



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

ANTONIO CARLOS DE CASTRO DA SILVA

**RECONHECIMENTO AUTOMÁTICO DE DEFEITOS DE FABRICAÇÃO EM
PAINÉIS TFT-LCD ATRAVÉS DE INSPEÇÃO DE IMAGEM**

Recife, 2016

ANTONIO CARLOS DE CASTRO DA SILVA

**RECONHECIMENTO AUTOMÁTICO DE DEFEITOS DE FABRICAÇÃO EM
PAINÉIS TFT-LCD ATRAVÉS DE INSPEÇÃO DE IMAGEM**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Telecomunicações

ORIENTADOR: Prof. Dr. Rafael Dueire Lins

Recife, 2016

Catálogo na fonte
Bibliotecária: Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

- S586r Silva, Antonio Carlos de Castro da.
Reconhecimento automático de defeitos de fabricação em painéis TFT-LCD através de inspeção de imagem. / Antonio Carlos de Castro da Silva. - Recife: O Autor, 2016.
74 folhas, il., gráfs., tabs.
- Orientador: Prof. Dr. Rafael Dueire Lins.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco.
CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, 2016.
Inclui Referências e Apêndice.
1. Engenharia Elétrica. 2. TFT-LCD. 3. Plataforma.
4. Reconhecimento de imagem. 5. Detecção automática.
6. Classificador *Naive Bayes*. I. Lins, Rafael Dueire (Orientador).
II. Título.



Universidade Federal de Pernambuco
Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DE
DISSERTAÇÃO DO MESTRADO ACADÊMICO DE

ANTONIO CARLOS DE CASTRO DA SILVA

TÍTULO

***“RECONHECIMENTO AUTOMÁTICO DE DEFEITOS DE FABRICAÇÃO EM
PAINÉIS TFT-LCD ATRAVÉS DE INSPEÇÃO DE IMAGEM”***

A comissão examinadora composta pelos professores: RAFAEL DUEIRE LINS, CIN/UFPE, VALDEMAR CARDOSO DA ROCHA JÚNIOR, DES/UFPE e PABLO MIGUEL JACOVKIS, DM/UBA, sob a presidência do primeiro, consideram o candidato **ANTONIO CARLOS DE CASTRO DA SILVA APROVADO.**

Recife, 15 de janeiro de 2016.

CECILIO JOSÉ LINS PIMENTEL
Coordenador do PPGEE

RAFAEL DUEIRE LINS
Orientador e Membro Titular Interno

PABLO MIGUEL JACOVKIS
Membro Titular Externo

VALDEMAR CARDOSO DA ROCHA JÚNIOR
Membro Titular Interno

Aos meus pais Antonio, *in memoriam*, e Maria Dalva os quais não mediram esforços para garantir minha educação; à minha amada esposa Kamila e à minha amada filha Angela.

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo agradeço ao meu Deus, criador do céu e da Terra a quem atribuo a sabedoria que me foi dada.

Aos meus pais Antonio Pereira da Silva, *in memorian*, e Maria Dalva de Castro da Silva, pelos conselhos, sermões e principalmente por me ensinar que os maiores bens que os pais podem dar aos filhos são a educação doméstica e acadêmica. Além de me ensinar a ser um cidadão de bem que sabe enxergar o próximo.

À minha amada esposa Kamila do Carmo Gomes da Silva, com quem dividi meus medos e angústias. Vejo em você uma companheira para partilhar tudo que a vida pode me oferecer para resto da vida.

À minha filha Angela Mirza Moraes Silva que sempre torceu pelo sucesso do papai.

Ao professor Dr. Rafael Dueire Lins pela orientação, encorajamento, e confiança para a conclusão deste trabalho.

Ao Professor Marivan Gomes da Universidade Estadual do Amazonas que conduziu a coordenação desse projeto de maneira profissional e íntegra.

À minha irmã Nair Janina de Castro Medeiros, meu irmão Vital de Castro da Silva e meu cunhado Emanuel Cruz Medeiros pela força, apoio e incentivo.

Às minhas tias Hortência Vital de Castro e Irineia Vital de Brito que sempre acreditaram no meu crescimento pessoal e profissional.

Ao Engenheiro André Machado que me ajudou muito em todo o decorrer da pesquisa.

Ao Erick e ao Saíd meu muito obrigado pelo suporte no Labview, pela paciência e disponibilidade.

À Samsung Eletrônica da Amazônia por financiar o projeto e por flexibilizar meu horário para realização da pesquisa.

Aos amigos João Carlos, Johnnes Melro, Jorge Maia, Jonathas Ferreira, Ronaldo Silva, Alex Santiago, Valdir Ribeiro, Suanne Célia e Rui Procópio. A todos os citados, meus sinceros agradecimentos.

*Mas o nobre projeta coisas nobres; e
nas coisas nobres persistirá. (Isaias 32:8).*

Resumo da Dissertação apresentada à UFPE como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica

RECONHECIMENTO AUTOMÁTICO DE DEFEITOS DE FABRICAÇÃO EM PAINÉIS TFT-LCD ATRAVÉS DE INSPEÇÃO DE IMAGEM

ANTONIO CARLOS DE CASTRO DA SILVA

Janeiro/2016

Orientador: Prof. Dr. Rafael Dueire Lins.

Área de Concentração: Telecomunicações.

Palavras-chave: TFT-LCD, plataforma, reconhecimento de imagem, detecção automática, classificador *Naive Bayes*.

Número de Páginas: 74

RESUMO: A detecção prematura de defeitos nos componentes de linhas de montagem de fabricação é determinante para a obtenção de produtos finais de boa qualidade. Partindo desse pressuposto, o presente trabalho apresenta uma plataforma desenvolvida para detecção automática dos defeitos de fabricação em painéis TFT-LCD (*Thin Film Transistor-Liquid Cristal Displays*) através da realização de inspeção de imagem. A plataforma desenvolvida é baseada em câmeras, sendo o painel inspecionado posicionado em uma câmara fechada para não sofrer interferência da luminosidade do ambiente. As etapas da inspeção consistem em aquisição das imagens pelas câmeras, definição da região de interesse (detecção do quadro), extração das características, análise das imagens, classificação dos defeitos e tomada de decisão de aprovação ou rejeição do painel. A extração das características das imagens é realizada tomando tanto o padrão RGB como imagens em escala de cinza. Para cada componente RGB a intensidade de *pixels* é analisada e a variância é calculada, se um painel apresentar variação de 5% em relação aos valores de referência, o painel é rejeitado. A classificação é realizada por meio do algoritmo de *Naive Bayes*. Os resultados obtidos mostram um índice de 94,23% de acurácia na detecção dos defeitos. Está sendo estudada a incorporação da plataforma aqui descrita à linha de produção em massa da Samsung em Manaus.

Abstract of the dissertation presented to the UFPE as part of the necessary requirements for the title of Master in Electrical Engineering

AUTOMATICALLY RECOGNIZING MANUFACTURING DEFECTS IN TFT-LCD PANELS BY IMAGE INSPECTION

ANTONIO CARLOS DE CASTRO DA SILVA

January/2016

Supervisor: Prof. Dr. Rafael Dueire Lins.

Concentration Area: Telecommunications.

Keywords: TFT-LCD, platform, image recognition, automatic detection, Naive Bayes classifier

Number of Pages: 74

ABSTRACT: The early detection of defects in the parts used in manufacturing assembly lines is crucial for assuring the good quality of the final product. Thus, this paper presents a platform developed for automatically detecting manufacturing defects in TFT-LCD (Thin Film Transistor-Liquid Cristal Displays) panels by image inspection. The developed platform is based on câmeras. The panel under inspection is positioned in a closed chamber to avoid interference from light sources from the environment. The inspection steps encompass image acquisition by the cameras, setting the region of interest (frame detection), feature extraction, image analysis, classification of defects, and decision making. The extraction of the features of the acquired images is performed using both the standard RGB and grayscale images. For each component the intensity of RGB pixels is analyzed and the variance is calculated. A panel is rejected if the value variation of the measure obtained is 5% of the reference values. The classification is performed using the Naive Bayes algorithm. The results obtained show an accuracy rate of 94.23% in defect detection. Samsung (Manaus) is considering the possibility of incorporating the platform described here to its mass production line.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Defeitos x fornecedores encontrados durante o <i>burn-in</i> em 2014, SEDA-M, Brasil.....	16
Figura 2 – Principais defeitos encontrados durante o <i>burn-in</i> em 2014, SEDA-M, Brasil....	16
Figura 3 – Fluxo do processo de manufatura do TFT-LCD.....	18
Figura 4 – Esquema de operação do LGP.....	19
Figura 5 – Sistema de <i>backlight</i> convencional emissor de luz P1 e P2.....	21
Figura 6 – Estrutura LCM 2014 versão flat.....	22
Figura 7 – Estrutura LCM 2014 versão curva.....	23
Figura 8 – Uma típica configuração da sequência de cores de um TFT-LCD que ilumina o <i>backlight</i> R, G e B para sintização de cores sem filtro de cor.....	24
Figura 9 – Definições de <i>backlight</i> com diferentes algoritmos de sequência de cores ao exibir a imagens ‘Lily’ (a) <i>Backlight</i> com sequência uniforme de R-G-B. (b) Algoritmo de estêncil sequencial de cor. (c) Algoritmo de dessaturação primária local.....	25
Figura 10 – Protótipo da plataforma inspeção visual automática de painéis TFT-LCDs (a) visão frontal da plataforma. (b) Inserção do painel TFT-LCD para teste. (c) Monitor de controle do operador.....	30
Figura 11 – Visão interna da plataforma desenvolvida (a) Câmeras e painel TFT-LCD de 42” sendo posicionado para teste. (b) Câmeras posicionadas para teste (c) Detalhe da câmera utilizada no projeto.....	31
Figura 12 – Diagrama do circuito da CPU.....	33
Figura 13 – Esquema elétrico da placa de conectores SMPS.....	34
Figura 14 – Visão geral da placa de conectores SMPS.....	34
Figura 15 – Câmera Basler ace ACA250-25GC (a) figura ilustrativa (b) imagem real real da câmera utilizada no projeto.....	34
Figura 16 – Resposta espectral da câmera Basler ace ACA250-25GC.....	36
Figura 17 – Deslocamento horizontal e vertical das cargas acumuladas (pixels).....	37
Figura 18 – Tomada trifásica padrão brasileiro (a) Conector macho (b) Conector fêmea.....	38
Figura 19 – (a) Quadro elétrico da plataforma (b) Disjuntor DIN Bipolar Siemens 5SX1 25 A Curva C.....	38
Figura 20 – <i>Set up</i> da esteira (a) Visão geral da esteira e janela de alimentação do painel (b) Ajuste do pino guia de acorco com o tamanho do painel.....	39
Figura 21 – <i>Set up</i> das câmeras de acordo com o tamanho do painel.....	39

Figura 22 – Placas de alimentação da plataforma (a) Caixa de alimentação (b) Diagrama do circuito das placas de alimentação.....	40
Figura 23 – Inspeção do painel TFT-LCD na plataforma para inspeção automática.....	40
Figura 24 – Programação da placa T-CON para alternar as telas vermelho, verde, azul, escuro e branco em intervalos de 3 segundos.....	41
Figura 25 – Visão geral da plataforma.....	42
Figura 26 – Diagrama em bloco do sistema da plataforma para inspeção automática de painéis TFT-LCDs.....	43
Figura 27 – Tela inicial do sistema de visão da plataforma para inspeção automática de painéis TFT-LCDs.....	43
Figura 28 – Programa de aquisição de imagens desenvolvido em linguagem de programação <i>labview</i>	44
Figura 29 – Imagens em vermelho (a); verde (b); azul (c); escuro (escala de cinza) (d) e branco (e).....	45
Figura 30 – Definição da região de interesse.....	46
Figura 31 – Parte inicial do programa de aquisição das imagens RGB padrão.....	47
Figura 32 – Parte final do programa de aquisição das imagens RGB padrão.....	48
Figura 33 – Imagem vermelho padrão.....	48
Figura 34 – Histogramas da imagem vermelho padrão.....	49
Figura 35 – Imagem verde padrão.....	49
Figura 36 – Histogramas da imagem verde padrão.....	49
Figura 37 – Imagem azul padrão.....	50
Figura 38 – Histogramas da imagem azul padrão.....	50
Figura 39 – Programa de aquisição das imagens em nível de cinza padrão.....	50
Figura 40 – Imagem em escala de cinza padrão.....	51
Figura 41 – Histogramas da imagem em escala de cinza padrão.....	51
Figura 42 – Modelo simplificado do processo de treinamento supervisionado.....	57
Figura 43 – Defeito de linha vertical (a) e linha horizontal (b) no painel TFT-LCD.....	59
Figura 44 – Defeito de corpo estranho no painel TFT-LCD.....	60
Figura 45 – Defeito de interferência de imagem no painel TFT-LCD.....	61
Figura 46 – Defeito de mancha na imagem no painel TFT-LCD.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela I – Identificação da fiação elétrica do projeto.....	31
Tabela II – Relação de componentes do projeto.....	32
Tabela III – Especificações da câmera Basler ace ACA250-25GC.....	35
Tabela IV – Dados de referência do desvio padrão e da média extraída das cores vermelho, verde, azul e escala de cinza, detalhando os sub-pixels RGB de cada cor.....	52
Tabela V (a) – Dados de amostrais do desvio padrão e da média extraída das cores vermelho e verde detalhando os <i>sub-pixels</i> RGB de cada cor.....	58
Tabela V (b) – Dados de amostrais do desvio padrão e da média extraída das cores azul e escala de cinza detalhando os <i>sub pixels</i> RGB de cada cor.....	58
Tabela VI – Resultados do reconhecimento do defeitos de linha vertical.....	60
Tabela VII – Resultados do reconhecimento do defeitos de linha horizontal.....	60
Tabela VIII – Resultado do reconhecimento dos defeitos de corpo estranho.....	61
Tabela IX – Resultado do reconhecimento dos defeitos de interferência na imagem.....	61
Tabela X – Resultado do reconhecimento dos defeitos de mancha na imagem.....	62
Tabela XI – Resultado percentual por defeito.....	62
Tabela XII – Resultado percentual por classe.....	63

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. PROCESSO DE MANUFATURA DA TECNOLOGIA TFT-LCD	18
2.1 PROCESSO DE MANUFATURA DO TFT-LCD	18
2.2 PROCESSAMENTO DE CORES.....	23
3. AUTOMATIZAÇÃO DA INSPEÇÃO DO PAINEL TFT-LCD -HARDWARE....	26
3.1 INSPEÇÃO DE DEFEITOS EM PAINÉIS TFT-LCD'S	26
3.2 PERFIL DA PLATAFORMA.....	29
3.2.1 Composição do Hardware.....	31
3.2.2 Câmera para aquisição de imagens.....	34
3.2.3 Especificações gerais da câmera.....	35
3.3 MODO DE OPERAÇÃO DA PLATAFORMA.....	37
4. AUTOMATIZAÇÃO DA INSPEÇÃO DO PAINEL TFT-LCD SOFTWARE E CLASSIFICAÇÃO DOS DEFEITOS.....	41
4.1 PERFIL DA PLATAFORMA - SOFTWARE.....	41
4.2 AQUISIÇÃO DAS IMAGENS.....	44
4.3 DEFINIÇÃO DA REGIÃO DE INTERESSE (DETECÇÃO DO QUADRO).....	45
4.4 EXTRAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS.....	46
4.5 ANÁLISE DA IMAGEM E TOMADA DE DECISÃO.....	52
4.5.1 Treinamentos.....	56
5. RESULTADOS.....	59
6. CONCLUSÕES.....	64
REFERÊNCIAS	66
APÊNDICE	73

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

No ambiente turbulento de negócios, caracterizado por rápidas e intermitentes mudanças, as empresas têm passado por um processo de transformação, reorganizando-se para se tornarem mais efetivas e ágeis nas respostas aos problemas impostos por esse ambiente (CARVALHO, M.M. e RABECHINI R., 2005). Dentre esses processos temos a visão ampla de qualidade em todas as fases e elementos de seu negócio. Da preocupação renovada do marketing com a percepção de qualidade por parte do consumidor, do projeto do produto indo até o uso estratégico da qualidade pela alta administração, o gerenciamento da qualidade tornou-se uma elevada prioridade em muitas organizações (SARAPH, J. V. e BENSON, P. G. 1989).

