de uma placa padrão e uma imagem de teste, o que possibilita a identificação de diferenças nas áreas de interesse. O principal destaque deste trabalho é a redução do tempo de ciclo de inspeção em 81,22%.

Aplicando os conceitos de *Template Matching*, o estudo realizado por Cho e Park (2008) propõe, além da aplicação de visão computacional, uma estrutura que visa à redução de consumo computacional utilizando a transformada wavelet. A detecção ocorre por meio de um pré-processamento que envolve limiarização e segmentação de uma área de interesse, seguido de um método de *Square Difference Matching* entre uma placa padrão e uma placa teste para identificar falhas como ausência ou desalinhamento de componentes.

No trabalho *Automatic Optical Inspection of Printed Circuit Board*, Kunte (2018) apresenta a inspeção de SMD utilizando dados provenientes de uma *Golden board*. Através de uma interface, o usuário seleciona a *Golden board* e as imagens de teste capturadas por uma câmera passam por diversos filtros e etapas de pré-processamento até a fase de comparação. Utilizando o algoritmo *watershed* para estimar as dimensões dos componentes e *threshold* em diferentes espaços de cor. O estudo busca detectar problemas de componente errado, deslocado, ausente ou rotacionado.

Outro trabalho relevante é o de Yang e Tsai (2011), onde propõe uma abordagem de detecção baseada na intensidade de iluminação para inspeção de placas de circuito impresso. O método foca na segmentação de regiões de interesse utilizando uma análise de variação de iluminação, seguida de uma normalização para reduzir o impacto de sombras e brilhos excessivos nas áreas críticas. Após a segmentação, as regiões são comparadas utilizando o método de *Template Matching*, buscando identificar falhas de posicionamento, ausência de componentes e variações de intensidade que possam indicar defeitos.

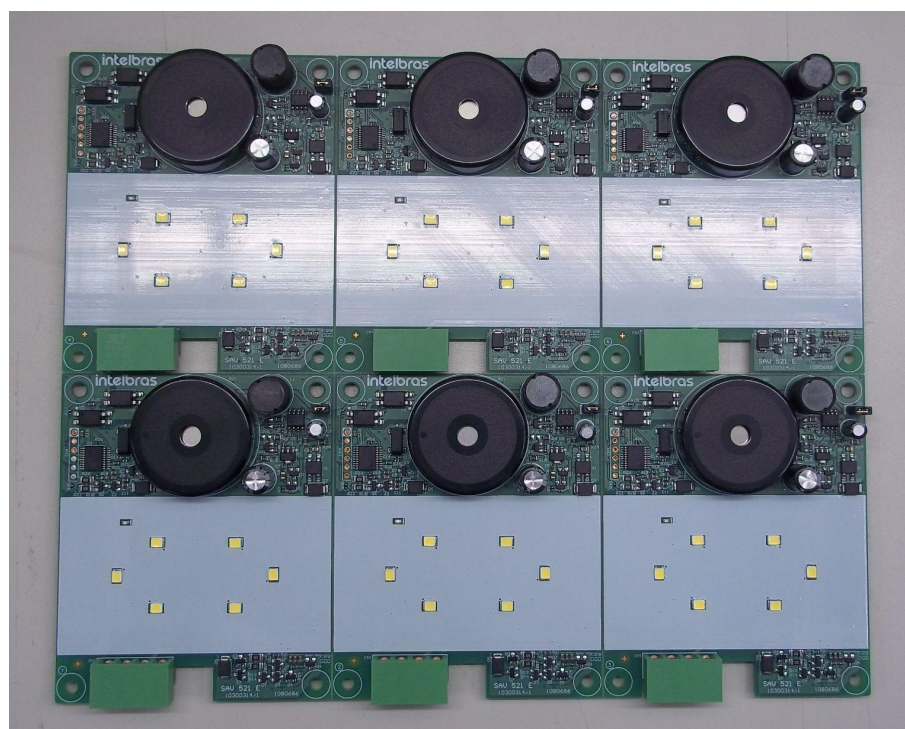
Por fim, cabe destacar que outras referências relevantes foram analisadas para fundamentar as informações deste trabalho. Para um aprofundamento nas questões abordadas, recomenda-se a consulta às bibliografias mencionadas.

3 METODOLOGIA

A tese deste Trabalho de Conclusão de Curso surgiu por uma demanda real observada na linha de produção de Placas de Circuito Impresso. Tal análise desenvolveu-se no decorrer do tempo de estágio no ambiente fabril da Intelbras, nas quais foram observadas as características de uma implementação futura após validação deste trabalho.

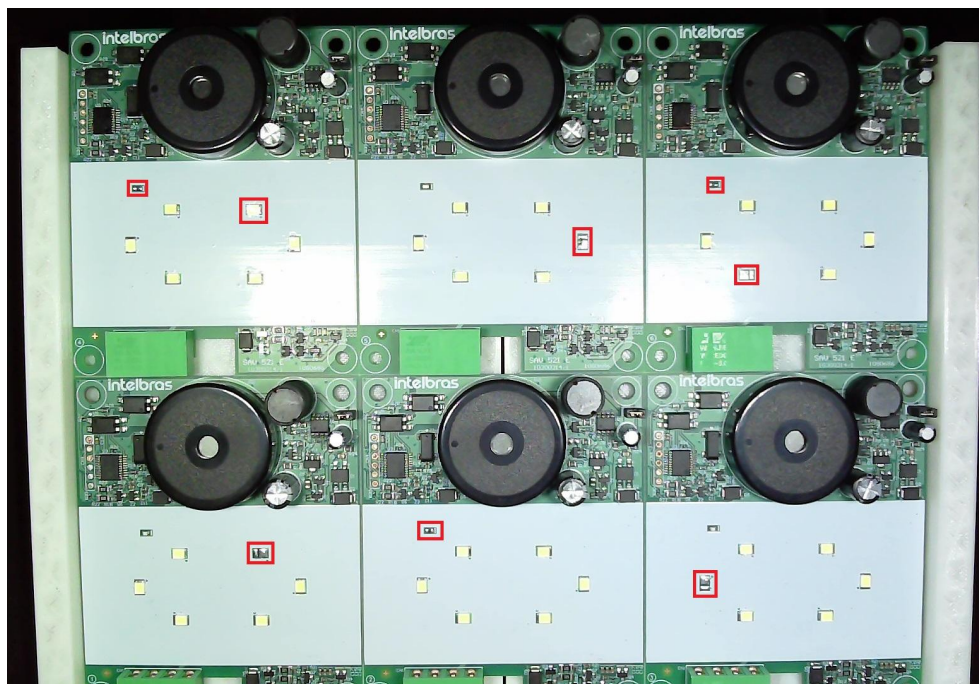
A característica analisada foi de que o operador necessita conferir 6 placas (um painel) ao mesmo tempo de forma manual e essa validação é feita pela checagem dos componentes montados na PCI, cada placa possui 5 componentes PTH (*pin through hole*) e 76 componentes SMD (*surface mount device*). Já a jiga de testes comporta 6 placas (1 painel) por teste o que dá um número de 486 componentes para a verificação antes de iniciar um ciclo de teste. Por ter um número elevado de componentes, o operador, seja ele do setor de teste ou do linha de montagem e soldagem dos componentes, pode deixar passar uma placa (Figura 09 e 10) para a próxima etapa da produção do produto com algum componente faltante.

Figura 09 - Painel de Placas com Componentes



Fonte: do Autor (2025).

Figura 10 - Pannel de Placas com Defeitos (Exemplo)



Fonte: do Autor (2025).

Para garantir a correta inserção de todos os componentes, tanto PTH quanto SMD, a inspeção visual do operador só ocorre no final da linha produtiva, no momento em que são realizados os testes funcionais na própria jiga. Com essa inspeção ocorrendo depois de todo o processo de produção, caso exista algum componente faltante o tempo de retrabalho (operação realizada de forma manual para correção de defeitos) gerado pela falta de componentes é elevado, devido à extração de solda do terminal, solicitação do componente para a inserção e a soldagem manual do componente, seja ele PTH ou SMD. Essa problemática em conjunto com as apresentadas por PRASAD (2013) e WONG (2017), presentes no tópico 2.1.3 deste trabalho, fundamentam a necessidade de um sistema de visão computacional no momento em que a placa for colocada na jiga para o teste, antes de ocorrer o teste.

Em um projeto, uma das etapas fundamentais para o seu desenvolvimento e o das partes que o compõem é a definição dos seus requisitos. Essa etapa envolve a identificação, estudo e documentação das necessidades que o projeto deve atender para resolver um problema em específico ou atender as demandas requisitadas.

Em projetos mecatrônicos, aqueles que combinam *software* e *hardware*, as definições de requisitos é vital para a garantia da integração harmoniosa de ambos sistemas. Sommerville (2015) destaca a importância de requisitos bem definidos para a garantia do

sucesso no desenvolvimento de sistemas, assegurando que o sistema corresponda às dores do usuário e tenha o seu funcionamento confiável. Com esse contexto pode-se dividir os requisitos em:

1. Requisitos Funcionais: Englobam as funções que o sistema deve realizar. Podemos dizer que os requisitos para operação ou as especificações para câmeras são requisitos funcionais.
2. Requisitos Não Funcionais: Este descreve os atributos que o sistema deve possuir. Citando a tolerância a falhas, tempo de operação contínua, modularidade dos componentes e a capacidade do sistema aumentar sua complexidade ou tamanho, como requisitos não funcionais.
3. Requisitos de interface: Detalham como os sistemas interagem entre si e com o ambiente externo. Exemplos como interfaces gráficas ou sinalização luminosa, são exemplos de interfacimento.

3.1 Definição dos requisitos

Abaixo estão explicitados os Requisitos Funcionais (RF):

- RF1: Identificar a presença de componentes SMD e PTH nos painéis de circuito impresso avaliados. Dos possíveis problemas, deve-se indicar a ausência ou presença do componente. Não é do escopo realizar a indicação do tipo de erro ocorrido;
- RF2: O protótipo da jiga deve possuir um interior com uma iluminação constante e variar, de forma manual, de acordo com o operador. Dos possíveis problemas, deve-se variar a iluminação e o sistema mantê-la pelo tempo necessário;
- RF3: O protótipo da jiga deve possuir um gabarito para o acoplamento do painel de placas de circuito impresso. A única referência necessária para a correta identificação dos componentes deve ser advinda pelo gabarito;
- RF4: O *software* desenvolvido deve gerar um relatório no final de cada avaliação indicando quais painéis foram ou não aprovados. Não é do escopo realizar a identificação de quantos ou quais componentes estão com problemas;

Abaixo estão explicitados os Requisitos Não Funcionais (NF):

- NF1: O *software* deve possuir interface simples, fácil utilização, intuitiva e amigável;

- NF2: O padrão do protótipo deve atender e comportar todos os equipamentos que serão empregados no desenvolvimento;

Abaixo estão explicitados os Requisitos de Interface (RI):

- RI1: O receptáculo onde estará instalado a parte elétrica e eletrônica do projeto, deve possuir sinalização para conectado na rede elétrica (led vermelho) e operando (led verde);

3.2 Proposta e Desenvolvimento do *Hardware* do Sistema

Chegamos ao *hardware*, a parte física do trabalho e o receptáculo de toda lógica desenvolvida e abordada ao longo deste TCC. Para melhor entendimento do processo construtivo desse receptáculo, será abordado abaixo de forma sequencial a produção dessa parte mais visível do projeto.