A NBR ISO 9001:2015 recomenda que as corporações devam analisar os materiais logo após os procedimentos de recebimento dos mesmos. Esta análise denomina-se inspeção de entrada e o departamento responsável por sua execução é o CQC (Controle de Qualidade de Entrada). CAMPOS, V. F. (2014) prescreveu um programa de melhoria da qualidade de 14 passos e defeito zero para a organização, dentre os quais, encontra-se a necessidade da identificação de anomalias antes da aquisição do produto pelo cliente postremo.

A detecção de defeitos pelo consumidor final, além de ter um custo muito elevado, em grande parte prejudica a reputação dos fabricantes. O *burn-in* interno também possui um custo muito elevado e, caso seja realizado por seres humanos, torna-se uma tarefa muito propensa a erros. A inspeção de qualidade das peças antes da montagem do produto final, que está sob a responsabilidade do departamento de CQC, é uma estratégia que permite uma detecção antecipada de defeitos. Em geral, tais testes são feitos por amostragem de lotes de peças, frequentemente, as partes dos produtos são fornecidas por diferentes fabricantes, sendo assim, é fundamental avaliar a qualidade dos diferentes elementos de cada um dos fornecedores de peças.

A tecnologia de monitores de tela plana ou curva usando *Thin Film Transistor-Liquid Cristal Displays* (TFT-LCD) oferece recursos de total exibição de cores, baixo consumo de energia e peso leve. Devido ao seu excelente equilíbrio custo-qualidade, eles estão sendo cada vez mais utilizados em *home-theaters*, monitores de computador e etc. A inspeção de defeitos em painéis TFT-LCD é uma tarefa crítica na fabricação desses produtos. Os defeitos na superfície de um painel TFT-LCD não só causam insuficiência visual, mas também causam falha elétrica afetando o funcionamento do painel. NAKASHIMA, K. (1994) classifica os defeitos nos painéis TFT-LCD em micro e macro. Defeitos micro incluem

pinholes, impressões digitais, partículas e arranhões. Os defeitos micros, geralmente, têm tamanho muito pequeno e não podem ser facilmente encontrados por inspeção humana ou detectados com métodos de inspeção elétrica. Já os defeitos macro incluem a irregularidade da cor em um painel TFT-LCD, manchas e desalinhamento. Eles aparecem em regiões de alto contraste, com tamanhos e formas irregulares, são geralmente de tamanho grande, portanto, podem ser detectados por inspeção humana.

A inspeção visual é uma tarefa importante e trabalhosa no controle de qualidade da fabricação de TFT-LCD. Devido às aplicações de usuário final para o TFT-LCD, a inspeção de 100% das peças é prática comum nos processos de fabricação (HENLY, F. J. e ADDIEGO G., 1991). Atualmente, a inspeção visual humana é o método mais utilizado para a detecção de defeitos de superfície do LCD, no entanto, a inspeção manual é lenta, subjetiva, cara e altamente dependente da experiência do operador, o que a torna um gargalo no processo de fabricação de TFT-LCD. Assim, para garantir a qualidade da produção em massa, faz-se necessário a inspeção de entrada automática do TFT-LCD. O RPA 2015 (Relatório de Produção Anual) gerado a partir do GMES (*Global Manufacturing and Engineering System*) demonstra que a Samsung Eletrônica da Amazônia sediada em Manaus (SADA-M) produziu, no ano de 2014, 26.000 produtos por dia, utilizando painéis TFT-LCD de dez diferentes fabricantes. O número total de defeitos encontrados por inspeção visual humana em 2014 foi de 1.777, que representa um índice de 6,83% de defeitos; dos quais 1.242 foram os de imagem, que representam 69,89% dos defeitos de painéis e 4,77% do universo total de defeitos. Os principais defeitos apresentados foram manchas na imagem, interferência na imagem, linhas/blocos horizontais e verticais. Os defeitos restantes eram mecânicos (arranhões, vidros quebrados, etc.). A figura 1 apresenta o número de defeitos de imagem por fornecedor encontrados na fase de *burn-in* durante o ano de 2014 (os nomes dos fornecedores foram omitidos por razões éticas). Na figura 2, vemos os principais defeitos encontrados neste período.

Diante dos índices de defeitos levantados e, considerando que o valor do painel TFT-LCD equivale a 70% do valor total de um televisor produzido na SEDA-M, avaliou-se a necessidade de busca de um índice de zero defeito (CAMPOS V. F., 2014), alida ao fato de que os custos com qualidade de uma organização não devem ignorar a intangível, mas real, perda de boa vontade de um consumidor na compra de um produto defeituoso (DEMING, W. E., 2010). Este cenário converge com a afirmação de JURAN, J. M. (2011), o qual afirma que a prova da necessidade do desenvolvimento de um projeto de melhoria da qualidade é consideravelmente auxiliada pela quantificação dos problemas crônicos.

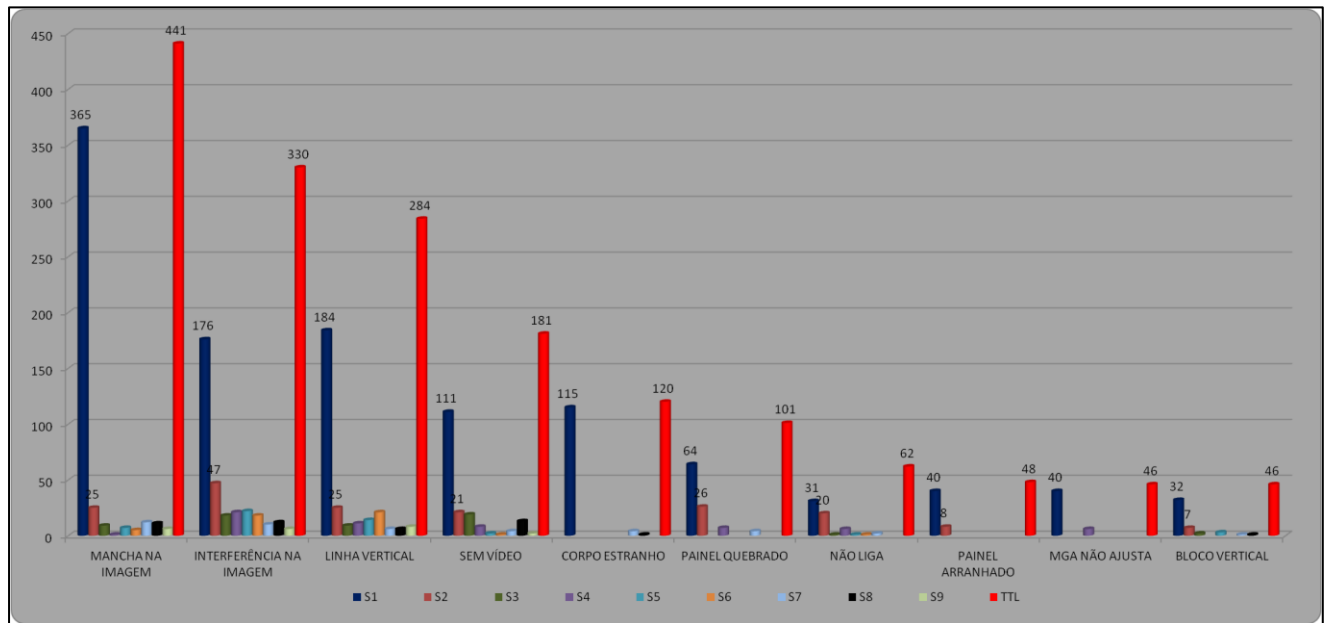


Figura 1 – Defeitos *versus* fornecedores encontrados durante o *burn-in* em 2014, SEDA-M, Brasil.

Fonte: RPA (Relatório de Produção Anual), 2015.

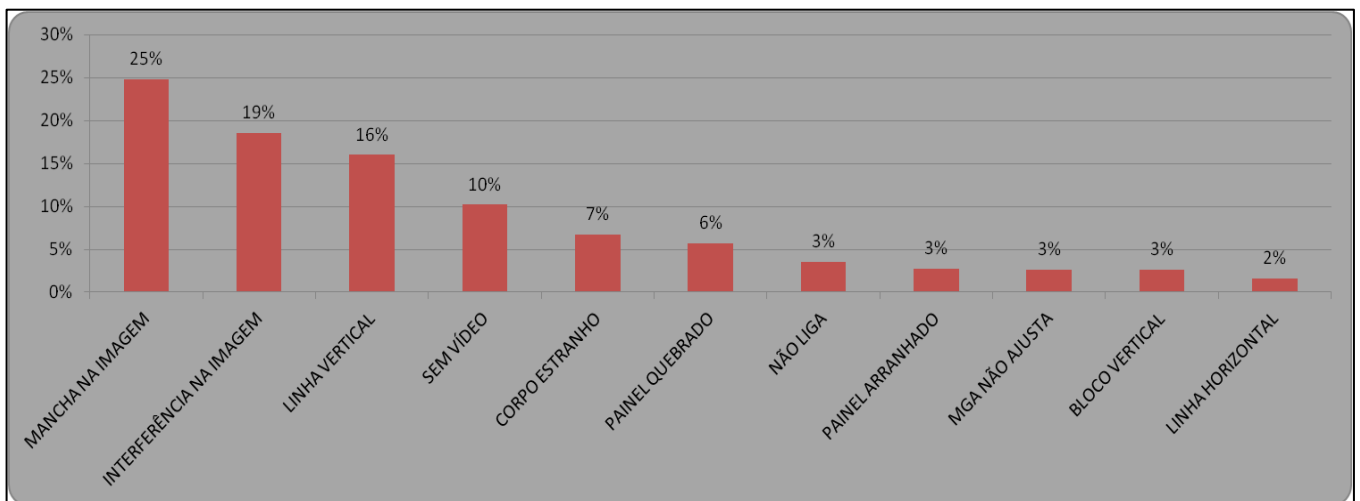


Figura 2 – Principais defeitos encontrados durante o *burn-in* em 2014, SEDA-M, Brasil.

Fonte: RPA (Relatório de Produção Anual), 2015.

O foco desta dissertação é apresentar o protótipo de uma nova plataforma para inspeção automática de TFT-LCD com base em técnicas de reconhecimento de imagem.

O projeto é baseado em aquisição de dados por câmeras, sendo o painel inspecionado posicionado em uma câmara fechada para não sofrer interferência da luminosidade ambiente. As etapas da inspeção consistem em: aquisição de imagens, definição da região de interesse (detecção do quadro), extração das características, análise das imagens, classificação dos defeitos e tomada de decisão. A extração das características das imagens é realizada tomando o como base o histograma tanto do padrão RGB como de imagens em escala de cinza. Para cada componente RGB a intensidade de pixels é analisada e a média e o desvio padrão são

calculados, se um painel apresentar qualquer medida 5% maior ou menor que qualquer um dos valores de referência, o painel é rejeitado.

Esta dissertação está dividida em seis capítulos, incluindo este de introdução. O capítulo 2 descreve, em linhas gerais, a estrutura do produto TFT-LCD, mostrando as partes componentes do produto, assim como seu fluxo básico de fabricação, fazendo ainda uma abordagem sobre o processamento de cores, a partir do processamento das cores primárias R, G e B na unidade de *backlight*. O capítulo 3 discorre sobre o projeto de *hardware* da plataforma para inspeção automática de painéis TFT-LCD. O item 3.1 trata da inspeção de defeitos em painéis TFT-LCD, o item 3.2 discorre a respeito do perfil da plataforma, detalhando o desenvolvimento do *hardware*. Finalizando o capítulo, o item 3.3 apresenta o modelo de operação, trazendo as etapas de preparação da inspeção automática. O capítulo 4 descreve o projeto de *software* da plataforma para inspeção automática de painéis TFT-LCD e sobre a classificação dos defeitos encontrados. Inicialmente, o item 4.1 aborda o perfil do *software* da plataforma, fazendo um apanhado geral sobre a estrutura do programa. O item 4.2 trata da aquisição das imagens, sendo que a definição da região de interesse será discutida no item 4.3. O item 4.4 discorre sobre a extração das características das imagens e, finalmente, o item 4.5 aborda a análise das imagens, trazendo o projeto do classificador e seu treinamento. O capítulo 5 apresenta os resultados obtidos e o desempenho do classificador. O capítulo 6 contém as conclusões e propostas para trabalhos futuros extraídas da presente pesquisa.

CAPÍTULO 2. PROCESSO DE MANUFATURA DA TECNOLOGIA TFT-LCD

Este capítulo aborda a estrutura do produto TFT-LCD. O item 2.1 apresenta as partes componentes do produto e seu fluxo básico de fabricação. Na seção 2.2 faz-se uma breve apresentação sobre o processamento de cores, a partir do processamento das cores primárias R, G e B na unidade de *backlight*.

2.1 Processo de manufatura do TFT-LCD

O fluxo de fabricação do TFT-LCD consiste em quatro processos: TFT, CF (filtro de cor), LCD e LCM (módulo de cristal líquido), como mostrado na Figura 3 (CHENG, F. T *et al.*, 2015). Primeiramente, no processo de TFT, os transistores são fabricados sobre um substrato de vidro, em seguida, as fontes de cores, incluindo vermelho, verde e azul, são produzidas em um vidro no processo denominado CF. Após isso, um substrato TFT é unido a um substrato de CF no processo de LCD, o espaço entre esses dois substratos é preenchido com o cristal líquido. Finalmente, no processo de LCM, componentes adicionais, tais como: circuitos integrados direcionadores e unidades de *backlight* (BLU) são conectados para compor a fabricação final do produto. As etapas de TFT, CF, LCD compõem o processo de *front-end*, o qual exige um alto grau automação. O processo de LCM é um procedimento que exige um trabalho mais manual. Esta parte da fabricação do TFT-LCD compõe o processo de *back-end* (SU Y. C *et al.*, 2008).