3.2.1 Protótipo da Jiga

Para desenvolvermos o protótipo da jiga, foi primeiro necessário o estudo e coleta de dados da jiga original. Com esses dados coletados, foi possível desenvolver-se um protótipo satisfatório que atendia as demandas dessa pesquisa, como mostra a Figura 11.

Figura 11 - Jiga de teste (linha de produção)



Fonte: do Autor (2025).

Tabela 2 - Informações da Jiga

Informações Coletadas	Dados Obtidos
Dimensões	500x400x130mm
Peso	24,7Kg
Sistema Pneumático	Sim
Automatizado	Sim, utilizando um Arduino

Fonte: do Autor (2025).

Com essas informações adquiridas, foi possível desenvolver e modelar um esboço que fosse capaz de atender essas necessidades, então por meio de alguns testes de posição da câmera e intensidade de iluminação tivemos um protótipo de jiga com as seguintes dimensões: 320x300x510mm. Com essas dimensões estipuladas a realização da modelagem de um CAD 3D no *software* SolidWorks, para projetar a ideia inicial e ter um norte de para o que queríamos de fato neste protótipo.

Então, foi definido que o esboço modelado no SolidWorks teria que atender os requisitos da tabela 3.

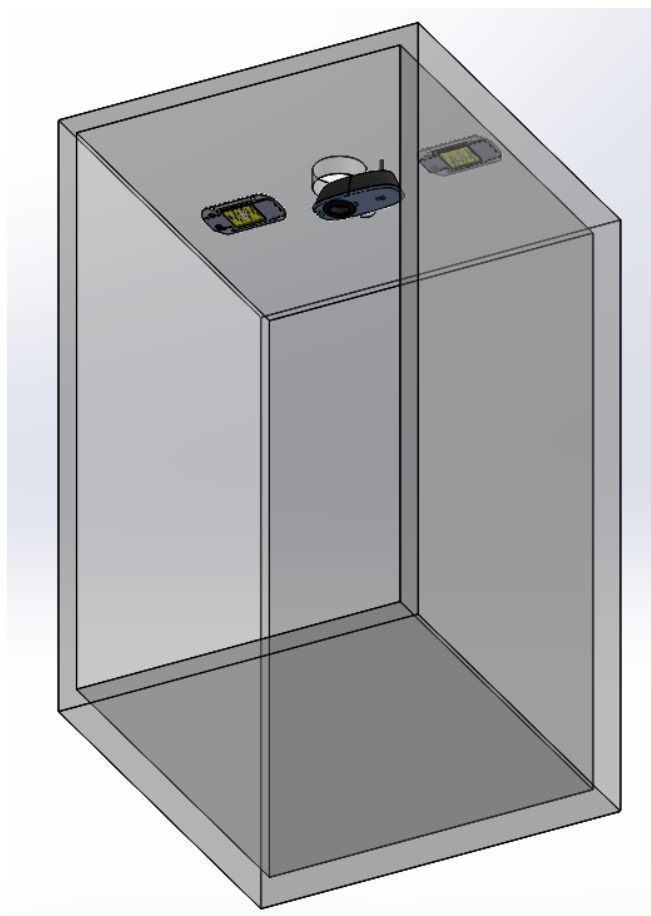
Tabela 3 - Requisito para desenvolver o CAD

Requisito	Valores
Dimensões	320x300x51mm
Material	Acrílico
Espessura da chapa	15mm

Fonte: do Autor (2025).

Com esses requisitos definidos, podemos desenvolver o seu *design* e utilizando de bibliotecas de modelos 3D fornecidos gratuitamente pode-se importar para o *software* CAD o modelo de uma *webcam* e da placa de LED, com isso tem-se uma representação mais fiel ao mundo real como está relatado na Figura 12.

Figura 12 - Protótipo de jiga (Visão baixo direita)



Fonte: do Autor (2025).

Por meio de ferramentas de *computer aided design* (CAD), neste caso o SolidWorks, podemos utilizar e projetar modelos que condizem com a realidade no mundo virtual. E o resultado relatado pela Figura 12 foi muito satisfatório para visualizar a ideia inicial do que é esse protótipo e prever como ele seria.

3.2.2 Suporte gabarito das Placas PCI

Para desenvolvermos o suporte das placas PCI, foi primeiramente necessário a coleta de informações do painel das placas (Figura 08 - a). Com essas informações coletadas, foi possível desenvolver-se um modelo preciso e satisfatório que atendia as demandas dos painéis usados como amostras (tabela 4).

Tabela 4 - Informações do painel

Informações Coletadas	Dados Obtidos
Dimensões	235x190x15mm
Número de Placas por Painel	6 Pacas
Tamanho do furo	4mm

Fonte: do Autor (2025).

Com essas informações adquiridas, tem-se a possibilidade de desenvolver e modelar um esboço que seja capaz de atender essas necessidades dos painéis. Para isso, também fez-se o uso da ferramenta SolidWorks para o modelamento do suporte e ele deveria atender os requisitos da tabela 5.

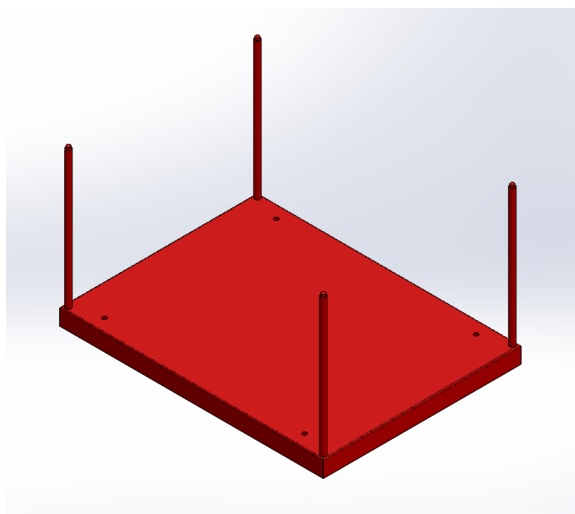
Tabela 5 - Requisitos para a peça

Requisitos	Valores
Dimensões	225x180x125mm
Material	Politereftalato de etileno
Haste de suporte	125mm de altura e 3,5mm de diâmetro

Fonte: do Autor (2025).

Com esses requisitos definidos, pode-se desenvolver um *design* inicial desse suporte. O resultado final da modelagem desse *design* inicial e desenvolvimento do suporte como mostra Figura 13.

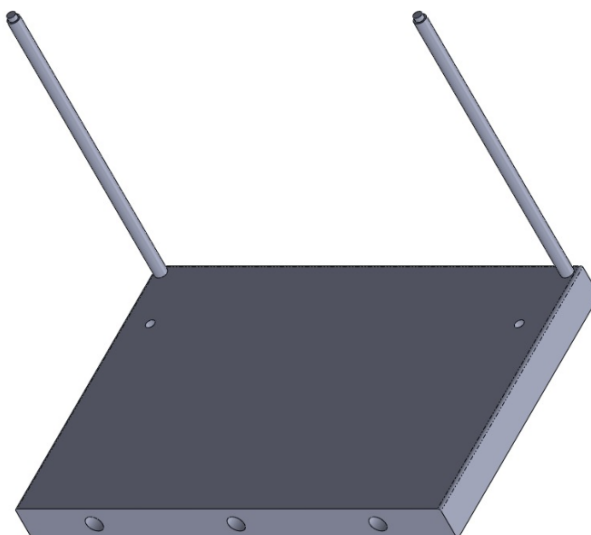
Figura 13 - Suporte gabarito inicial para o painel de placas



Fonte: do Autor (2025).

Como o resultado alcançado pela modelagem 3D da peça inicial foi satisfatório, deve-se prosseguir para a próxima etapa que seria a sua confecção por meio da manufatura aditiva, nesta etapa pode-se utilizar o laboratório do PET - Mecatrônica do IFSC para a impressão da peça. Para realizar a impressão da peça foi necessário dividir ela em dois e criar pinos de ancoragem (Figura 14), pois o comprimento de 225mm da peça final não era suportado pela impressora 3D do PET.

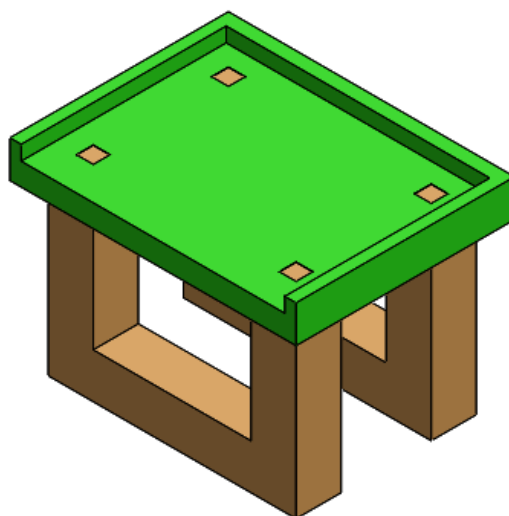
Figura 14 - Adaptação para impressão da peça



Fonte: do Autor (2025).

Com essas peças em mãos foram realizados alguns ajustes dimensionais e de *design* nas peças já fabricadas e após alguns testes práticos, foi desenvolvida mais uma versão mais aprimorada desse suporte, apresentada na Figura 15.

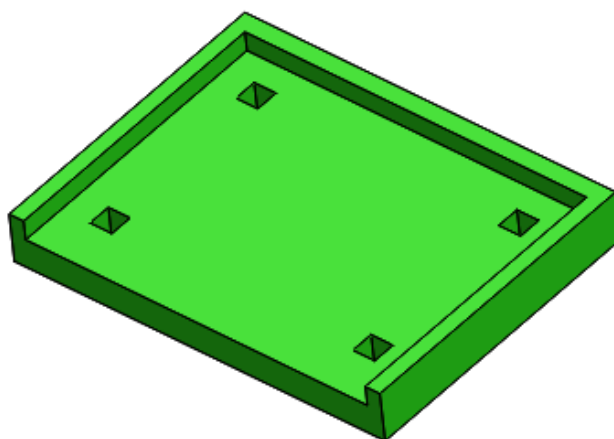
Figura 15 - Suporte gabarito final para o painel de placas



Fonte: do Autor (2025).

Essa versão conta com um gabarito mais eficiente, como mostra a Figura 16.

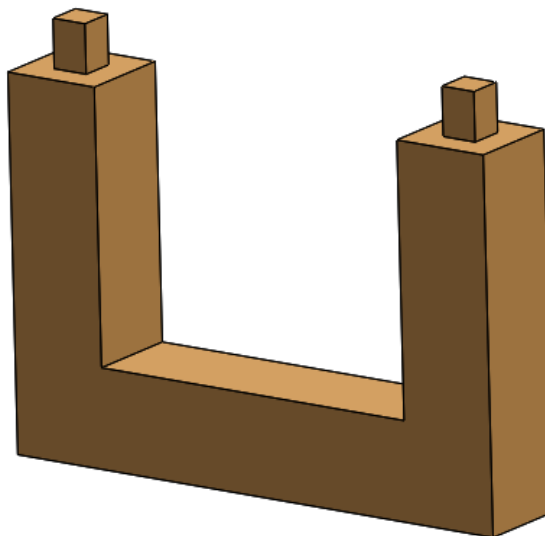
Figura 16 - Gabarito versão final



Fonte: do Autor (2025).

E com suportes para o gabarito mais robustos e maiores tanto em altura quanto em largura, apresentada na Figura 17.

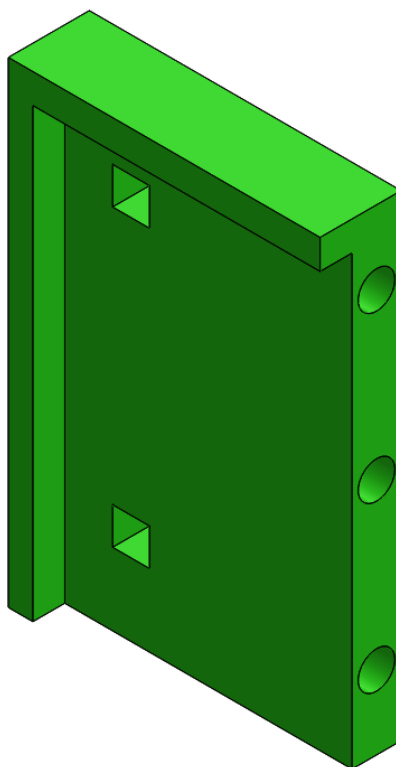
Figura 17 - Suporte para o gabarito final



Fonte: do Autor (2025).

Seguindo o padrão do desenvolvimento do Suporte gabarito inicial, obteve-se um resultado pela modelagem 3D da peça final satisfatório, dessa forma prosseguindo para a etapa da sua confecção por meio da manufatura aditiva, nesta etapa fez-se a utilização do laboratório do PET - Mecatrônica do IFSC para a impressão da peça novamente. Como no caso anterior para a realização da impressão da peça foi necessário dividir ela em dois e criar pinos de ancoragem, pois o comprimento de 225mm da peça final não era suportado pela impressora 3D, como mostra a Figura 18.

Figura 18 - Adaptação para impressão do gabarito final

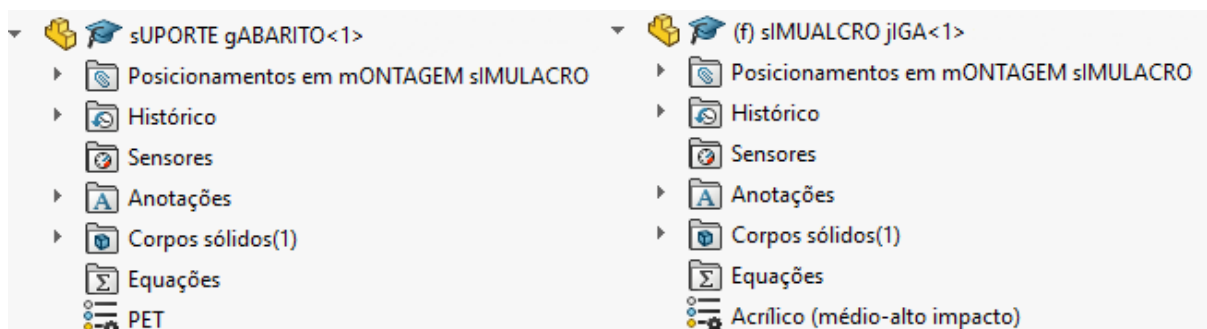


Fonte: do Autor (2025).

3.2.3 Montagem do protótipo de jiga com o suporte da placa

Tendo desenvolvido o modelo CAD do protótipo da jiga e o modelo CAD do suporte das placas, podemos realizar uma montagem dessas peças e observar a projeção do resultado, destacado na Figura 19.

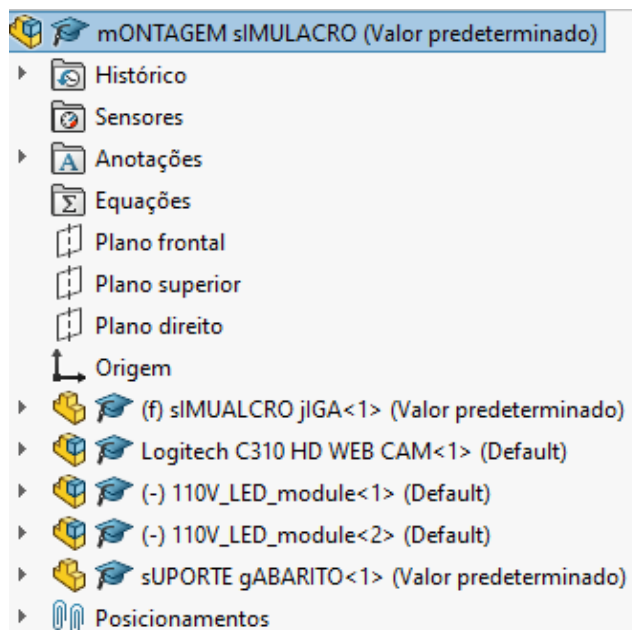
Figura 19 - Detalhes das peças desenvolvidas



Fonte: do Autor (2025).

Para a montagem final de peças desenvolvidas e peças importadas das bibliotecas de modelos 3D, a Figura 20 mostra a configuração.

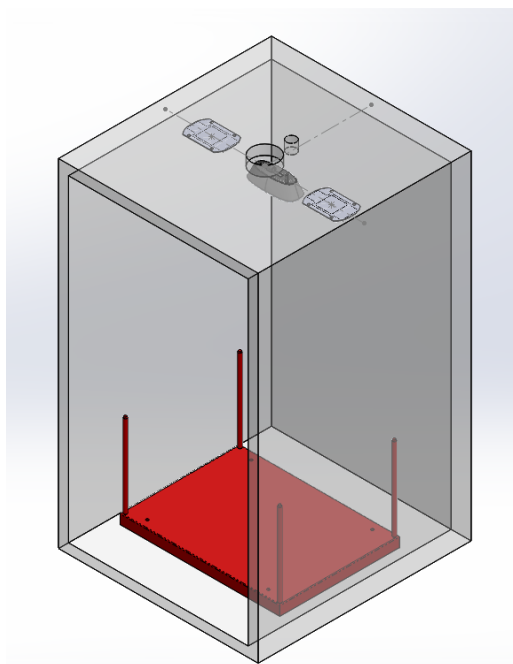
Figura 20 - Montagem do protótipo no CAD



Fonte: do Autor (2025).

A Figura 21 mostra como ficou a montagem parcial com o suporte gabarito inicial.

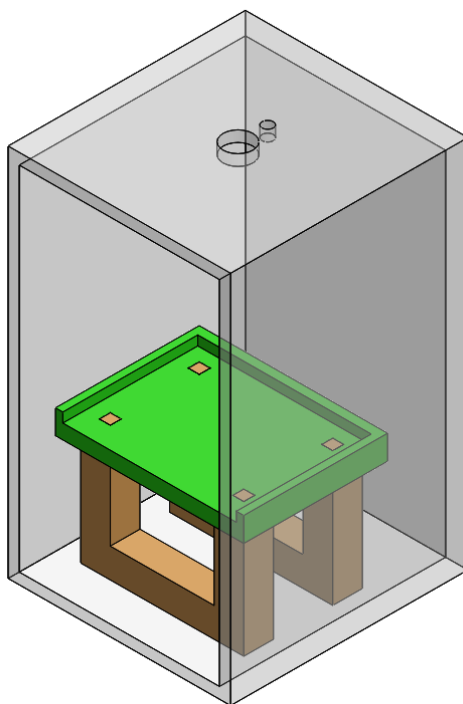
Figura 21 - Montagem parcial do protótipo



Fonte: do Autor (2025).

A Figura 22 mostra como ficou a montagem final, incluindo todos os CADs do projeto em uma única montagem.

Figura 22 - Vista da montagem final do protótipo



Fonte: do Autor (2025).

3.2.4 Alimentação e Circuito dos LED

Para o sistema de iluminação, que siga os critérios do tópico 2.2.1, do interior do protótipo foi desenvolvido um circuito para o seu funcionamento e alimentação. Para a parte do funcionamento e controle de intensidade foram necessários os componentes exibidos na tabela 6.

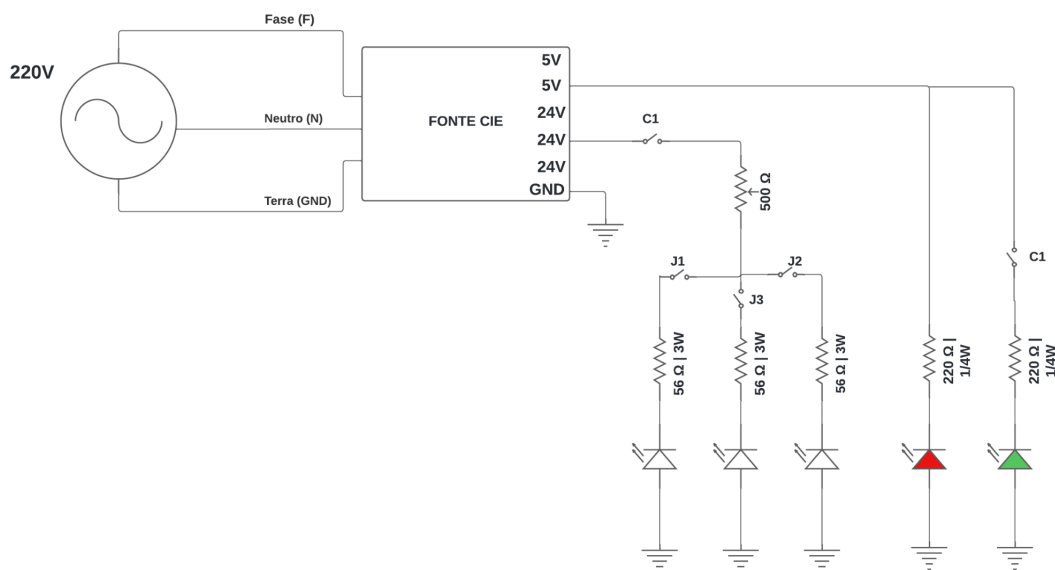
Tabela 6 - Principais componentes

Componente	Descrição
3x Resistor de 56 ohms 3W	Resistor de potência
1x Chave on/off	Ligar e Desligar a iluminação interna
1x Led verde	Indicar o funcionamento interno da iluminação
1x Led vermelho	Indicar a conexão com a rede elétrica
1x Fonte CIE	Fonte de alimentação
1x Potenciômetro	Resistor variável

Fonte: do Autor (2025).