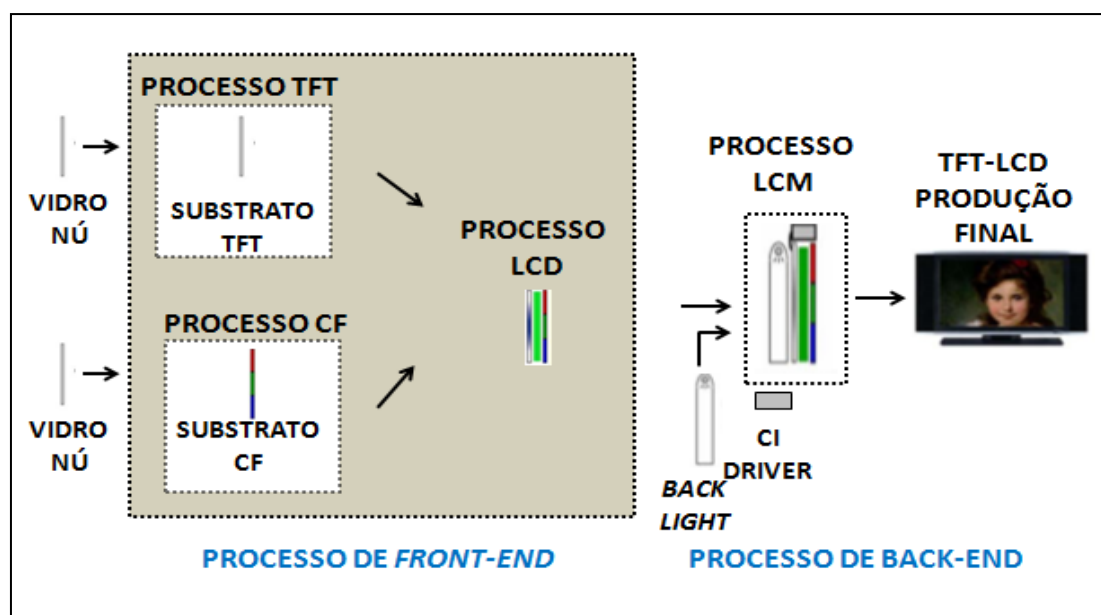


Figura 3 – Fluxo do processo de manufatura do TFT-LCD.

Fonte: Cheg *et al.*, 2015.

O produto final do processo de *front-end* é o TFT-LCD, seu detalhamento pode ser abstraído deste trabalho, pois esta manufatura não é realizada na SEDA-M. O processo de *back-end* consiste na junção do TFT-LCD, placa controladora e unidade de *backlight* (BLU), podendo ser chamado de processo de LCM (MICOSHIBA, S., 2005).

A unidade de *backlight* (BLU) aumenta a eficiência de luminância, refletindo a luz que vem do LGP. A BLU deve satisfazer normas que abrangem: características elétricas, tais como consumo de energia, corrente de fuga, eficiência energética e interferência eletromagnética; aparência externa; propriedades ópticas como: brilho, uniformidade de cor e gama de cores; propriedades mecânicas tais como: peso e espessura e outros aspectos, incluindo confiabilidade, produtividade de massa e qualidade dos serviços (ISHINABE, T. *et al.*, 2004).

A luz é refletida por uma variedade de padrões microscópicos difusivos que são fabricados na parte inferior do LGP (*Light Guide Plate*) e emitidos para fora da superfície frontal do LGP ao longo da direção do eixo z (ISHINABE, T. *et al.*, 2014). A luz emitida a partir do LGP é dispersa pela folha de difusão e colimada por folhas de prisma horizontal e vertical, antes de chegar ao painel de LCD (Tsai W. H. *et al.*, 2010). A figura 4 ilustra o esquema de operação do LGP.

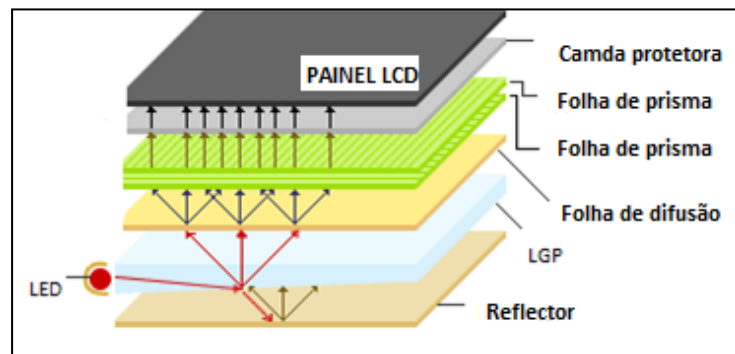


Figura 4 – Esquema de operação do LGP.

Fonte: Lee G. *et al.*, 2014.

TSAI W. H. *et al.* (2010) afirmam que a estrutura do LED *backlight* consiste, basicamente, em folha refletora, LGP, folha de difusão, prismas e folhas de proteção. A folha refletora aumenta o brilho geral e evita a perda de luz na parte traseira do LGP, refletindo as fugas de luz de volta para o LGP (LEE G. *et al.*, 2014). Com isso, aumenta a eficiência luminosa de luz refletida que sai da parte inferior da LGP (TSAI W. H. *et al.*, 2010). O LGP tem como função direcionar a luz emitida dos LEDs para o painel TFT-LCD, através do prisma e da folha de difusão. A folha de difusão tem como objetivo difundir e dispersar a luz

do LGP e equalizar o brilho na tela geral de exibição que é utilizada para homogeneizar a luminosidade pelo espalhamento da luz vinda à superfície do LGP (CHENG F. T, 2015). A mesma consiste de grânulos de camada de resina acrílica que são utilizados para espalhar a luz que sai da superfície do LGP, de maneira a propagar esta luz (LEE G. *et al.*, 2014). O prisma tem uma secção transversal em forma de pirâmide para afinar a luz, isso diminui a refração da luz horizontal, vertical e o espalhamento bidirecional sobre a folha de propagação e sobre o prisma, de modo a aumentar o brilho (SUY. C *et al.*, 2008). Um prisma é uma folha com um número incontável de lentes longas com formato piramidal alinhados, podendo ser chamada de folha de primas, as mesmas direcionam as luzes de entrada. Na estrutura do BLU existem duas camadas de folha de prisma: a folha de prisma inferior e a folha de prisma superior, ambas têm a mesma função de direcionamento da luz de entrada (WU W. M *et al.*, 2011). A folha de proteção é usada para proteger folha de prisma de arranhões e ampliar seu o ângulo de visão, esta possui pequenos grânulos que utilizaram para o realce de brilho de luz (CHENG F. T. e CHIU Y. C., 2013).

SU Y. C *et al.* (2008) definem o DBEF (*Dual Brightness Enhancement Film*) como componente que corresponde à polarização do lado inferior (polarização bottom) do filme do componente TFT-LCD (ondas P), e do outro lado, o BLU (onda S). A luz polarizada reutilizada para o uso da eficiência de luz aumenta, um polarizador reflexivo de filme fino é quem aumenta o brilho em toda a faixa de visualização do LCD (LEE G. *et al.*, 2014). A transmissão e reflexão são realizadas a partir do filme polarizador reflexivo do BLU (camada de revestimento e polarização da linha reta) (WU W. M *et al.*, 2011). A figura 5 mostra um sistema de *backlight* convencional emissor de luz P1 e P2. Um polarizador típico absorve P2, mas o DBEF reflete P2 para o *backlight*, onde é reciclado em P1 e P2. Com a utilização do DBEF, mais luz P1 está disponível para ser transmitida, obtendo-se, assim, uma melhoria em 53% na quantidade de luz emitida (LEE G. *et al.*, 2014).

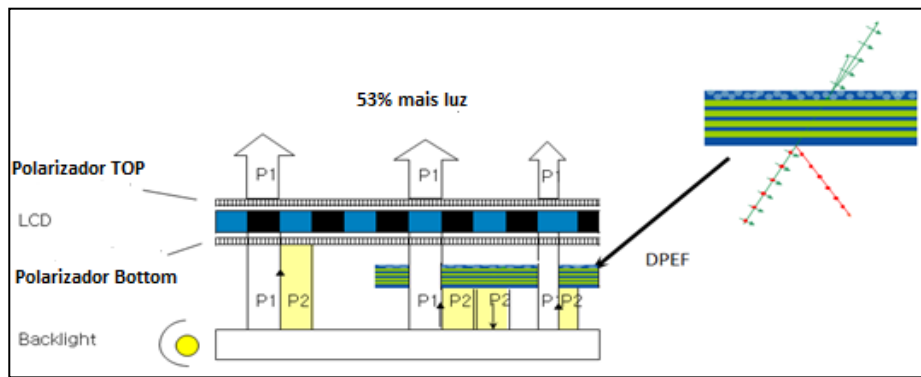


Figura 5 – Sistema de *backlight* convencional emissor de luz P1 e P2.

Fonte: Lee G. *et al.*, 2014.

Com base na localização da fonte de luz, os TFT-LCDs podem ser divididos em tipos diretos e tipos *edge-lit*, tipicamente, os tipos diretos são usados para TVs, enquanto os tipos *edge-lit* são usados para monitores de vídeo, computadores e notebooks (ISHINABE T, 2014).

Como mostrado nas estruturas resultantes do processo de LCM da SEDA-M do ano de 2014, versões plana e curva, respectivamente, conforme ilustrado nas figuras 6 e 7, os módulos TFT-LCD das unidades de *backlight* do tipo direto consistem em várias camadas consideradas como uma fonte de luz unidimensional. As lâmpadas são colocadas de forma linear no chassi inferior com folhas reflexivas, uma placa difusora e uma lâmina de difusão são montadas sobre as lâmpadas para gerar uma distribuição uniforme de luz, de modo que o *backlight* possa proporcionar uma distribuição de luz bidimensional (UKAI Y., 2007). Além de espalhar a luz das lâmpadas, a placa difusora feita de polimetilmetacrilato (PMMA), também funciona como um suporte para apoiar as folhas de difusão (NAKAJIMA *et al.*, 2006). Uma camada dupla de prisma é utilizada para aumentar o brilho medido perpendicularmente à superfície depois que luz é dispersa através da lâmina de difusão (KAWAKAMI T. *et al.*, 2015). Uma vez que a luz que passa através da camada do prisma não é polarizada, um polarizador reflexivo é adicionado à perda de luz para reciclar a absorção por meio do controle de polarização e de reflexão (HAN S. Y *et al.*, 2013). Inversores de *backlight* típicos, denominados placas T-CON, são ligados na parte de trás do chassi inferior, mas, recentemente, este circuito integrado às placas controladoras das TV's também está disponível no mercado.

Corroborando com UKAI Y. (2007), MANTEL C. *et al.* (2013) afirmam que as folhas ópticas são necessárias para converter fontes de luz unidimensionais em fontes de luz bidimensionais e para aumentar o brilho dos TFT-LCD. No entanto KOITZSCH M. e HONOLD A. (2011) asseguram que, devido a seu alto preço, esforços de pesquisa e

desenvolvimento estão em curso para minimizar a utilização de várias folhas ópticas para difusão em uma ou duas folhas ou para o aumentando da luminosidade das lâmpadas. Em particular, as camadas de prisma e as folhas do polarizador reflexivo, as quais são caras, necessitam ser substituídas ou removidas. Uma vez que estas estão também, estreitamente, relacionadas com o desempenho das fontes de luz, esforços serão realizados para melhorar as fontes de luz existentes e no desenvolvimento de novas. Além disso, a indústria está realizando uma série de atividades para melhorar os materiais ópticos, incluindo o desenvolvimento de folhas multifuncionais (ISHINABE T., 2014).

O objetivo fim desse trabalho é automatizar a inspeção do painel TFT-LCD antes da realização do processo de LCM acima descrito.

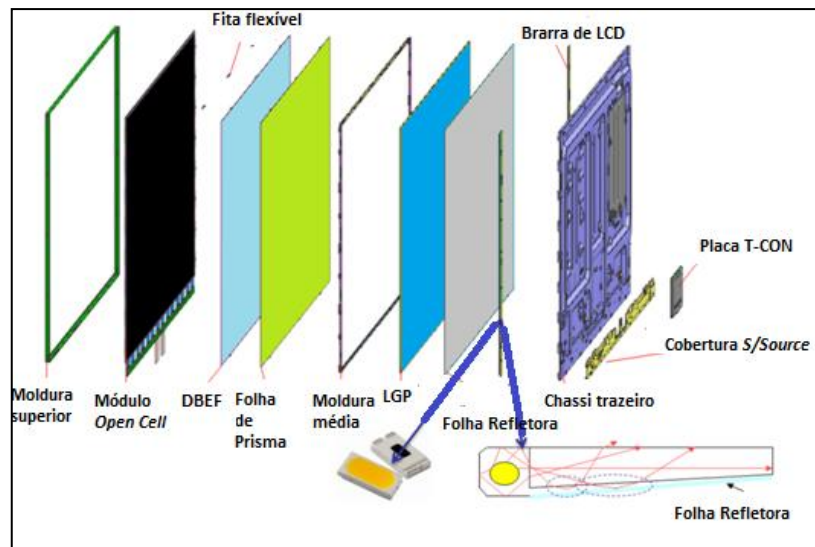


Figura 6 – Estrutura LCM 2014 versão *flat*.

Fonte: Lee G. *et al.*, 2014.

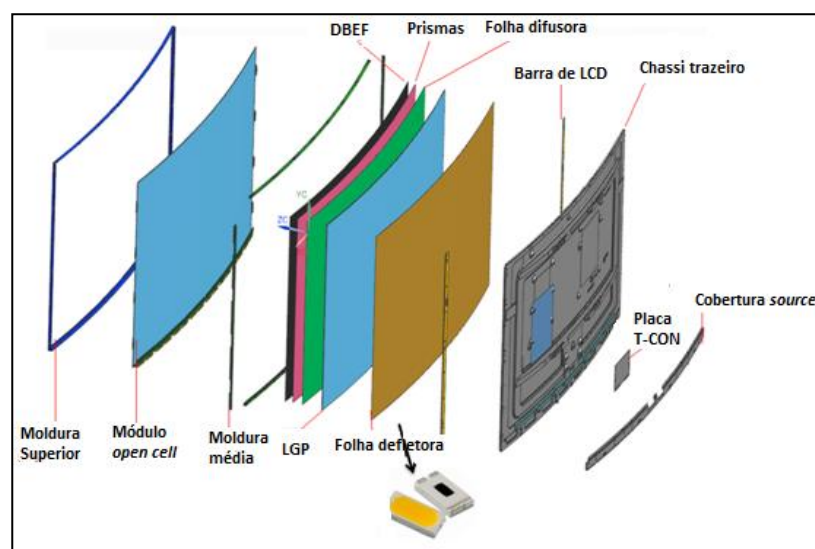


Figura 7 – Estrutura LCM 2014 versão curva.

Fonte: Lee G. *et al.*, 2014.

2.2 Reprodução de Cores

Displays coloridos usados em sistemas de processamento de imagem consistem essencialmente de uma memória de atualização que contém dados de imagem digitais que são convertidos em três sinais analógicos para acionar os canais de cores primárias (vermelho, verde e azul) de um monitor de televisão a cores (MUKHERIEE A. e VENKATESH Y. V., 1986). Atualmente, os LCDs são baseados em uma síntese de cor espacial usando um espectro contínuo de luz de fundo branco combinado com *subpixels* de filtro de cores formados por vermelho (R), verde (G), e azul (G) (WANDELL B. A. E SILVERSTEIN L. D., 2003). Os filtros a cores passam apenas um terço da luz e a resolução eficaz é apenas um terço da resolução de *subpixel* endereçável (WANDELL B. A. E SILVERSTEIN L. D., 2003), (LANGENDIJK E., 2007). Ao invés de se utilizar a síntese espacial de cor, uma cor sequencial aplica-se à síntese de cores temporais do TFT-LCD (YAMADA F., 2002), que ilumina a sequência R, G e B do *backlight*. As cores são formadas através da modulação da transmissão de cada *pixel* em cada campo (R, G, ou B), sem filtros de cor, conforme figura 8. Além disso, usando a mesma resolução de matriz ativa e de *subpixels*, a resolução espacial de uma cor sequencial do LCD também é potencialmente três vezes maior (ZHANG Y., *et al.*, 2014).