Com os componentes citados na tabela 6, também foram utilizados termoretráteis, pinos, terminais e uma placa padrão. Com os componentes disponíveis e com o auxílio de um esquemático de circuito previamente calculado e desenhado (Figura 23), é possível iniciar a montagem do circuito

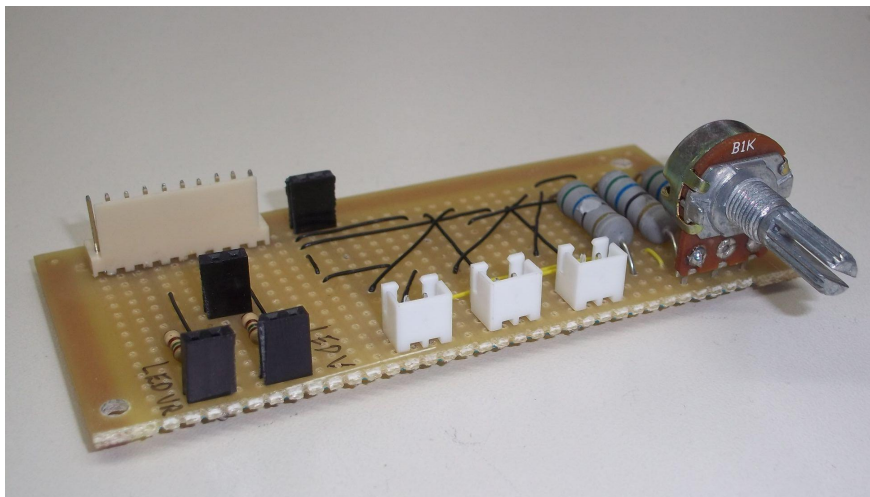
Figura 23 - Circuito



Fonte: do Autor (2025).

Com tudo em mãos, foi realizada a soldagem desses componentes na placa padrão e realizar testes. A Figura 24 mostra o resultado final.

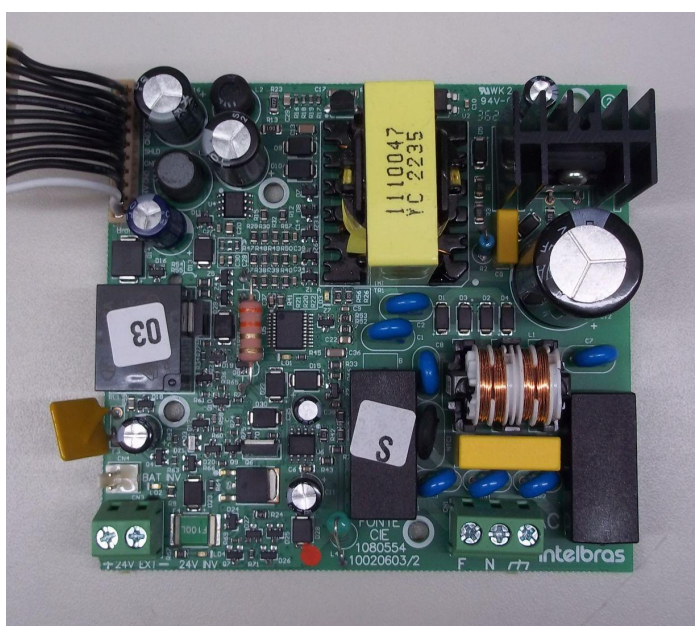
Figura 24 - Placa finalizada



Fonte: do Autor (2025).

A parte da alimentação ficou por conta da placa fonte da CIE (central de alarme e incêndio) (Figura 25), onde foi feito o uso das suas valências, integrando-a ao projeto. Essa placa pode ser ligada em 220V e em sua saída é capaz de fornecer 3 canais com 24V e 2 canais com 5V, sendo excelente para o que o nosso projeto necessita.

Figura 25 - Fonte CIE



Fonte: do Autor (2025).

3.2.5 Webcam

O dispositivo que foi empregado neste trabalho foi uma *webcam* FULL HD (CAM-1080P) (Figura 26). Esta *webcam* conta com imagens de alta qualidade com resoluções FULL HD (1080p), oferecendo vídeos mais nítidos e cores mais intensas, tendo sua imagem processada e balanceada.

Figura 26 - Dispositivo de vídeo



Fonte: Intelbras (2025).

3.3 Proposta e Desenvolvimento do *Software* do Sistema

Neste item são abordadas as ferramentas que foram utilizadas para o desenvolvimento do sistema de visão proposto neste trabalho. O detalhamento da interface, dos algoritmos desenvolvidos e implementados, do ambiente de desenvolvimento e o *software* desenvolvido.

3.3.1 Ambiente de Desenvolvimento

Visando o desenvolvimento do *software*, faz-se necessário o uso de ferramentas de desenvolvimento que propiciem as condições para a elaboração de interfaces de usuário e o algoritmo para o processamento de imagens digitais. Para o *Integrated Development Environment* (IDE) (ambiente de desenvolvimento integrado) foi definido o Microsoft Visual Studio.

O Visual Studio (VS) foi desenvolvido para ser um ambiente de desenvolvimento rápido de aplicações (RAD), oferecendo diversas ferramentas indispensáveis para a criação ágil de *softwares* robustos. Entre essas ferramentas, destacam-se o depurador (*debug*), que auxilia na identificação e correção de erros. Além de outras ferramentas, o Visual Studio permite a construção de algoritmos em várias linguagens, como o C, C++, C# e Python. Isso é especialmente importante para o uso de bibliotecas de desenvolvimento, como a OpenCV.

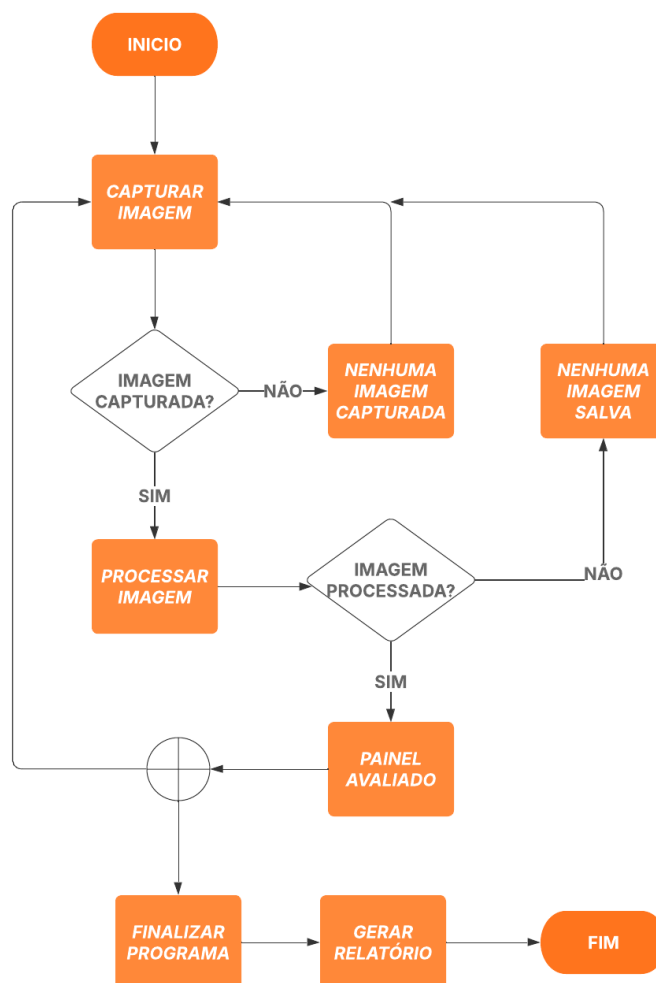
A *Open Source Computer Vision Library* (OpenCV) é uma biblioteca de código aberto voltada para *softwares* de visão computacional e aprendizado de máquina (OpenCV, 2025, ONLINE). Como sua licença segue o modelo de *Berkeley Software Distribution* (BSD), ela pode ser utilizada para desenvolvimentos com fins comerciais. De acordo com o site oficial da OpenCV, a biblioteca conta com mais de 2.500 algoritmos otimizados para visão computacional, abrangendo desde algoritmos clássicos até os mais avançados e de aprendizado de máquina.

Como o *software* foi desenvolvido com a linguagem de programação Python é fundamental que a OpenCV possua integração com essa linguagem. Isso é viabilizado através da biblioteca cv2, que funciona como uma interface para a OpenCV em Python, permitindo o uso de suas funções de visão computacional e aprendizado de máquina.

3.3.2 Descrição Geral do *Software*

Com a coleta dos requisitos de projeto necessários e o estabelecimento das ferramentas que viabilizam a construção do sistema, foi realizado um estudo e definidas as etapas que o *software* deveria seguir para compreender para que o usuário realize a inspeção de maneira rápida, intuitiva e eficiente. O fluxo que representa a lógica para a utilização do *software* está representado na Figura 27.

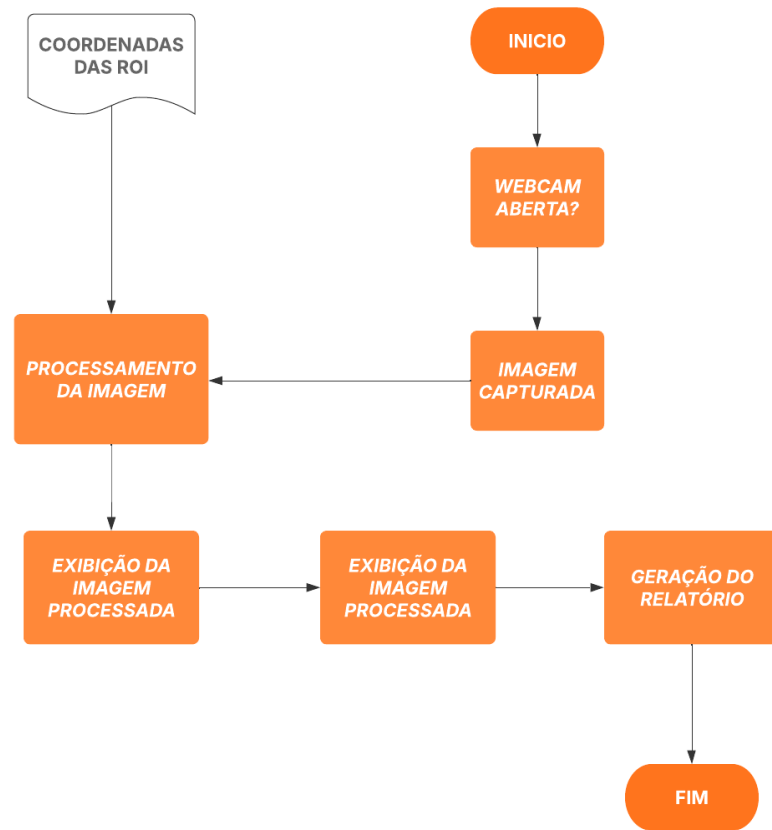
Figura 27 - Fluxograma Utilização do Software



Fonte: do Autor (2025).

Ao iniciar o programa o sistema verifica se a *webcam* está funcionando corretamente, ao realizar essa verificação o usuário pode capturar a imagem e ela é salva no dispositivo. Com a imagem salva o programa verifica a existência dos arquivos de coordenadas necessários para a criação das regiões de interesse, caso esses arquivos não sejam encontrados o processo é interrompido e retorna a uma mensagem de erro. Com essas regiões definidas, a realização da avaliação dos painéis é iniciada, caso a intensidade luminosa esteja dentro do limite definido o painel é aprovado, caso esteja fora do limite aceitável o painel é reprovado. Por fim, ao finalizar o programa o usuário recebe um relatório consolidado com os resultados das avaliações dos painéis. O fluxo que representa o processo descrito está representado na Figura 28.

Figura 28 - Fluxograma Resumido

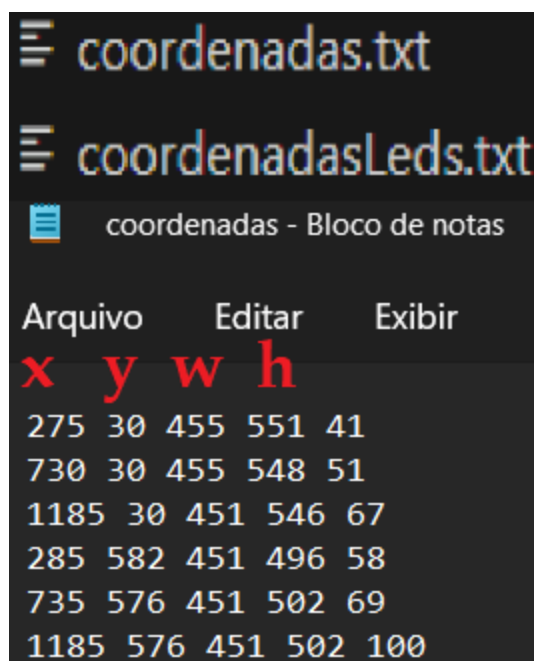


Fonte: do Autor (2025).

3.3.3 Sistema de Avaliação de Paineis

Para o sistema de avaliação dos painéis, em específico as regiões de interesse (ROI) utilizamos coordenadas fixas (x, y, w, h), que estão em arquivos .txt, na imagem capturada do painel. A Figura 29 exibe os arquivos.

Figura 29 - Arquivos das Coordenadas ROI

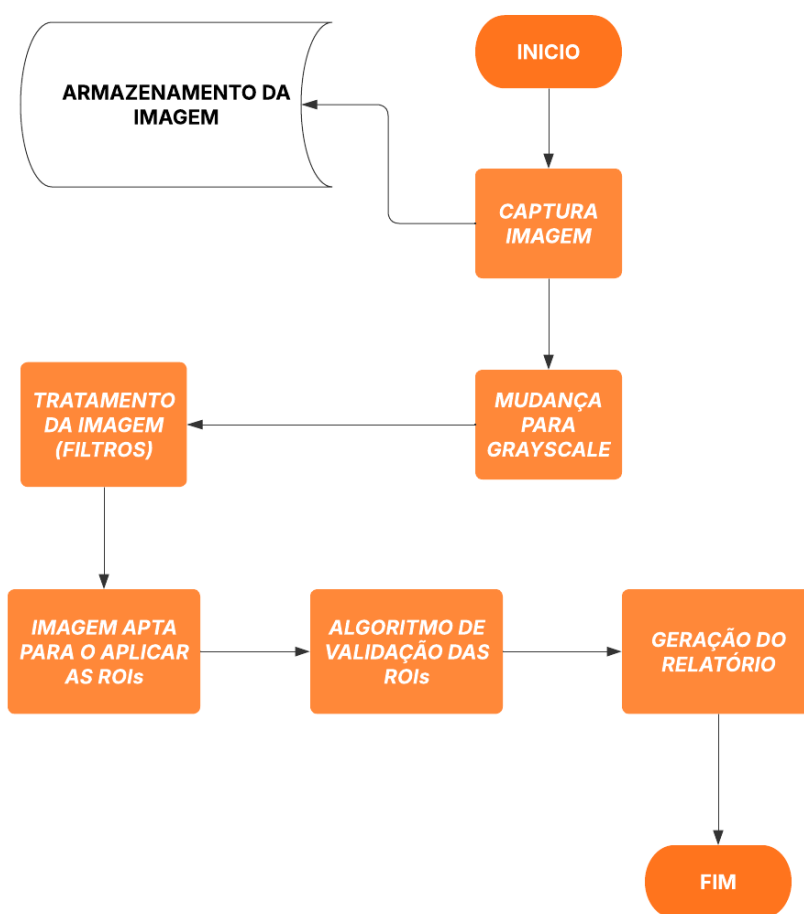


Fonte: do Autor (2025).

As informações de coordenadas foram divididas em duas, pois os componentes LED SMD tem uma dinâmica diferente dos demais. Eles possuem uma média de luminosidade maior com os componentes presentes na placa do que com a ausência dos mesmos.

Com as regiões de interesse definidas, partimos para o processo de captura da imagem e o armazenamento da mesma no disco. Com essa imagem (Figura 08 - a e b) em mãos, mudamos para a *Grayscale* e aplicamos filtros para o tratamento da imagem e obter uma linearidade nos valores de luminosidade, dessa forma a imagem fica apta para a aplicação das regiões de interesse como mostra a Figura 30.

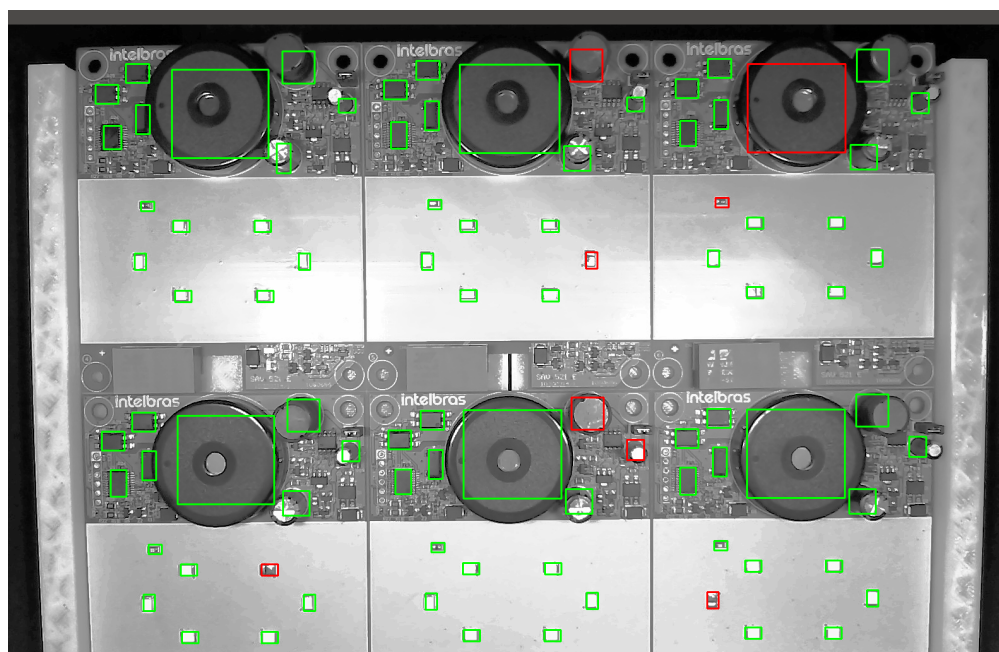
Figura 30- Fluxograma Processamento de Imagens



Fonte: do Autor (2025).

O resultado desse fluxograma da Figura 30 é representado na Figura 31, após todas as etapas do fluxograma.

Figura 31 - Imagem do Painel com as ROI



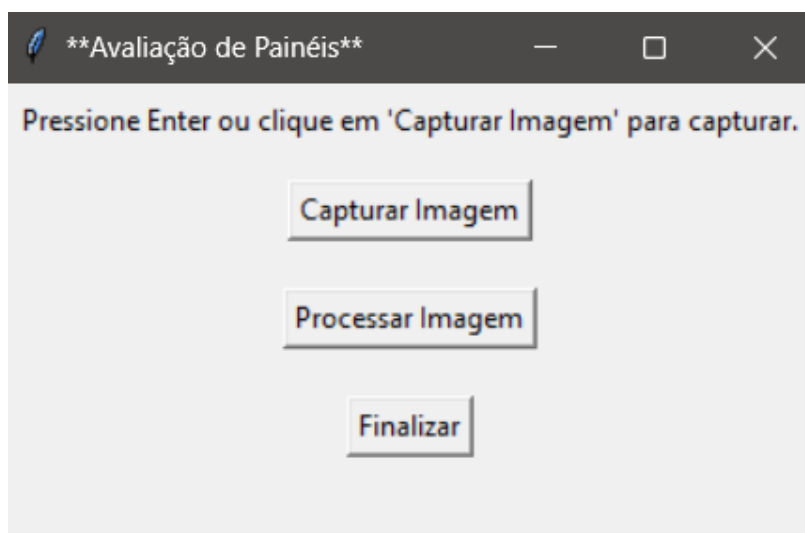
Fonte: do Autor (2025).

Como visto na Figura 31, cada componente de interesse possui um retângulo em sua posição (seguindo os arquivos de coordenada) e a sua coloração representa a ausência ou não do componente, sendo “Verde” com componente e “Vermelho” sem componente. Sendo o cálculo da intensidade média de luminosidade o que define a presença ou não de componente na ROI.

3.3.4 Interface do Usuário

A tela inicial ao executar o programa é uma simples interface para o usuário conseguir operar de forma fácil e intuitiva. A Figura 32 expõe como essa interface se apresenta para o usuário.

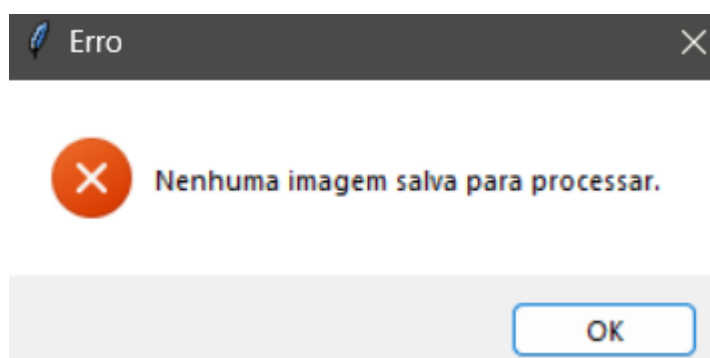
Figura 32- Interface



Fonte: do Autor (2025).

Por tratar-se de um trabalho com intuito de validar uma tese, não foi explorado com mais afinco o desenvolvimento da interface para a utilização do programa. Mas a interface possui todas as ferramentas necessárias para a utilização do *software* e atendendo um dos requisitos não funcionais. A Figura 33 representa uma das mensagens de erro quando o usuário utiliza o programa de forma errada.