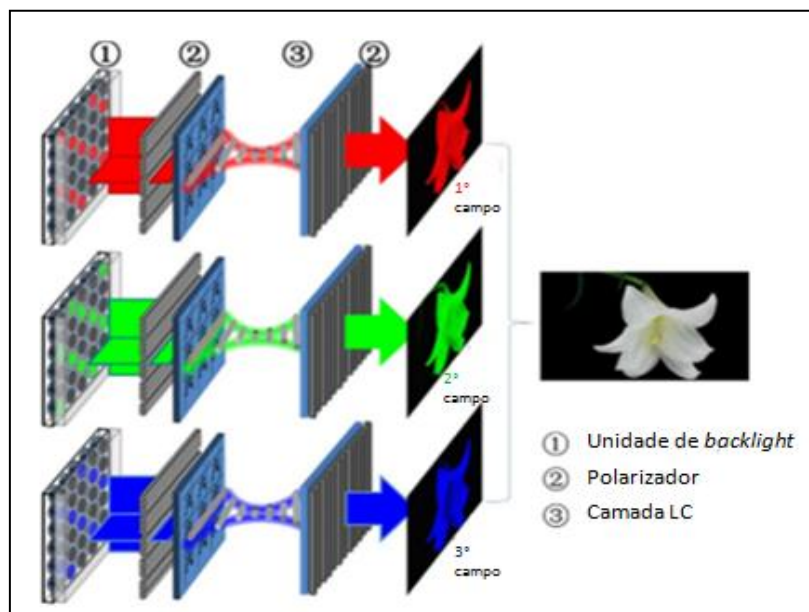


Figura 8 – Uma típica configuração da sequência de cores de um TFT-LCD, que ilumina o *backlight* R, G e B para síntese de cores, sem filtro de cor.

Fonte: ZHANG Y., *et al.*, 2014.

No entanto, uma cor sequencial de LCD convencional com *backlight* sofre de grave rompimento de cores (JÄRVENPÄÄ T., 2005). Taxas de atualização extremamente elevadas, bem acima de 600 Hz, ajudam a suprimir a quebra de cores; porém, essa alta taxa de atualização não é realista para os TFT-LCDs atuais e, irá certamente aumentar o custo do produto (LANGENDIJK E, 2007).

Recentemente foram propostos, diferentes métodos que utilizam *backlight* adaptativos (usar diferentes cores e luminâncias diferentes em cada campo) para reduzir os efeitos da quebra de cores em telas coloridas de campo sequenciais sem aumentar a frequência do painel. LIN F., *et al.* (2009) apresentaram uma tecnologia de sequência de cores, em que o primeiro campo contém uma base de cor verde e os segundo e terceiro campos contêm o teor de vermelho e azul extra de imagem. Como a imagem está localizada principalmente no primeiro campo, haverá menos cor a ser quebrada. CHENG H. *et al.* (2010) propuseram uma tecnologia sequencial com cinco cores primárias, o que amplia a gama de cores e suprime as cores a serem quebradas no teor do amarelo e ciano. ZHANG Y., *et al.* (2011) e LIN F. C., *et al.* (2011) relataram um método de dessaturação primária local, em que o *backlight* primário foi dessaturado localmente a partir de um triângulo padrão R-G-B para um menor, de acordo com o conteúdo da imagem. Uma vez que as diferenças de cor entre os campos são menores, haverá menos separação de cor. Para reduzir a taxa de atualização do painel, ZHANG Y., *et al.* (2011) propuseram a configuração 2-filtros de cores-2-campos, que utilizou um painel TFT-LCD de 120 Hz e um filtro de cor com duas bandas de espectro. Aplicando a síntese de cor tanto temporal quanto espacial, com baixa taxa de atualização e supressão do rompimento de cores.

Na maioria dos métodos mencionados acima a configuração original R-G-B do *backlight* é alterada para definições de retroiluminação adaptativas, assim, o sinal de condução do LC não é o valor R-G-B da imagem de entrada (ZHANG Y., *et al.*, 2014).

A figura 9 mostra a configuração do *backlight* com diferentes tecnologias sequenciais de cores ao exibir o conteúdo da imagem de 'Lily', usada na figura 8. Para as sequências de cor de TFT-LCD mais simples, com o *backlight* com sequência uniforme de R-G-B, o sinal de condução LC é o mesmo que as cores espaciais habituais dos LCDs. Nesse caso, os sinais de condução LC para diferentes campos são transferidos sem qualquer modificação para os correspondentes *subpixels*. No entanto, ao aplicar os algoritmos de estêncil sequencial de cor ou dessaturação primária local, a intensidade do *backlight* e a cromaticidade são ajustadas temporalmente e espacialmente (ZHANG Y., *et al.*, 2014).

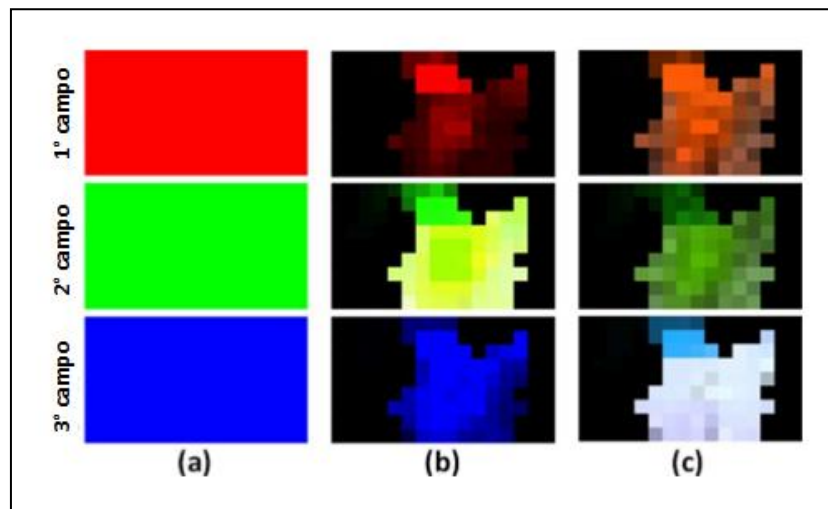


Figura 9 – Definições de *backlight* com diferentes algoritmos de sequência de cores ao exibir a imagens ‘Lily’
(a) Backlight com sequência uniforme de R-G-B. (b) Algoritmo de estêncil sequêncial de cor.
(c) Algoritmo de dessaturação primária local.
Fonte: ZHANG Y., *et al.*, 2014.

CAPÍTULO 3. AUTOMATIZAÇÃO DA INSPEÇÃO DO PAINEL TFT-LCD – HARDWARE

Este capítulo descreve o projeto de hardware da plataforma para inspeção automática de painéis TFT-LCDs. O item 3.1 trata da inspeção de defeitos em painéis TFT-LCDs, o item 3.2 discorre a respeito do perfil da plataforma, detalhando o desenvolvimento do hardware. Finalizando o capítulo, o item 3.3 apresenta o modelo de operação, trazendo as etapas de preparação da inspeção automática.

3.1 Inspeção de defeitos em painéis TFT-LCDs

Há uma grande variedade de técnicas que têm sido utilizadas para detectar e classificar os defeitos de painéis TFT LCDs (KIDO, T., 1992) (CHEN, P.O. *et al.*, 2000) (HAWTHORNE, J., 2000). De acordo com WEISS, A. e SARANLI, A., (2006), as técnicas pertencem a três grandes categorias: elétricas, ópticas e eletro-ópticas. As técnicas elétricas e eletro-ópticas exigem equipamentos de inspeção para obter algumas medidas de propriedades elétricas ou eletromagnéticas. Este é o caso que se aplica para várias técnicas primárias de inspeção elétricas e ópticas disponíveis para verificação de defeitos em painel TFT-LCD. O painel pode ser excitado por meios elétricos, e o comportamento elétrico ou eletromagnético resultante pode ser medido, gravado e comparado com o comportamento normal conhecido para determinar a presença ou ausência de anomalias no painel inspecionado. Através destas técnicas, o tamanho físico ou a visibilidade do defeito que gera a anomalia elétrica e/ou eletromagnética, frequentemente, não é um fator limitativo para a detecção. O defeito é detectado se existe um impacto mensurável sobre o comportamento elétrico e/ou eletromagnético do circuito do painel inspecionado, outras anomalias, independente do tamanho, são perdidas pelo sistema de inspeção. Além disso, alguns destes defeitos podem afetar uma área que é muito maior que o tamanho do defeito físico. Assim, em alguns casos, uma técnica de inspeção elétrica ou eletro-óptica poderia detectar um defeito que não corresponde necessariamente ao defeito físico, que é a fonte da anomalia do painel inspecionado.

KIDO, T. (1993) e KIDO, T. *et al.* (1995) apresentam uma técnica de detecção óptica para a inspeção da matriz ativa dos capacitores de armazenamento de painéis LCDs. Um comando de detecção é enviado para a matriz individual de *pixel* do LCD, o comando é lido e comparado com o parâmetro do pixel padrão para determinar se existem *pixels* defeituosos (CHEN, P.O. *et al.*, 2000). HENLY, F.J. e ADDIEGO, G. (1991) utilizaram a técnica de

imagem de tensão para testar as características do TFT-LCD, medindo diretamente a distribuição de tensão real sobre o *pixel* do painel e, não na matriz ativa do *pixel*. A vantagem da técnica de inspeção óptica e da técnica de imagem de tensão é que cada *pixel* no painel de TFT-LCD pode ser testado individualmente. A principal desvantagem de tais técnicas é que as pontas de prova utilizadas para a medição de tensão devem ser concebidas separadamente para cada configuração do painel. HENLY *et al.* (2002) e NAKAMURA, T. *et al.* (2002) afirmam que, com o rápido desenvolvimento de tecnologias de LCD, os monitores da nova geração de TFT-LCD de polissilício com controladores integrados não precisam de capacitores de armazenamento. Sendo assim, os métodos de detecção óptica e de detecção por imagem de tensão se tornaram obsoletos, uma vez que não podem testar matrizes sem os capacitores de armazenamento.

Portanto, o desenvolvimento de um sistema de inspeção visual automatizado irá contribuir significativamente para a melhoria da qualidade de produtos de TFT-LCD. Para atender a expectativa do consumidor, os monitores devem possuir propriedades de exibição de confiança: manutenção; uniformidade de cores suficiente, revelando as cores verdadeiras, e garantindo a precisão da reprodutibilidade (LIN H. D. e CHIEN C. H., 2006). Como a uniformidade da cor exibida pelo monitor pode ser afetada por condições de iluminação, fatores ambientais e percepção visual humana subjetiva, garantir a qualidade visual confiável dos TFT-LCDs é um problema importante que precisa ser resolvido.

Algumas técnicas baseadas em visão foram desenvolvidas para inspeção de defeitos de LCD. O algoritmo de processamento costuma ser um padrão computacional intensivo, ou um método de diferenciação mais simples (HAWTHORNE, J., 2000). NAKASHIMA, K. (1994) apresentou um sistema de inspeção baseado na subtração da imagem e filtragem de Fourier para detecção de defeitos em um painel LCD. O método de subtração de imagens foi utilizado para detectar defeitos em preto e branco como *pixel* apagado e partículas, e a filtragem de Fourier foi aplicada para defeitos de corpos estranhos e manchas. SOLOKOV, S. e TRESKUNOV, A. (1992) desenvolveram um sistema visual automatizado para a inspeção final de LCDs. Eles compararam as distribuições de brilho entre uma imagem referência de um LCD e uma imagem de um LCD com defeito em sua superfície. As técnicas baseadas em visão existentes, geralmente, necessitam de uma imagem de referência pré-armazenada para efeitos de comparação. Isso requer grande capacidade de armazenamento de imagens de referências e controles ambientais precisos, tais como alinhamento e iluminação para o painel TFT-LCD sob inspeção. OH, J.H., *et al.* (2004) e SOLOKOV, S. e TRESKUNOV, A (1992) estudaram a detecção dos tipos de defeitos por linha de painéis TFT-LCDs. Em uma imagem

de baixa resolução, um banco de filtros direcionais (DFB), o qual encontra informações direcionais é usado para identificar defeitos em forma de linha horizontal ou vertical. Na imagem de alta resolução, é empregada uma técnica de limiarização multi-nível com base em uma abordagem estatística para detectar defeitos de linhas anormais que são mais claras ou mais escuras do que os *pixels* adjacentes. Sua abordagem é aplicável apenas aos defeitos em forma de linha.

As técnicas de visão anteriormente mencionadas são baseadas na análise de níveis de cinza das imagens bidimensionais. Atualmente, há uma demanda generalizada em curso por telas grandes de TFT-LCD usadas em monitores de vídeo e TVs em um mercado de bilhões de dólares por ano. Para inspeção visual automática de painéis de TFT-LCD, é obrigatória a aquisição de imagens de altíssima resolução. TSAI, D. M. e HUNG, C. Y (2005) foram os pioneiros no uso de uma linha de varredura de alta resolução para inspeção de painéis TFT-LCD de tamanho grande. Eles apresentaram um regime de inspeção visual automático que identifica defeitos diretamente das imagens das linhas unidimensionais (1-D) dos TFT-LCDs. Sua plataforma usa uma resolução de 60 *pixels*/m e eles afirmam que é capaz de detectar micro defeitos, incluindo *pixels* apagados, arranhões e partículas na superfície do painel TFT-LCD. Para cada varredura de linha horizontal, a distância entre dois picos da linha de imagem adjacentes no nível de cinza, corresponde ao espaçamento entre os dados das duas linhas verticais adjacentes. Cada perfil de linha digitalizada exibe suas propriedades com periodicidade e regularidade. No esquema de TSAI, D. M., *et al.* (2005), o problema da detecção de defeitos em superfícies do painel TFT-LCD é considerado como a identificação de anomalias em um sinal periódico do nível de cinza 1-D. O método não se baseia na criação de características quantitativas para descrever as anomalias locais, nem exige um modelo de referência para comparação. O sistema é baseado em um esquema de reconstrução de imagem que funciona diretamente sobre as imagens de entrada 1-D usando a transformada de Fourier 1-D. Ele utiliza totalmente a estrutura geométrica inerente dos painéis TFT-LCD. Inicialmente, o sistema elimina os componentes que representam o perfil do padrão de pico do nível de cinza 1-D da imagem da linha de um TFT-LCD no espectro 1-D de Fourier, em seguida, transforma a imagem, usando a transformada de Fourier 1-D inversa. O processo de reconstrução de Fourier pode efetivamente remover os picos dos periódicos e distintamente preservar os defeitos no resultado da imagem 1-D. Para uma imagem de linha do TFT-LCD sem defeitos, o processo de reconstrução irá resultar em uma linha horizontal plana. Por outro lado, uma alta flutuação de linha será gerada na reconstrução de uma imagem da linha do TFT-LCD com defeito. Os limites de controle de processos estatísticos simples podem então

ser usados para configurar os limites de distinção entre segmentos defeituosos e fundo uniforme em cada imagem linha 1-D reconstruída. Uma imagem de linha de uma região sem defeitos na superfície do painel TFT-LCD se tornará um perfil de nível cinza aproximadamente uniforme, enquanto a imagem de linha de uma região defeituosa será distintamente preservada na reconstrução.