Figura 33 - Mensagem de Erro

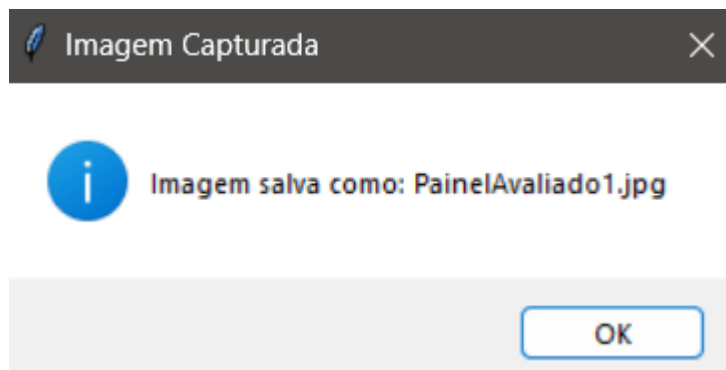


Fonte: do Autor (2025).

As mensagens de erros atendem os seguintes possíveis erros: “Erro ao acessar a *webcam*” esse erro acontece pela *webcam* não estar conectada, não estar ligada ou não estar funcionando corretamente; “Nenhuma imagem salva para processar” esse erro acontece quando o usuário clicar em “Processar Imagem” (Figura 32) mas não tem nenhuma imagem capturada pelo sistema nesse ciclo de execução.

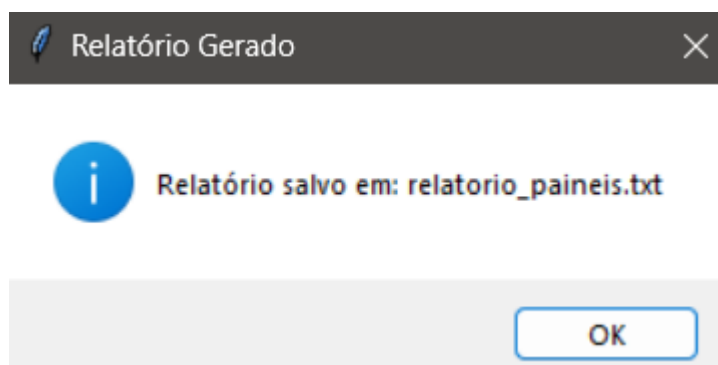
Além das mensagens de erro, o sistema retorna notificações de que as solicitações do usuário foram atendidas de forma correta, as Figuras 34 e 35 exibem essas mensagens.

Figura 34 - Captura de Imagem



Fonte: do Autor (2025).

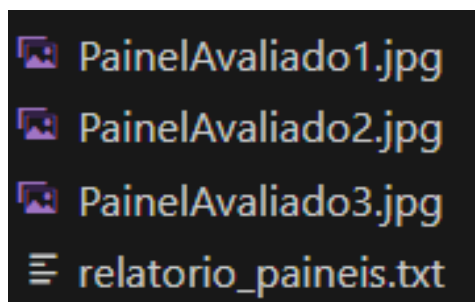
Figura 35 - Geração de Relatório



Fonte: do Autor (2025).

Com essas mensagens o usuário consegue identificar qual o painel está sendo capturada a imagem para a avaliação (Figura 34) e quando clicar em “Finalizar” a mensagem da Figura 35 exibe que o relatório foi feito e salvo com sucesso. A Figura 36 mostra como fica o ambiente em que estão armazenadas as imagens salvas e o relatório gerado.

Figura 36 - Ambiente de Armazenamento



Fonte: do Autor (2025).

Com isso o usuário além de ter acesso ao relatório em .txt ele tem a foto capturada de cada painel que foi avaliado durante o ciclo de inspeção das placas.

3.3.5 Experimentos e Definição da Média de Luminosidade

É importante destacar que a metodologia aplicada para a definição da média de luminosidade foi na base de testes entre painéis com componentes e sem componentes, seguindo o tópico 2.2.4. Os valores obtidos dentro de 5 testes em 5 painéis diferentes resultaram em 25 valores de luminosidade para o cálculo do valor médio de cada componente de cada placa de cada painel.

Para os experimentos, como dito anteriormente, tivemos 5 painéis e realizamos 5 testes em cada painel (Figura 08 - a), cada painel tem 6 placas distintas e 10 componentes diferentes que correspondem a 15 áreas de interesse, são eles:

1. LED de Comunicação;
2. LED de Iluminação 1;
3. LED de Iluminação 2;
4. LED de Iluminação 3;
5. LED de Iluminação 4;
6. LED de Iluminação 5;
7. LED de Iluminação 6;
8. Buzzer;
9. Capacitor Pequeno;
10. Capacitor Grande;
11. Indutor;
12. MicroControlador;
13. Circuito Integrado 1;
14. Circuito Integrado 2;
15. Circuito Integrado 3.

Dessa forma temos 90 componentes por painel, utilizados para definir as regiões de interesse do painel, podendo-as classificar entre diferentes classes como “Com Componente” e “Sem Componente” por teste, após os 5 testes temos 450 valores de

classificações entre essas duas classes. Vale ressaltar que cada painel usado para os testes eram idênticos, alterando apenas os componentes faltantes.

3.3.6 Experimentos para Coleta de Dados para Matriz de Confusão

Com a definição do limiar de cada ROI, podemos identificar cada ROI como “Com Componente” (correspondente a V) e “Sem Componente” (correspondente a VF), a tabela 7 mostra como ficou o resultado desses testes.

Tabela 7 - Exemplo de Teste por Painel

Painel 1 - Teste 1						
Componente	1	2	3	4	5	6
LED COM.	V	V	V	V	V	V
LED ILUM. 1	V	V	V	V	V	V
LED ILUM. 2	V	V	V	V	V	V
LED ILUM. 3	V	V	V	V	V	V
LED ILUM. 4	V	V	V	V	V	V
LED ILUM. 5	V	V	V	V	V	V
LED ILUM. 6	V	V	V	V	V	V
BUZZER	V	V	V	V	V	V
CAPACITOR P	V	V	V	V	V	V
CAPACITOR G	V	V	V	V	V	V
INDUTOR	V	V	V	V	V	V
MCU	V	V	V	V	V	V
CI 1	V	V	V	V	V	V
CI 2	V	V	V	V	V	V
CI 3	V	V	V	V	V	V

Fonte: do Autor (2025).

Com esses valores da tabela 7, podemos segregar por componentes e montar a matriz de confusão de cada componente de cada painel. A tabela 8, por exemplo, mostra como ficou o resultado dos 5 testes da placa 4, resultando no valor de 25 classificações distribuídas em 4 classificações (seção 2.3).

Tabela 8 - Exemplo da Matriz de Confusão Montada

		Valores Previstos - Placa 4	
		C. LED COM.	S. LED COM.
Valores Verdadeiros	C. LED COM.	15	5
	S. LED COM.	0	5

Fonte: do Autor (2025).

Por fim, por se tratarem do mesmo componente replicado 6 vezes no mesmo painel somaremos os valores para realizar a montagem final das matrizes de confusão.

Tabela 9 - Exemplo da Matriz Final

		Valores Previstos	
		C. LED COM.	S. LED COM.
Valores Verdadeiros	C. LED COM.	95	5
	S. LED COM.	12	38

Fonte: do Autor (2025).

3.4 Integração

A integração é a fase final, na qual o *hardware* e o *software* são integrados em um sistema único e coeso. O hardware inclui todos os componentes físicos, desde a estrutura da jiga até os circuitos de iluminação interna. O software, por sua vez, abrange todos os programas e códigos desenvolvidos para o projeto. A união bem-sucedida desses dois elementos garante o funcionamento harmonioso e a funcionalidade completa do sistema proposto.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

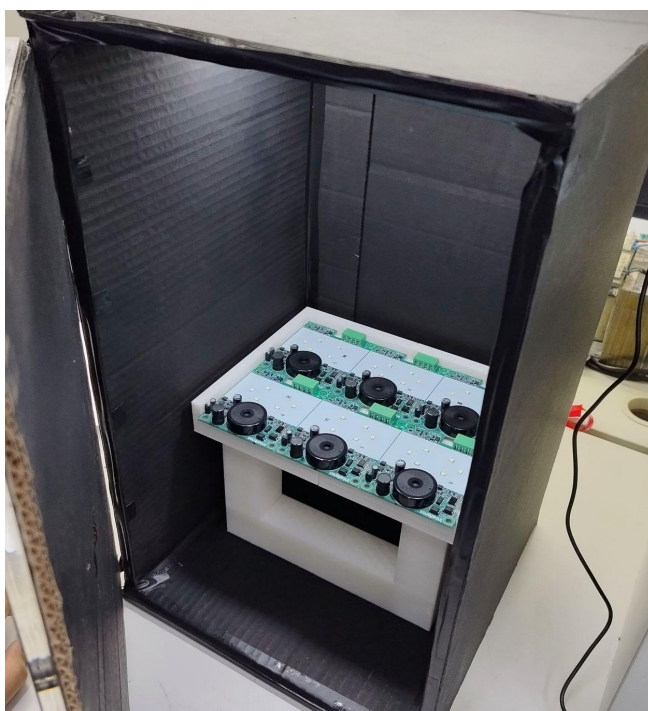
Nesta seção serão expostos os resultados atingidos a partir do desenvolvimento e validação do projeto para a avaliação de placas PCI em painéis. A exposição e a análise dos resultados da pesquisa almeja verificar a possibilidade da implementação em uma linha de produção.

Inicialmente serão abordados os resultados do desenvolvimento do *hardware*: que incluem o desenvolvimento do protótipo da jiga, gabarito para os painéis e parte elétrica. Logo após, serão tratados os resultados correspondentes ao desenvolvimento do *software*. Por fim, trataremos da integração entre o *hardware* e o *software* desenvolvido e como ele desempenhou.

4.1 Hardware

O *hardware* que foi desenvolvido, como dito acima, inclui a simulação da jiga, o gabarito para os painéis e a elétrica da iluminação interna. A Figura 37 mostra o resultado do protótipo da jiga, que atende os requisitos de projeto da tabela 02.

Figura 37 - Protótipo da Jiga construído



Fonte: do Autor (2025).

Além dos requisitos da tabela 02, o interior foi coberto com um material reciclado e pintado de preto para uma maior segurança no ambiente de monitoramento da placa, evitando reflexos e deixando o ambiente com uma iluminação melhorada. A Figura 38 exibe como ficou a lateral do protótipo.