O método de TSAI, D. M. e HUNG, C. Y (2005) usa a *wavelet de Haar* (RYU J. S. *et al.*, 2004) e (LEPIK, Ü. e HEIN, H., 2014) no quadro de composição para remover o efeito de iluminação irregular no ambiente de teste. Finalmente, controles simples de limites 3-sigma são utilizados para segmentar os elementos altamente desviados, ou seja, defeitos. A partir do detalhe de fundo uniforme na parte decomposta do quadro da *wavelet de Haar*. Este método tem por principal objetivo a detecção de vários micros defeitos em superfícies do painel TFT-LCD, mas ele não classifica os tipos de defeitos detectados, um importante *feedback* necessário para ser entregue aos fornecedores para melhorar a qualidade de seus produtos.

Técnicas de inspeção puramente ópticas, conhecidas como *automated optical inspection* (AOI), podem detectar e localizar defeitos independentes de suas propriedades elétricas, desde que sejam visíveis sob a configuração óptica escolhida. Atualmente, a tecnologia de câmaras e a velocidade de processamento dos computadores permitem que mesmo pequenos defeitos sejam detectados em uma quantidade razoável de tempo, podendo ser usado para detecção automática de defeito nas linhas de produção das fábricas. A plataforma aqui apresentada tira proveito de tal avanço tecnológico e proporciona uma solução de baixo risco e alta qualidade para o problema.

3.2 Perfil da Plataforma

A plataforma desenvolvida para aquisição de imagens é baseada em câmeras, como já mencionado por SOLOKOV, S. e TRESKUNOV, A. (1992) e corroborado por LIN H. D. e CHIEN C. H., (2006), a luminosidade do ambiente pode interferir na aquisição de imagem, portanto, o TFT-LCD sob inspeção é posicionado em uma câmara fechada para garantir a estabilidade das imagens capturadas. Observou-se, então, um número considerável de detalhes de engenharia no desenvolvimento do protótipo, incluindo: como irá ser realizada a alimentação elétrica do painel, como inserir o painel testado na câmara que tem uma plataforma que pode trabalhar com todos os tamanhos de painéis dos diferentes produtos, não danificação do painel ou do seu acabamento durante o teste, entre outros. Duas câmeras são usadas para se obter uma resolução adequada de imagem. A plataforma deve identificar

automaticamente o tamanho do painel, as câmeras trabalham de forma independente. A figura 10 apresenta o protótipo da plataforma para inspeção visual automática de painéis TFT-LCD. A figura 10 (a) apresenta uma visão frontal da plataforma; a figura 10 (b) detalha um painel TFT-LCD sendo inserido para iniciar o teste e, a figura 10 (c) destaca o monitor de operações, onde o operador realiza e monitora os testes. A figura 11 ilustra a visão interna da plataforma, detalhando as câmeras e um painel TFT-LCD de 55” sendo posicionado para teste (figura 11(a)), as câmeras posicionadas para o teste (figura 11(b)) e o detalhe da câmera utilizada no projeto (figura 11(c)).

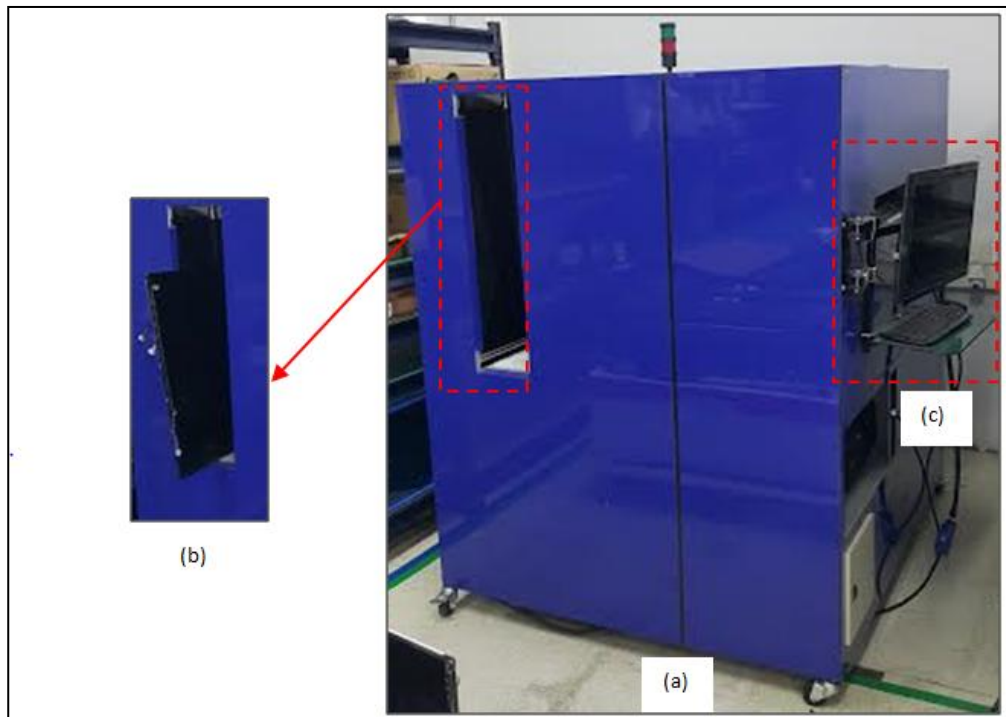


Figura 10 – Protótipo da plataforma para inspeção visual automática de painéis TFT-LCDs (a) visão frontal da plataforma. (b) Inserção do painel TFT-LCD para teste. (c) Monitor de controle do operador.

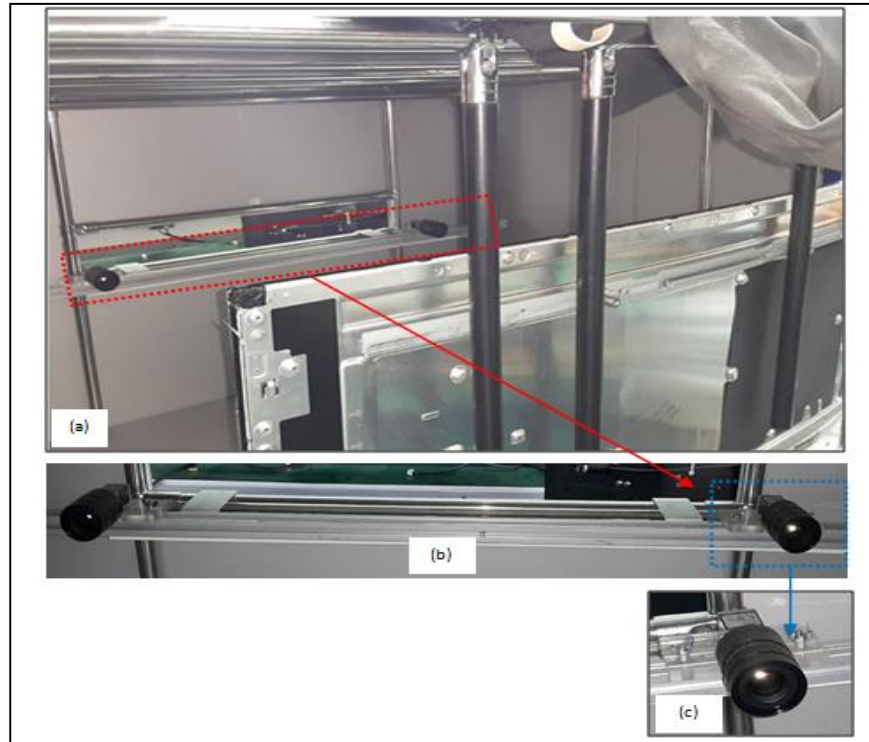


Figura 11 – Visão interna da plataforma desenvolvida (a) Câmeras e painel TFT-LCD de 55” sendo posicionado para teste. (b) Câmeras posicionadas para teste (c) Detalhe da câmera utilizada no projeto.

3.2.1 Composição do hardware

O sistema elétrico do projeto está subdividido em duas partes:

- 1 – Circuito da CPU.
- 2 – Circuito de energização do TFT.

A identificação da fiação elétrica nas canaletas usadas no projeto está disposta conforme indicado na tabela I:

Tabela I – Identificação da fiação elétrica do projeto

CANALETA	DESCRIÇÃO
01	Cabo de rede das câmeras
02	Cabos USB/HDM, mouse/teclado
03	Cabos de rede LAN
04	Cabos de força da CPU

Os componentes, conexões e instalações elétricas do projeto atendem aos requisitos da norma regulamentadora n° 12 (NR-12), portaria SIT n° 197/2010 do Ministério do Trabalho e Emprego, que regulamenta e normatiza a segurança em máquinas e equipamentos industriais (NORMA REGULAMENTADORA N° 12, 2011). O circuito da CPU é alimentado através da energia proveniente a partir do acionamento do disjuntor principal. A CPU e o monitor são ligados na rede 220V, o mouse e o teclado são plugados nas entradas USB da

placa mãe da CPU, as duas câmeras utilizam a tecnologia de conexão USB 3.0 para um fluxo de dados mais rápido e também para a alimentação das mesmas (BASLER ACE. USER'S MANUAL FOR GIGE CAMERAS, 2012). Para o sinal de vídeo do monitor é utilizada uma conexão de um cabo HDMI. Os componentes pertencentes a este circuito estão listados na tabela II. O circuito da CPU está representado na figura 12.

Tabela II – Relação de componentes do projeto

QUANTIDADE	COMPONENTE	DESCRIÇÃO
01	CPU	Processador Core i7-i7-3610QE, 2.3 GHz, SO Windows 7 64 bits.
01	Mouse	Mouse classic ótico preto USB.
01	Teclado	Teclado multimídia preto USB conexão 1817.
01	Cabo HDMI	Cabo adaptador HDMI.
01	TV/Monitor	TV/Monitor Samsung 27".
02	Disjuntor	Disjuntor DIN Bipolar Siemens 5SX1 25 A Curva C.
01	Tomada	Tomada 220V 3 pontas, padrão brasileiro.
02	Câmera basler	ACA250-25GC e 2048X2048, com 25 fps, monocromática e colorida.
02	Lentes	HF 12.5 HA-1B, distância foal 12,5 mm, resolução 5 Mpixels.

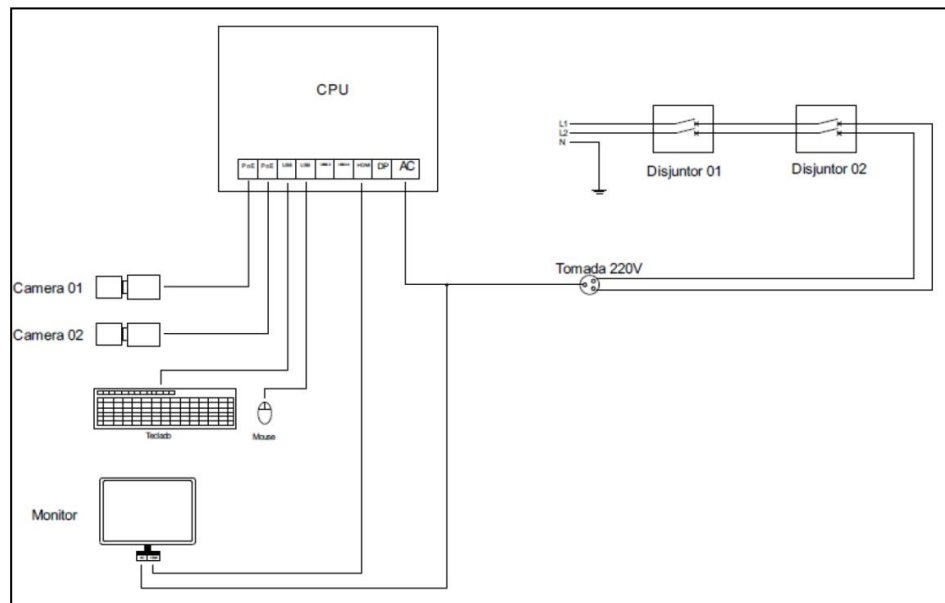


Figura 12 – Diagrama do circuito da CPU.

O circuito de energização do TFT-LCD é composto pelas placas *power*, originalmente utilizadas em TVs Samsung, denominadas placas SMPS (*Switched-Mode*

Power Supply) e por uma placa denominada placa de conectores SMPS, que possibilita a utilização de vários modelos de TFT-LCD. A placa de conectores SMPS foi desenvolvida exclusivamente para este projeto. A placa foi desenvolvida baseada no ambiente de desenvolvimento de circuitos eletrônicos sugerido por DUMITRESCU M. C. e CODREAN N. (2015). Inicialmente criou-se o diagrama esquemático, depois de finalizado o diagrama esquemático, os arquivos resultantes foram importados para o bloco PCB, resultando no *layout* da placa. O esquema elétrico é representado pela figura 13 e a visão geral da placa é apresentada na figura 14.

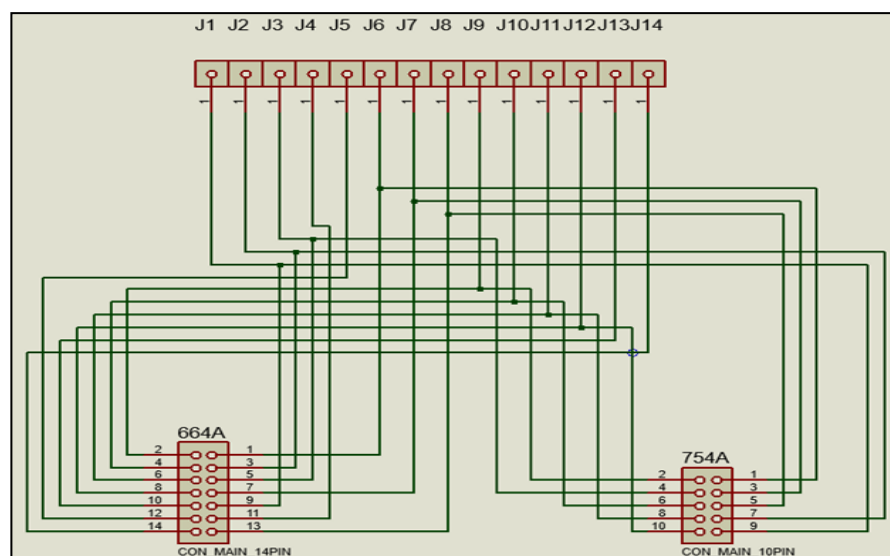


Figura 13 – Esquema elétrico da placa de conectores SMPS.

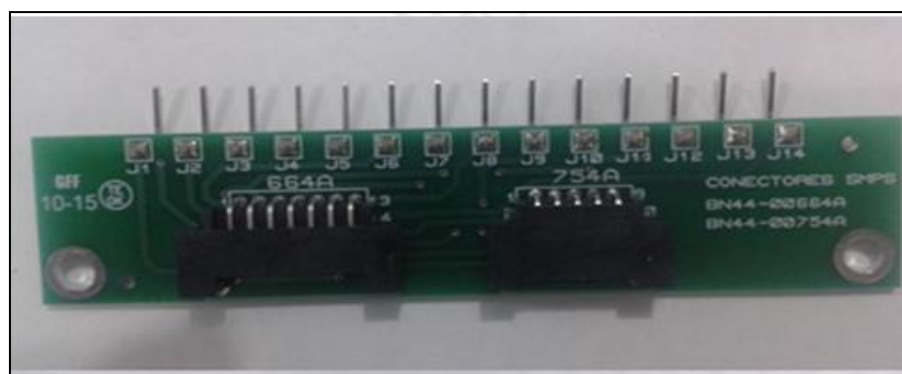


Figura 14 – Visão geral da placa de conectores SMPS.