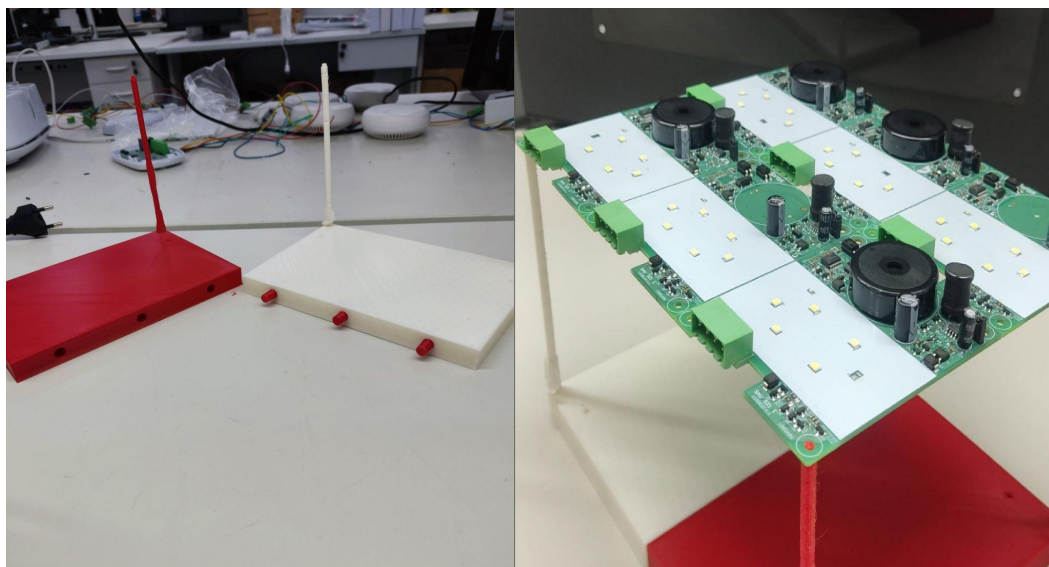
Figura 38 - Lateral do Protótipo



Fonte: do Autor (2025).

Já a Figura 39, trata-se do resultado da primeira confecção por meio de manufatura aditiva do gabarito seguindo os requisitos da tabela 04. Essa primeira confecção deu errado, pois os suportes da placa ficaram muito instáveis, não mantendo a posição necessária para o gabarito ser eficiente.

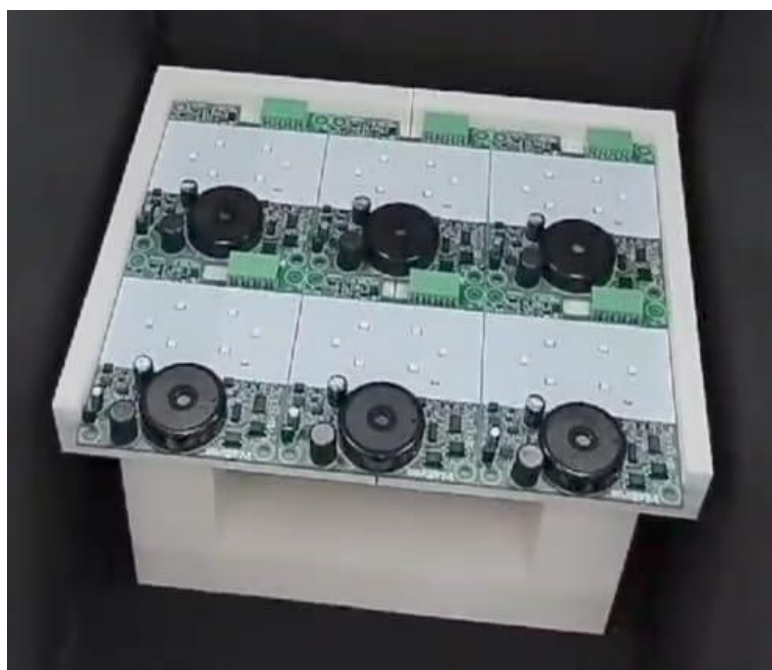
Figura 39 - 1º Gabarito impresso



Fonte: do Autor (2025).

Na segunda confecção, seguindo os moldes da segunda modelação (Figura 15) foi mais estável e robusta, atendendo ao que foi proposto. A Figura 40 mostra como ficou o resultado da peça impressa.

Figura 40 - 2º Gabarito impresso



Fonte: do Autor (2025).

Quando falamos da iluminação, já foi apresentado o resultado final da placa na Figura 24 e a placa que foi integrada para alimentação do sistema na Figura 25. Porém, para não deixar nenhuma das placas expostas foi adaptado uma *case* para essas placas, a Figura 41 apresenta o resultado.

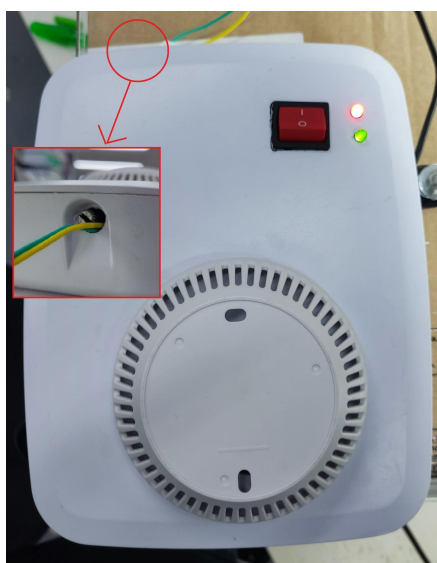
Figura 41 - Case de iluminação aberta



Fonte: do Autor (2025).

Vale ressaltar a modularidade adquirida no sistema como um todo, praticamente *plug in play*. A Figura 42 é a *case* (fechada) de iluminação com um destaque para o potenciômetro que ajusta a potência de iluminação.

Figura 42 - Case de iluminação fechada



Fonte: do Autor (2025).

4.2 Software

Agora, abordando o *software* utilizaremos as métricas estabelecidas no tópico 2.3 para a discussão dos resultados obtidos que foram descritos no tópico 3.3.5.

4.2.1 Avaliação do Componente: LED de Comunicação

O componente LED de Comunicação é o componente que corresponde a comunicação do dispositivo com os outros dispositivos da linha de incêndio, ele é o menor componente da PCI. A tabela 10 corresponde ao resultado da construção da montagem da matriz de confusão.

Tabela 10 - Matriz de Confusão | LED de Comunicação

		Valores Previstos	
		C. LED COM.	S. LED COM.
Valores Verdadeiros	C. LED COM.	95	5
	S. LED COM.	12	38
Acurácia:		89%	
Recall:		95%	
Precisão:		89%	

Fonte: do Autor (2025).

4.2.2 Avaliação do Componente: LED de Iluminação

O componente LED de Iluminação é o componente que corresponde a parte da sinalização visual do dispositivo. Possuindo 6 LED por placa e 36 LED por painel, ele é o componente com maior número de repetibilidade no sistema. A tabela 11 corresponde ao resultado da construção da montagem da matriz de confusão.

Tabela 11 - Matriz de Confusão | LED de Iluminação

		Valores Previstos	
		C. LED ILUM.	S. LED ILUM.
Valores Verdadeiros	C. LED ILUM.	662	23
	S. LED ILUM.	0	215
Acurácia:		97%	
Recall:		97%	
Precisão:		100%	

Fonte: do Autor (2025).

4.2.3 Avaliação do Componente: Buzzer

O componente Buzzer é o componente que corresponde a parte da sinalização auditiva do dispositivo. Possuindo 1 Buzzer por placa e 6 Buzzer por painel, ele é o componente de maior tamanho dos painéis. A tabela 12 corresponde ao resultado da construção da montagem da matriz de confusão.

Tabela 12 - Matriz de Confusão | Buzzer

		Valores Previstos	
		C. BUZZER	S. BUZZER
Valores Verdadeiros	C. BUZZER	90	5
	S. BUZZER	0	55
Acurácia:		97%	
Recall:		95%	
Precisão:		100%	

Fonte: do Autor (2025).

4.2.4 Avaliação do Componente: Capacitor Pequeno

O componente Capacitor Pequeno é o componente que auxilia na parte da alimentação da PCI, armazenando e liberando energia quando necessário. Possuindo 1 Capacitor pequeno por placa e 6 Capacitores pequenos por painel, ele é o componente PTH de menor tamanho. A tabela 13 corresponde ao resultado da construção da montagem da matriz de confusão.

Tabela 13 - Matriz de Confusão | Capacitor Pequeno

		Valores Previstos	
		C. CAPACITOR P	S. CAPACITOR P
Valores Verdadeiros	C. CAPACITOR P	102	3
	S. CAPACITOR P	0	45
Acurácia:		98%	
Recall:		97%	
Precisão:		100%	

Fonte: do Autor (2025).

4.2.5 Avaliação do Componente: Capacitor Grande

O componente Capacitor Grande é o componente que auxilia na parte da alimentação da PCI, armazenando e liberando energia quando necessário. Possuindo 1 Capacitor grande por placa e 6 Capacitores grande por painel, ele é o componente que auxilia na sinalização visual do dispositivo. A tabela 14 corresponde ao resultado da construção da montagem da matriz de confusão.

Tabela 14 - Matriz de Confusão | Capacitor Grande

		Valores Previstos	
		C. CAPACITOR G	S. CAPACITOR G
Valores Verdadeiros	C. CAPACITOR G	105	0
	S. CAPACITOR G	0	45
Acurácia:		100%	
Recall:		100%	
Precisão:		100%	

Fonte: do Autor (2025).

4.2.6 Avaliação do Componente: Indutor

O componente Indutor é o componente que auxilia na proteção do Buzzer da PCI, evitando variações bruscas de corrente. Possuindo 1 Indutor por placa e 6 Indutores por painel, ele é o segundo maior componente PTH da PCI. A tabela 15 corresponde ao resultado da construção da montagem da matriz de confusão.

Tabela 15 - Matriz de Confusão | Indutor

		Valores Previstos	
		C. INDUTOR	S. INDUTOR
Valores Verdadeiros	C. INDUTOR	98	7
	S. INDUTOR	0	45
Acurácia:		95%	
Recall:		93%	
Precisão:		100%	

Fonte: do Autor (2025).

4.2.7 Avaliação do Componente: Microcontrolador

O microcontrolador é o componente que opera toda a lógica por trás do funcionamento do dispositivo, controlando o sistema eletrônico, comunicação e sinalização audiovisual. Possuindo 1 MCU por placa e 6 MCU por painel, trata-se de um componente vital para o operacional da PCI. A tabela 16 corresponde ao resultado da construção da montagem da matriz de confusão.

Tabela 16 - Matriz de Confusão | MCU

		Valores Previstos	
		C. MCU	S. MCU
Valores Verdadeiros	C. MCU	115	0
	S. MCU	0	35
Acurácia:		100%	
Recall:		100%	
Precisão:		100%	

Fonte: do Autor (2025).

4.2.8 Avaliação do Componente: Circuito Integrado 1

O Circuito Integrado 1, ou CI 1, é um componente de acoplamento que isola circuitos elétricos da PCI, permitindo a transmissão de sinais sem contato físico. Possuindo 1 CI 1 por placa e 6 CI 1 por painel, trata-se de um componente de proteção para o microcontrolador. A tabela 17 corresponde ao resultado da construção da montagem da matriz de confusão.

Tabela 17 - Matriz de Confusão | Circuito Integrado 1

		Valores Previstos	
		C. CI 1	S. CI 1
Valores Verdadeiros	C. CI 1	115	0
	S. CI 1	0	35
Acurácia:		100%	
Recall:		100%	
Precisão:		100%	

Fonte: do Autor (2025).