3.2.2 Câmera para aquisição das imagens

A câmera utilizada para aquisição das imagens foi a Basler ace ACA250-25GC, que é utilizada em aplicações industriais, dispositivos médicos, sistemas de tráfego e em sistemas de vigilância (BASLER ACE. USER'S MANUAL FOR GIGE CAMERAS, 2012).

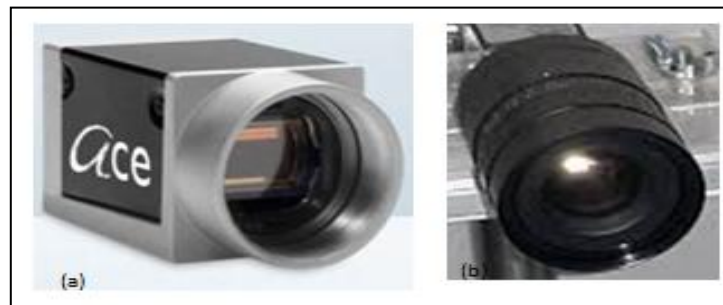


Figura 15 – Câmera Basler ace ACA250-25GC

(a) figura ilustrativa (b) imagem real da câmera utilizada no projeto.

Fonte: BASLER ACE. USER'S MANUAL FOR GIGE CAMERAS, 2012.

3.2.3 Especificações gerais da câmera

A tabela III lista as especificações da câmera utilizada no projeto (BASLER ACE. USER'S MANUAL FOR GIGE CAMERAS, 2012).

Tabela III – Especificações da câmera Basler ace ACA250-25GC

ESPECIFICAÇÕES	ACA250-25GC
Tamanho do Sensor (H x V)	gm: 659 x 494 gc: 658 x 492
Tipo do sensor	Sony ICX424 AL/AQ Scan progressive CCD Shutter global
Tamanho óptico	1/3"
Tamanho do pixel (H x V)	7.4µm x 7.4 µm
Taxa máxima de que quadros (em máxima resolução)	25 fps
Mono/cor	Mono ou colorida (os modelos de cores incluem um padrão de filtro Bayer nos sensores)
Output de dados	Gigabit Ethernet (1000 Mbit/s)
Formato dos pixels	Mono 8 Bayer BG 8 Bayer BG 12
Requisitos de energia	+12 VDC (±10%), < 1% de ripple, fornecido via conector de 6 pinos (ou USB)

A figura 16 mostra a resposta espectral da câmera. As curvas de resposta espectral excluem as características das lentes objetivas, da fonte de luz e do filtro IR-CUT. Para se obter o melhor desempenho, é recomendado o uso de um filtro dielétrico de corte IR. O filtro deve transmitir em uma faixa de 400 nm a 720nm e o ponto de corte deve ser em uma faixa de 720 nm a 1100 nm. Um filtro de corte IR é construído no adaptador da lente da câmera (BASLER ACE. USER'S MANUAL FOR GIGE CAMERAS, 2012).

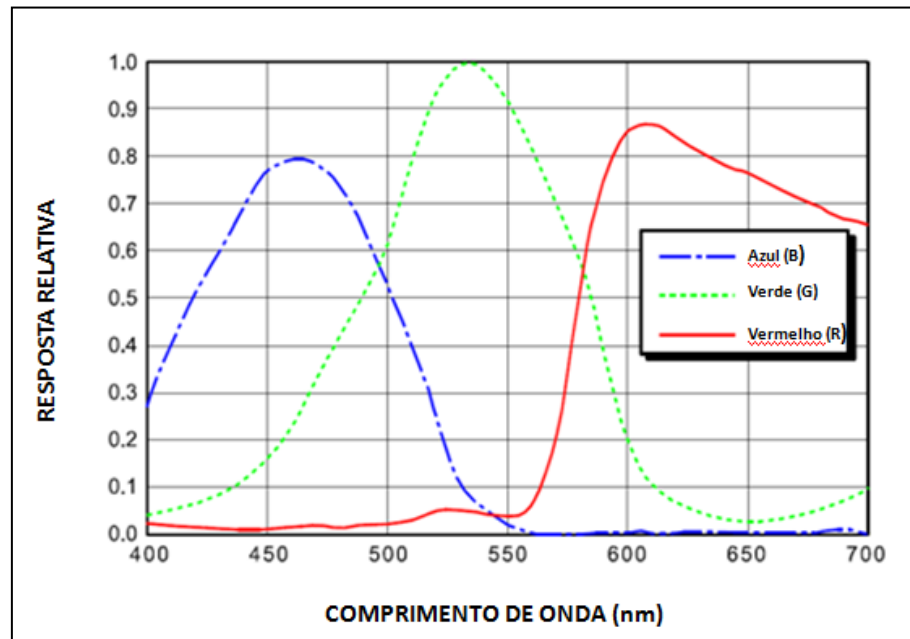


Figura 16 – Resposta espectral da câmera Basler ace ACA250-25GC.
Fonte: BASLER ACE. USER'S MANUAL FOR GIGE CAMERAS, 2012.

Ainda de acordo com BASLER ACE. USER'S MANUAL FOR GIGE CAMERAS (2012) a câmera oferece recursos como um obturador global e controle de tempo de exposição eletrônico. O início e o tempo de exposição podem ser controlados por parâmetros transmitidos para a câmera através do API Basler e da interface GigE. Há também os parâmetros disponíveis para ajustar a câmera para aquisição de imagem única ou aquisição de quadro contínuo. O início da exposição também pode ser controlado através de um sinal de "gatilho de início de quadro" (*ExFSTrig*), gerado externamente, e que é aplicado à linha de entrada da câmara. O sinal *ExFSTrig* facilita início da aquisição de quadros periódicos ou não periódicos. Modos que permitem comprimento de tempo de exposição ser diretamente controlado pelo sinal *ExFSTrig* estão disponíveis ou, este comprimento, pode ser definido por um período pré-programado de tempo.

As cargas acumuladas são lidas fora do sensor quando a exposição finaliza. Na leitura, as cargas acumuladas são transportadas a partir de elementos sensíveis à luz do sensor

(*pixels*) para os registradores de deslocamento verticais, conforme ilustrado na figura 17. As cargas da linha inferior de *pixels* na matriz são movidas para um registrador de deslocamento horizontal. Em seguida, as cargas são deslocadas para fora do registrador horizontal. À medida que as cargas se movem para fora do registrador de deslocamento horizontal, estas são convertidas para voltagens proporcionais ao tamanho de cada carga. Cada tensão é então amplificada por um Controle de Ganho Variável (VGC) e digitalizada por um conversor analógico-digital (ADC). Após cada tensão ser amplificada e digitalizada, passa através de um FPGA e em um *buffer* de imagem. Todos os deslocamentos são cronometrados de acordo com a taxa de dados interna da câmera. O deslocamento continua na linha até que todos os dados de imagem sejam lidos fora do sensor (BASLER ACE. USER'S MANUAL FOR GIGE CAMERAS, 2012).

BASLER ACE USER'S MANUAL FOR GIGE CAMERAS (2012) afirma ainda que os dados de *pixel* deixam o *buffer* de imagem e passam através da FPGA para um controlador *ethernet* onde são montados em pacotes de dados. Os pacotes são então transmitidos através de uma rede *ethernet* para um adaptador de rede no PC *host*. O controlador *ethernet* também manipula a transmissão e recepção de dados de controle, tais como alterações nos parâmetros da câmera.

O *buffer* de imagem entre o sensor e o controlador *ethernet* permite que os dados sejam lidos a partir do sensor a uma velocidade que é independente da taxa de transmissão de dados entre a câmera e o PC *host*. Dessa forma, assegura-se que a taxa de transmissão de dados não tem qualquer influência sobre a qualidade da imagem (BASLER ACE. USER'S MANUAL FOR GIGE CAMERAS, 2012).

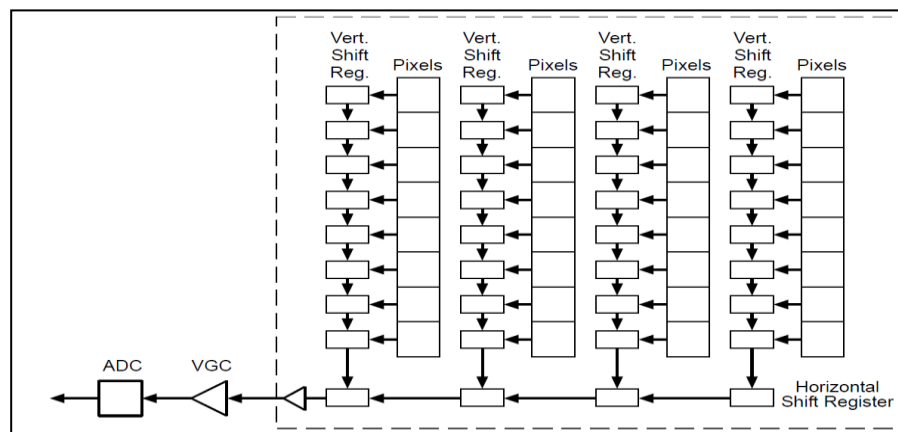


Figura 17 – Deslocamento horizontal e vertical das cargas aculadas (pixels).
Fonte: BASLER ACE. USER'S MANUAL FOR GIGE CAMERAS, 2012.

3.3 Modo de operação da plataforma

A operação da plataforma de inspeção automática de painéis TFT-LCDs deve seguir as seguintes etapas:

1. Conectar a tomada 220V 3 pontas, padrão brasileiro à rede elétrica trifásica, conforme figura 18.

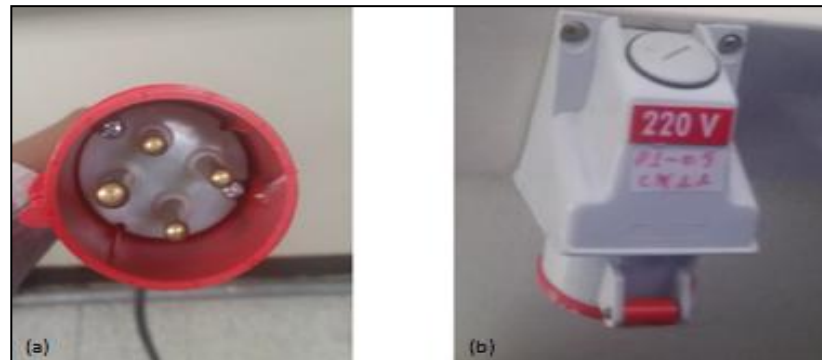


Figura 18 – Tomada trifásica padrão brasileiro (a) Conector macho (b) conector fêmea.

2. Energizar o sistema, ligando o disjuntor DIN Bipolar Siemens 5SX1 25 A Curva C que se encontra no quadro elétrico da plataforma, conforme figura 19.

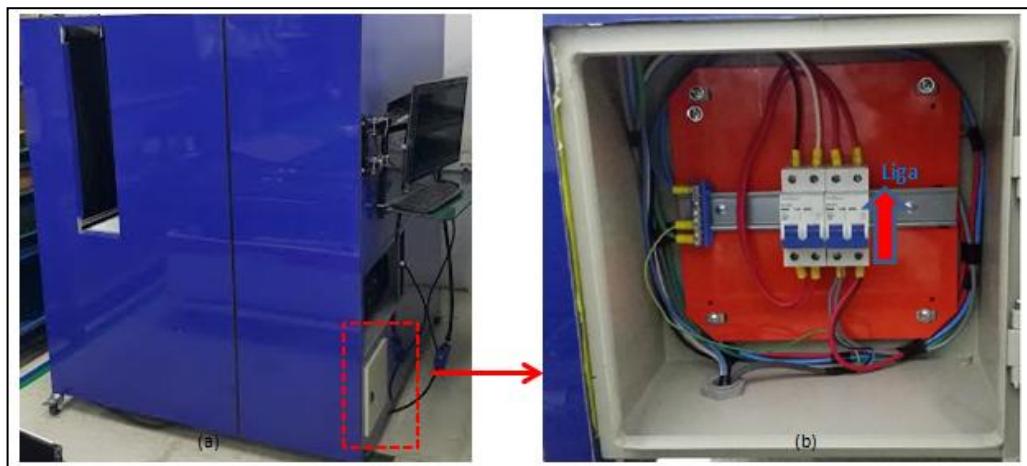


Figura 19 – (a) Quadro elétrico da plataforma (b) Disjuntor DIN Bipolar Siemens 5SX1 25 A Curva C.

3. Realizar o *set up* de acordo com o tamanho do painel TFT-LCD. Este procedimento foi pensado para ser genérico, a fim de ser facilmente adaptado para diferentes modelos. Os produtos podem ser diferentes, de acordo com as demandas do processo produtivo (THIERRY C., *et al.*, 1995). Um aspecto importante de aceitação e, por conseguinte, o sucesso de uma solução industrial, é a integração dos produtos e serviços através de um ciclo de vida contínuo

(MISHIMA, N., 2013). Em adição a isto, emerge a preocupação ambiental, de segurança e qualidade. Baseado nestes conceitos desenvolveu-se um ajuste mecânico da esteira da plataforma e das câmeras, integrando os diferentes modelos e tamanhos de painéis. O parafuso guia da esteira e as câmeras devem ser posicionados de acordo com a polegada do painel, conforme figuras 20 e 21.

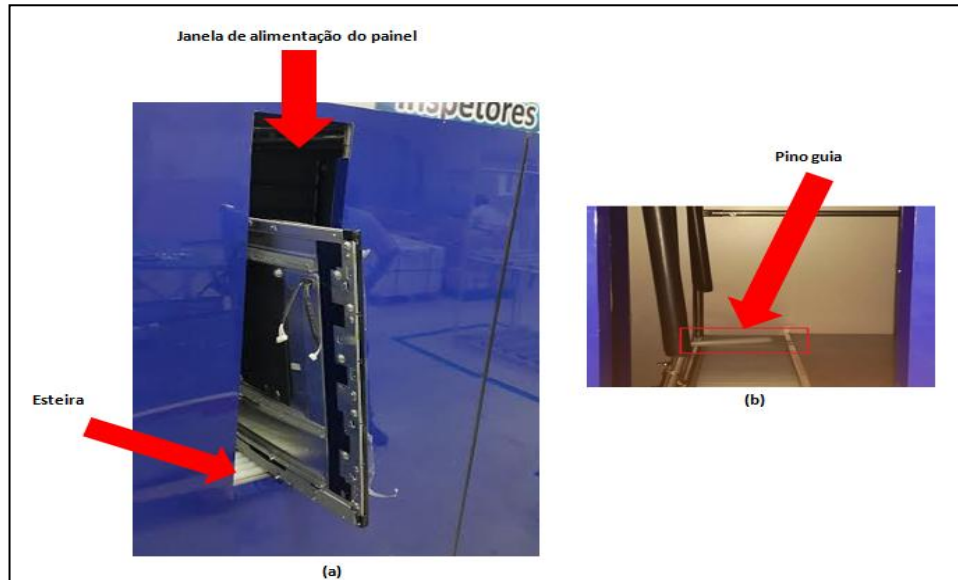


Figura 20 – *Set up* da esteira (a) Visão geral da esteira e janela de alimentação do painel (b) Ajuste do pino guia de acordo com o tamanho do painel.

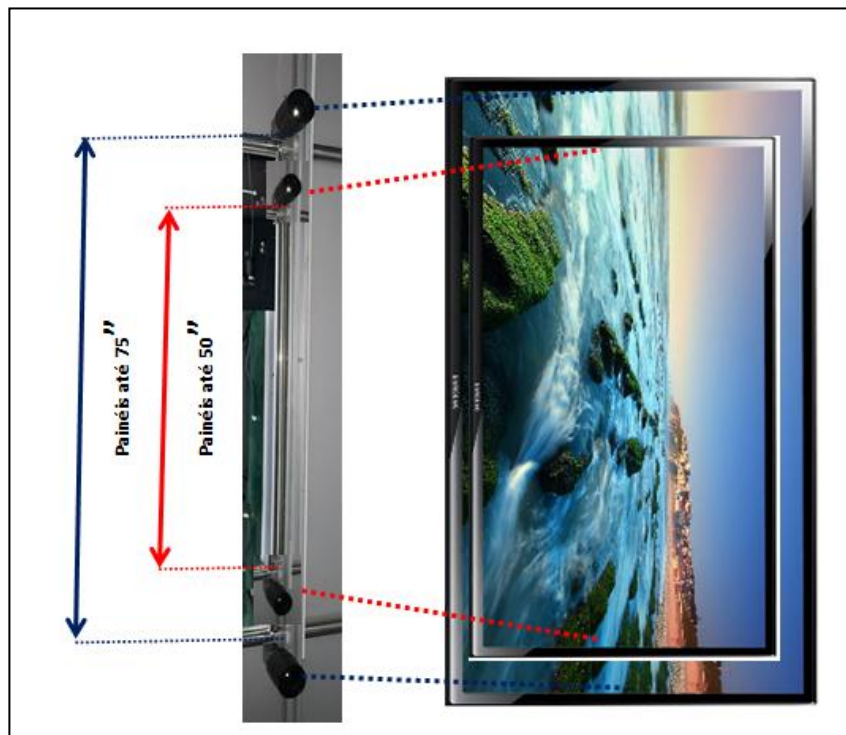


Figura 21 – *Set up* das câmeras de acordo com o tamanho do painel.

4. Posicionar as placas para alimentação elétrica do painel TFT-LCD dentro da caixa de alimentação, conforme ilustrado na figura 22.

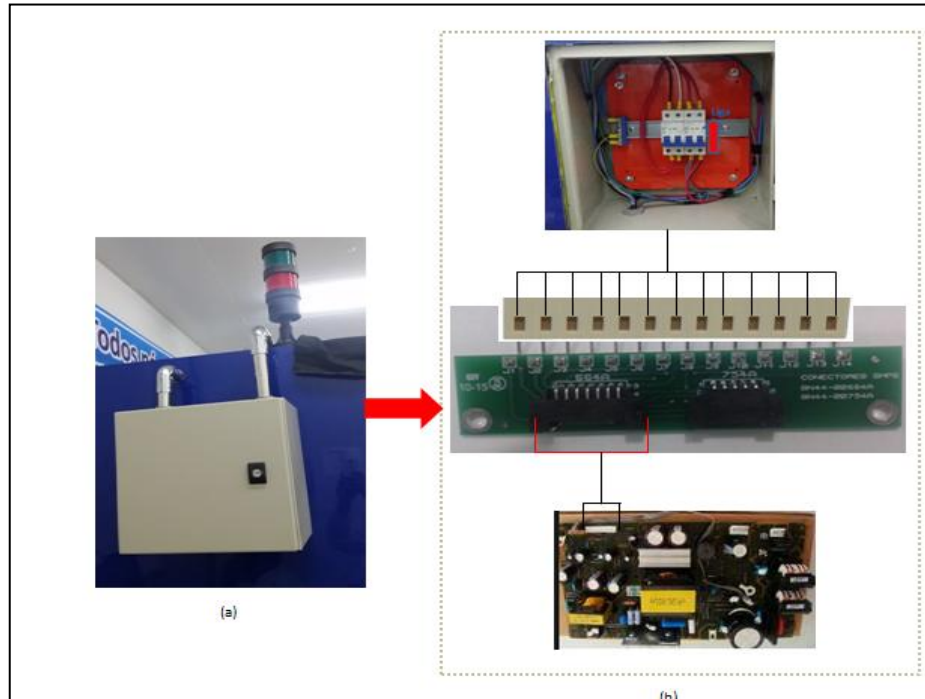


Figura 22 – Placas de alimentação da plataforma
(a) Caixa de alimentação (b) diagrama do circuito das placas de alimentação.

5. Posicionar o painel TFT-LCD na cabine. Inserir o painel até a posição limitada pelo pino guia, conforme figura 23.

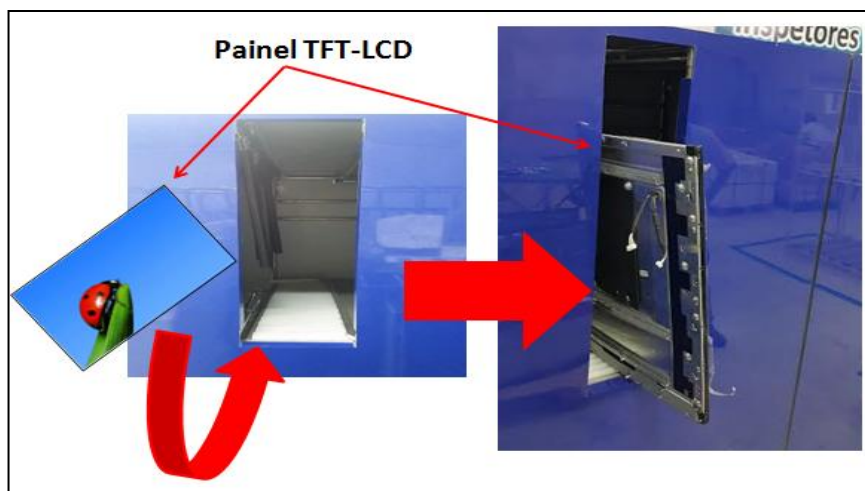


Figura 23 – Inspeção do painel TFT-LCD na plataforma para inspeção automática.

6. Iniciar a inspeção automática através do programa de teste desenvolvido para a plataforma. O detalhamento da metodologia de inspeção automatizada será visto no próximo capítulo.
7. Após finalizar o teste, retirar o painel da plataforma.

CAPÍTULO 4. AUTOMATIZAÇÃO DA INSPEÇÃO DO PAINEL TFT-LCD – SOFTWARE E CLASSIFICAÇÃO DOS DEFEITOS

Este capítulo discorrerá sobre o projeto de *software* da plataforma para inspeção automática de painéis TFT-LCD e sobre a classificação dos defeitos encontrados. Inicialmente, o tem 4.1 aborda o perfil do *software* da plataforma, fazendo um apanhado geral sobre a estrutura do programa. O item 4.2 trata da aquisição das imagens, sendo que a definição da região de interesse será discutida no item 4.3. O item 4.4 discorre sobre a extração das características das imagens e, finalmente, o item 4.5 aborda a análise das imagens, trazendo o projeto do classificador e seu treinamento.

4.1 Perfil da plataforma – *software*

O painel TFT-LCD é inspecionado no modo fábrica, neste modo é possível realizar todos os ajustes necessários para o funcionamento final dos televisores, tais como, ajuste de convergência, cromaticidade, padrão de transmissão, padrões de protocolos, luminância, etc. O componente responsável por gerenciar o modo fábrica no painel TFT-LCD é a placa T-CON (LEE G. *et al.*, 2014). Programou-se a placa T-CON para gerar as telas vermelho, verde, azul, escuro (escala de cinza) e branco em um intervalo de 3 segundos para cada, totalizando 15 segundos para exposição das 5 telas. O sistema de visão desenvolvido realiza todas as suas etapas no intervalo de tempo de exposição das telas. O tempo de execução do teste é flexível, podendo ser alterado de acordo com a necessidade da empresa, conforme sugerido por PENG S. S e ZHOU M. C. (2003) e por RODRIGUES L. L. *et al.* (2010). A figura 24 ilustra a alternância de telas programada na placa T-CON.

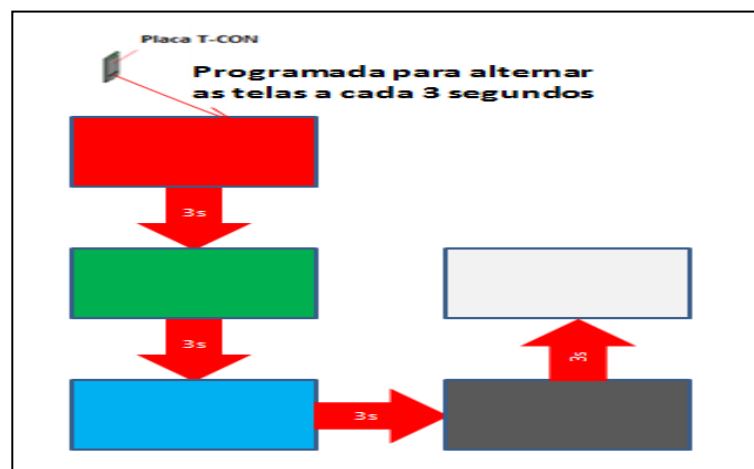


Figura 24 – Programação da placa T-CON para alternar as telas vermelho, verde, azul, escuro e branco em intervalos de 3 segundos.

Reconhecimento e processamento de imagem industrial e, sua consequente necessidade de classificação, tem tido cada vez mais importância como uma metodologia de teste. Um dos problemas mais difíceis e complexos de processamento de imagem industrial é a inspeção de superfície, que é o processo destinado a detectar um defeito em uma superfície (HABIL. S., 2002). A produção de painel TFT-LCD requer a adoção de um sistema automático de inspeção de defeitos capaz de classificar os defeitos encontrados (NAKASHIMA, K., 1994).

No desenvolvimento do *software* da plataforma para inspeção visual automática de painéis TFT-LCD foi adotada a técnica de reconhecimento de imagem e, utilizou-se a linguagem Labview. O classificador utilizado foi o *Naive Bayes*. O algoritmo *Naive Bayes* gera classificadores probabilísticos utilizando a Teoria de Bayes, a qual combina conhecimentos anteriores de uma determinada classe através de evidências selecionadas no conjunto de dados (FUKUNAGA K, 1991).

Labview (XIHUI C. e YINHONG Z., 2008) é uma plataforma de testes baseada em computador, ele simplifica muito a estrutura dos instrumentos tradicionais de *hardware* e é capaz de criar sistemas de análises que atendem às demandas de usuário (HENG D W., *et al.*, 2011) por este motivo, foi desenvolvido com labview um sistema de reconhecimento de *pixels* R, G, B e escala de cinza, que pode efetivamente detectar os defeitos em painéis TFT-LCD. Estudos utilizando o programa labview para reconhecimento de imagens e reconhecimento de características a partir dos valores da média e do desvio padrão dos histogramas de R, G, B e escala de cinza foram realizados por KULDEEPAK, *et al.* (2012) e SINGH P. e KAUR R. (2014). A figura 25 apresenta uma visão geral do terminal de operação da plataforma.

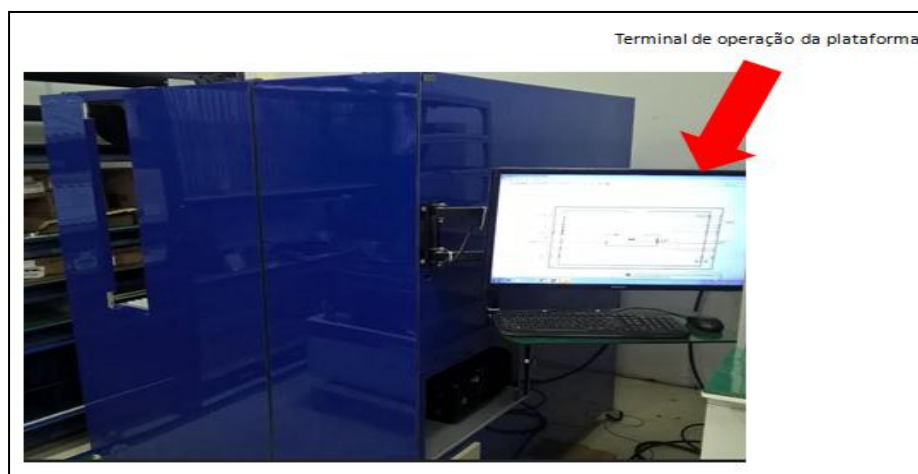


Figura 25 – Visão geral da plataforma.

As etapas do sistema de visão desenvolvido para compor a plataforma para inspeção visual automática de painéis TFT-LCD estão representadas no diagrama em blocos da figura 26. A figura 27 ilustra a tela inicial do sistema de visão desenvolvido.

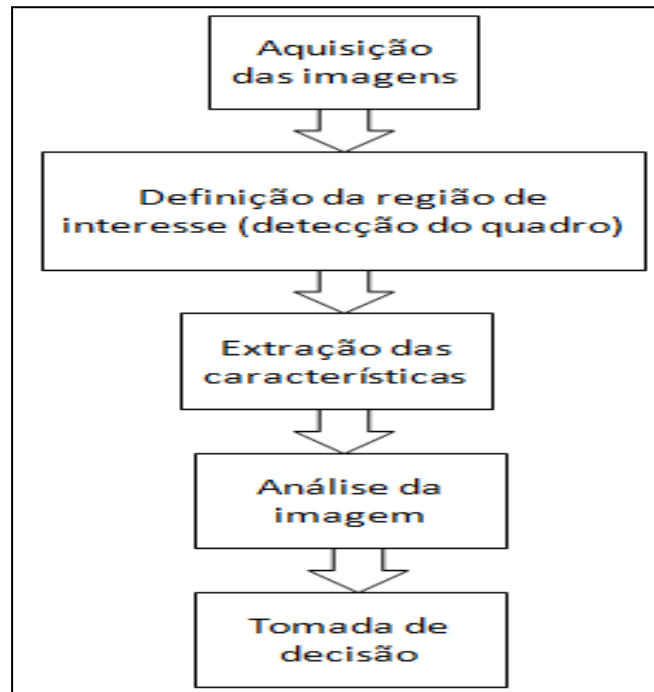


Figura 26 – Diagrama em bloco do sistema da plataforma para inspeção automática de painéis TFT-LCDs.



Figura 27 – Tela inicial do sistema de visão da plataforma para inspeção automática de painéis TFT-LCDs.

4.2 Aquisição das imagens

A imagem é captada pelas cameras CCDs que digitalizam o sinal analógico através de um conversor analógico-digital (ADC) interno. Após a digitalização, os dados são armazenados em um *buffer* e, transmitidos em pacotes de imagens para o PC. A transmissão é realizada via cabo USB (BASLER ACE. USER'S MANUAL FOR GIGE CAMERAS, 2012). As imagens são armazenadas sob a forma de arquivos com extensão JPG de 32 bits (HENGD W., *et al.* 2011). Baseado em CHEN S. C., *et al.* (2004) e SPANDANA P., *et al.* (2013), um histograma para cada componente de cor R, G, B, escala de cinza (escuro) é gerado. A figura 28 ilustra o programa de aquisição de imagens.