4.2.9 Avaliação do Componente: Circuito Integrado 2

O Circuito Integrado 2, ou CI 2, é um componente de acoplamento que isola circuitos elétricos da PCI, permitindo a transmissão de sinais sem contato físico. Possuindo 1 CI 2 por placa e 6 CI 2 por painel, trata-se de um componente de proteção para de componentes de baixa tensão da PCI. A tabela 18 corresponde ao resultado da construção da montagem da matriz de confusão.

Tabela 18 - Matriz de Confusão | Circuito Integrado 2

		Valores Previstos	
		C. CI 2	S. CI 2
Valores Verdadeiros	C. CI 2	115	0
	S. CI 2	0	35
Acurácia:		100%	
Recall:		100%	
Precisão:		100%	

Fonte: do Autor (2025).

4.2.10 Avaliação do Componente: Circuito Integrado 3

O Circuito Integrado 3, ou CI 3, é um transistor eletrônico que amplifica a passagem de corrente pela PCI, permitindo a oscilação correta para a sinalização auditiva. Possuindo 1 CI 3 por placa e 6 CI 3 por painel, trata-se do maior componente SMD da PCI. A tabela 19 corresponde ao resultado da construção da montagem da matriz de confusão.

Tabela 19 - Matriz de Confusão | Circuito Integrado 3

		Valores Previstos	
		C. CI 3	S. CI 3
Valores Verdadeiros	C. CI 3	120	0
	S. CI 3	0	30
Acurácia:		100%	
Recall:		100%	
Precisão:		100%	

Fonte: do Autor (2025).

4.2.11 Avaliação do Geral

O sistema desenvolvido neste trabalho com os testes definidos e descritos neste trabalho, obteve como resultado as estatísticas da tabela 20.

Tabela 20 - Resultado Geral

/	Métrica		
Componente	Acurácia	Recall	Precisão
LED Comunicação	89%	95%	89%
LED Iluminação	97%	97%	100%
Buzzer	97%	95%	100%
Capacitor Pequeno	98%	97%	100%
Capacitor Grande	100%	100%	100%
Indutor	95%	93%	100%
MCU	100%	100%	100%
CI 1	100%	100%	100%
CI 2	100%	100%	100%
CI 3	100%	100%	100%
Total:	97,6%	97,7%	98,9%

Fonte: do Autor (2025).

Com os resultados obtidos é possível realizar algumas análises. Uma acurácia de 97,6% indica que o sistema identificou corretamente quase todas as regiões de interesse e suas classificações com base na intensidade de luminosidade. No entanto, sozinha essa métrica pode ser enganosa em caso de desequilíbrio de classes (como ter muito mais negativos que positivos).

Em sistemas de visão que utilizam intensidade média de luminosidade como critério, um *recall* de 97,7% é essencial para garantir que a maior parte das regiões de interesse seja identificada corretamente. Caso o *recall* fosse baixo, o sistema perderia informações críticas, o que poderia comprometer decisões baseadas nas detecções.

Um sistema com alta precisão, no caso desse sistema de 98,9%, garante que as regiões identificadas realmente pertencem ao padrão definido. Isso é importante para evitar alarmes falsos, principalmente em cenários sensíveis à classificação incorreta.

4.3 Requisitos

No tópico 3.1 deste trabalho foram definidos 4 Requisitos Funcionais, 2 Requisitos Não Funcionais e 1 Requisito de Interface. Onde nos tópicos 4.1 e 4.2 são exibidos os resultados obtidos no decorrer do desenvolvimento deste presente trabalho, assim pode-se afirmar que o RF1, responsável pela identificação da presença dos componentes SMD e PTH foi atendido. O RF2, responsável pela iluminação do interior do protótipo da jiga também foi atendido. Já o RF3, responsável pelo gabarito das placas e a referência também foi atendido. O RF4 designado para a geração do relatório após finalizar uma avaliação foi atendido.

O NF1, que trata da interface simples e de fácil utilização, também foi atendido com uma interface de fácil utilização e bem intuitiva. O NF2 que cuida do acoplamento dos equipamentos utilizados na no desenvolvimento do *hardware* na jiga, também foi atendido. Já o R1 que cuida da *case* que foi instalada a parte elétrica e eletrônica, onde requisita a sinalização luminosa também foi atendida.

5 Conclusão

Em uma linha de fabricação de placas de circuito impresso, utilizando tecnologias *Pin Through Hole* (PTH) e *Surface Mounted Device* (SMD), este Trabalho de Conclusão de Curso apresentou uma abordagem para um sistema de inspeção óptica utilizando visão computacional e cálculo da intensidade luminosa nas regiões de interesse (ROIs) para a detecção de componentes em placas de circuito impresso.

Buscando atender a demanda da pesquisa e a futura implementação na linha de produção de placas de circuito impresso, o sistema foi elaborado e desenvolvido para ser de fácil utilização pelo o usuário. Essa característica habilitou uma curva de aprendizado do usuário baixa atendendo às necessidades de uma pesquisa.

Agora no contexto do *hardware* desenvolvido, o protótipo desenvolvido juntamente com o gabarito atenderam de forma satisfatória, atendendo os requisitos de projeto, suas dimensões e especificações para a simulação de um espaço de jigas de teste. Tratando do sistema de iluminação do *hardware*, o sistema desenvolvido também atendeu de forma satisfatória todos os requisitos do projeto, mantendo uma iluminação estável e com variações manuais definidas pelo usuário.

Quanto ao *software* desenvolvido, o mesmo atende os requisitos de projeto de forma satisfatória. Assim, o usuário pode inicializar o programa, capturar a imagem do painel, processar essa imagem e verificar o resultado, gerar um relatório informando quais painéis foram aprovados e finalizar esse programa.

Por fim, com os resultados que foram exibidos no tópico 4.2.11, o sistema de visão baseado em intensidade média de luminosidade e regiões de interesse desenvolvido neste trabalho está funcionando de forma eficaz, com detecções bastante precisas e poucos erros. Esse desempenho indica que o método de definição de ROIs e os critérios de luminosidade utilizados estão bem ajustados para o problema proposto.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Dentre as possíveis melhorias e trabalhos futuros decorrentes deste estudo, destacam-se:

- Implementação de algoritmos que detectem as regiões de interesse de forma automatizada, removendo a necessidade de um arquivo .txt com as coordenadas;
- Mudanças de *hardware* da câmera, uma câmera que tenha mais estabilidade e um foco mais estável, para aprimorar a captação de imagem das placas;
- Aprimoramento no algoritmo de cálculo da média da intensidade luminosa da região de interesse, para uma maior precisão e em regiões que o limiar seja reduzido;
- Aprimoramento na interface do usuário, aprimorar a versão inicial para adicionar mais funcionalidades ao programa;
- Aprimoramento dos filtros de imagem e aprimoramento dessas capturas, reduzindo os ruídos de imagem e melhorando o cálculo do limiar da intensidade luminosa.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002. (Modelo de referência com autoria coletiva)

Intelbras. **Informações sobre produto.** disponível em: <<https://www.intelbras.com/pt-br/webcam-full-hd-cam-1080p>>. Acesso em abril de 2024.

OpenCV. **Documentação.** disponível em: <<https://docs.opencv.org/3.4/index.html>>. Acesso em janeiro de 2025

Eliyahu M. Goldratt; Jeff Cox. **The Goal: A Process of Ongoing Improvement** (2012). Acesso em março de 2024.

Schwab, Klaus. **A Era das Máquinas Inteligentes: Como a revolução da inteligência artificial transformará o mundo** (2017). Acesso em março de 2024.

Chamon, E. M. **Gestão Integrada de Organizações** (2012). Acesso em abril de 2024.

GERON, A. **Hands-on Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow: Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems** (2019). Acesso em abril de 2024.

Szeliski, Richard. **Computer Vision: Algorithms and Applications** (2010). Acesso em abril de 2024.

Lin, Tsung-Yi, et al. **Microsoft COCO: Common objects in context** (2014). Acesso em maio de 2024.

Wang, Alex, et al. **GLUE: A multi-task benchmark and analysis platform for natural language understanding** (2018). Acesso em maio de 2024.

Zhu, Xiaojin. **Semi-supervised learning literature survey** (2006). Acesso em maio de 2024.

Gaidon, Adrien, et al. **Virtual worlds as proxy for multi-object tracking analysis** (2016). Acesso em maio de 2024.

Tsoumakas, Grigorios; Katakis, Ioannis. **Multi-label classification: An overview** (2007). Acesso em junho de 2024.

Bradski, Gary. "The OpenCV Library." **Dr. Dobb's Journal of Software Tools** (2000). Acesso em julho de 2024.

LEE, W.-y.; PARK, T.-h. **Correction Method for Geometric Image Distortion with Application to Printed Circuit Board Inspection Systems**. ICROS-SICE International Joint Conference. [S.l.: s.n.], v. 2, p. 4001–4006, 2009.

SZYMANSKI, C. **Desenvolvimento de técnicas de processamento digital de imagens para inspeção de placas de circuito impresso produzidas em pequenas séries**. 2014. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Automação e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2014.

STIVANELLO, Maurício Edgar and MARCELINO, Kleber Juan, **A Machine Vision System for Online Metal Can-End Rivet Inspection**, J. Phys.: Conf. Ser. 1335 012002, 2019.

MOGANTI, M. et al. **Automatic PCB Inspection Algorithms: A Survey**. **Computer Vision and Image Understanding**, Vol. 63, No. 2, March, 1996. p. 1- 46.

MICROSOFT, **Visual Studio**. Disponível em: < <https://visualstudio.microsoft.com/pt-br/>>. Acesso em janeiro de 2021.

YANG, J.; TSAI, W. **Análise de regiões de interesse e intensidade de iluminação para inspeção automática de PCBs**. *Journal of Computer Vision in Electronics*, v. 12, n. 4, p. 450-460, 2011.

Color, **Adobe**. Disponível em: <<https://color.adobe.com/pt/create>>. Acesso em janeiro de 2025.

Prasad, R. (2013). **Surface Mount Technology: Principles and Practice**. Springer. 2013.

Wong, C. P. (2017). **Polymers for Electronic Applications**. Elsevier. 2017.

GONZÁLEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Digital Image Processing**. 4. ed. Pearson, 2018.

JAIN, A. K. **Fundamentals of Digital Image Processing**. Prentice-Hall, 1989.

HOSSIN. M; SULAIMAN. M.N. **A review on evaluation metrics for data classification evaluations**. *International Journal of Data Mining & Knowledge Management Process*, v. 5, n. 2, p. 01–11, 2015.

HOFFMAN, LUCAS. **SISTEMA DE INSPEÇÃO DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO EMPREGANDO VISÃO COMPUTACIONAL PARA PRODUÇÃO EM PEQUENAS SÉRIES INDUSTRIAIS**. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Engenharia Mecatrônica) – Departamento Acadêmico de METAL-MECÂNICA, Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021. Acesso em dezembro de 2024.