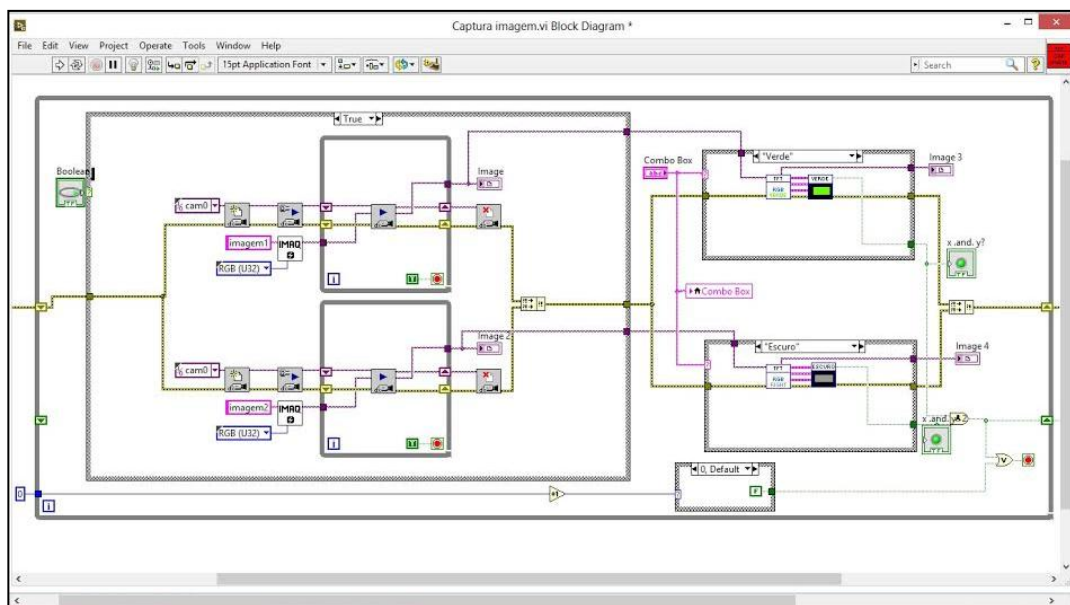


Figura 28 – Programa de aquisição de imagens desenvolvido em linguagem de programação labview.

A figura 29 mostra as imagens em vermelho, verde, azul, escala de cinza (escuro) e branco, representadas respectivamente pelas ilustrações 29 (a); 29 (b); 29 (c); 29 (d) e 29 (e) capturadas pela camera e geradas pelo sistema de visão.

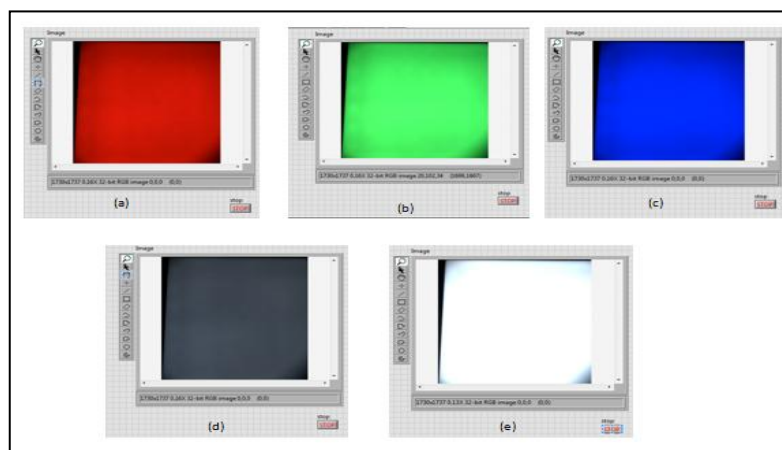


Figura 29 – Imagens em vermelho (a); verde (b); azul (c); escuro (escala de cinza) (d) e branco (e).

4.3 Definição da região de interesse (detecção do quadro)

A região de interesse é uma área de uma imagem na qual você deseja concentrar a sua análise. Pode-se definir uma região de interesse de forma interativa, por meio de programação, ou com uma máscara de imagem (IMAQTM, 2004). No sistema de visão desenvolvido para a plataforma de inspeção visual automática de painéis TFT-LCD, a definição dessa região se dá a partir do mapeamento das bordas do painel.

A altura e a largura das imagens capturadas permite detectar facilmente as dimensões do painel. O sistema identifica onde a iluminação da TV finaliza e traça uma reta nessa borda. Assim as bordas esquerda e direita e as bordas superior e inferior são identificadas. A primeira linha de *pixels* lidos após as bordas laterais, assim como a primeira linha de *pixels* identificados após as bordas superior e inferior são as referências para o cálculo da altura e largura e consequente identificação do tamanho do painel inspecionado. Com as extremidades mapeadas, a região de interesse da análise é identificada das extremidades para o centro. Esta abordagem foi desenvolvida baseada na técnica de identificação da posição da região de interesse usada por CHEN S. C. *et al.* (2004) e no uso dos *pixels* como referência para mapeamento de area proposta por CHEN L. *et al.* (2009). O processo de definição da região de interesse está representado pela figura 30.

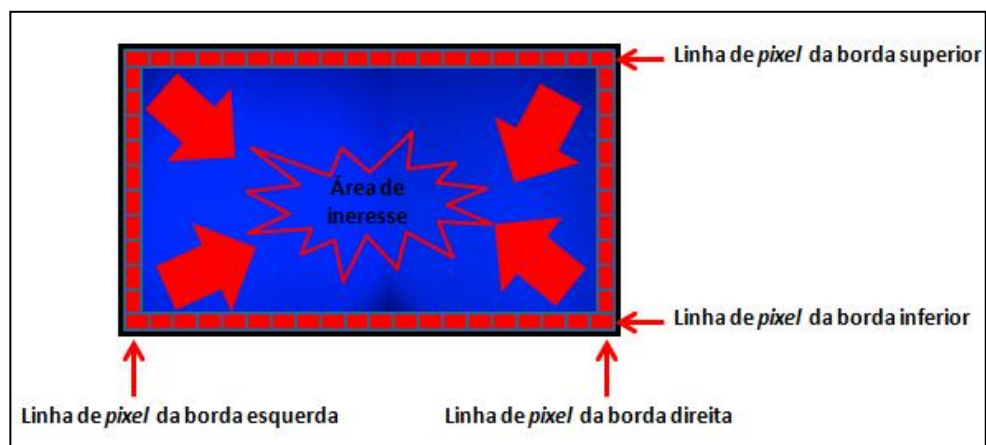


Figura 30 – Definição da região de interesse.

4.4 Extração das características

Ao observarmos padrões distintos procuramos encontrar as diferenças e semelhanças entre eles para então afirmarmos a que classe cada qual pertence. Uma característica é um

atributo, uma qualidade associada ao padrão que permite sua categorização, pode-se citar como exemplos de características: cor, altura, largura, área, volume dentre outros (BISHOP C. M., 2006) e (GONZALEZ R. C. e WOODS R. E. 2008).

Matematicamente, costuma-se agregar características em forma vetorial (HART P. E., *et al.*, 2000) e (THEODORIDIS S. AND KOUTROUMBAS K., 2003) da seguinte maneira:

$$\mathbf{X} = (\mathbf{X}_1 \mathbf{X}_2 \dots \mathbf{X}_N)^T \quad (1)$$

Na equação (1), cada x_i é a característica i de um total N de características. O sobrescrito T representa a transposição do vetor. Na extração de características, medimos valores relevantes para distinção de classes agregando-os em um conjunto que será usado pelo classificador. É importante, no desenvolvimento desta etapa, determinarmos quais são os atributos mais relevantes.

O objetivo da extração de características é reduzir o padrão de entrada, resultando assim em uma classificação de padrões mais pertinentes (HENG D W., *et al.*, 2011). SINGH P., *et al.* (2015) utilizam uma técnica de cálculo da média da intensidade das imagens cujo resultado de aquisição é influenciado por diversificados fatores ambientais. HENG D W., *et al.* (2011) levaram em consideração o posicionamento, partição, normalização e desbaste nas imagens utilizadas para extração das características em seu sistema.

No sistema desenvolvido para a plataforma de inspeção visual automática de painéis TFT-LCD um "ponto" é definido como um *sub-pixel* de cada componente vermelho, verde ou azul da imagem. A extração das características das imagens é realizada tomando tanto o padrão RGB como imagens em escala de cinza. Para cada componente RGB a intensidade dos *pixels* é analisada e a média e o desvio padrão são calculados a partir dos valores máximos e mínimos dos histogramas das imagens. Os mesmos dados são coletados para a imagem em escala de cinza e em branco, para cada tamanho do painel, há valores de referência. Os dados das imagens referências estão armazenados em um banco de dados. As imagens abaixo ilustram o diagrama em bloco do programa de aquisição das imagens RGB utilizadas para referência. As imagens foram divididas em decorrência da grande extensão do programa. A divisão facilita a visualização e entendimento. A figura 31 representa a parte inicial do programa e a figura 32 ilustra a parte final.

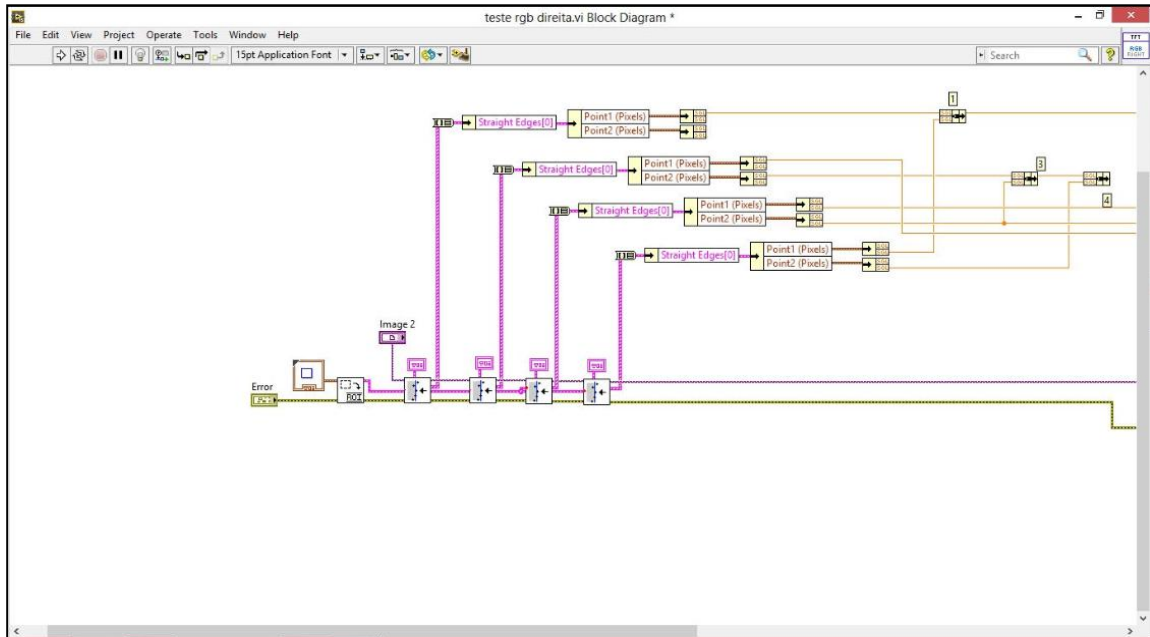


Figura 31 – Parte inicial do programa de aquisição das imagens RGB padrão.

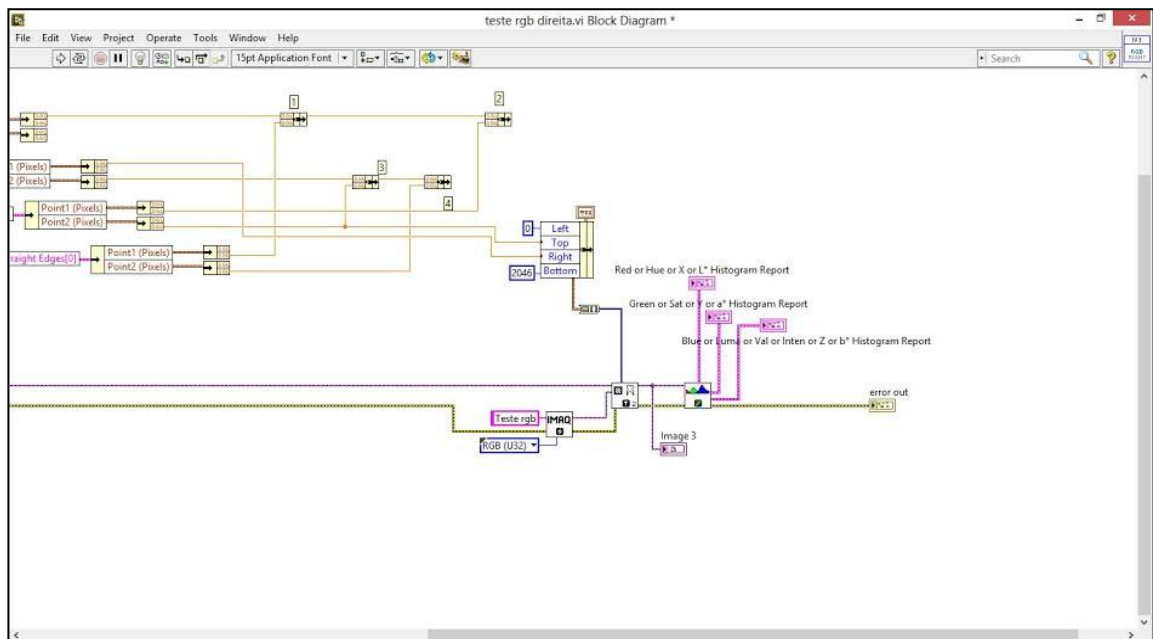


Figura 32 – Parte final do programa de aquisição das imagens RGB padrão.

A figura 33 apresenta a imagem padrão vermelho e os valores de seus histogramas para cada do eixo X, Y, Z. Sendo R (X), G (Y) e B (Z).

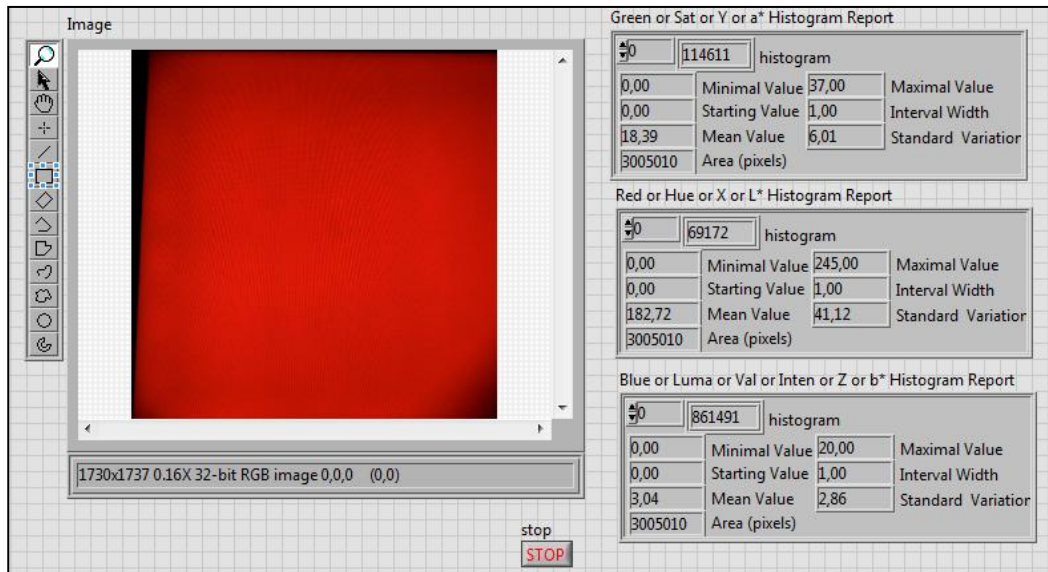


Figura 33 – Imagem vermelho padrão.

Os histogramas da imagem vermelho padrão são mostrados na figura 34.

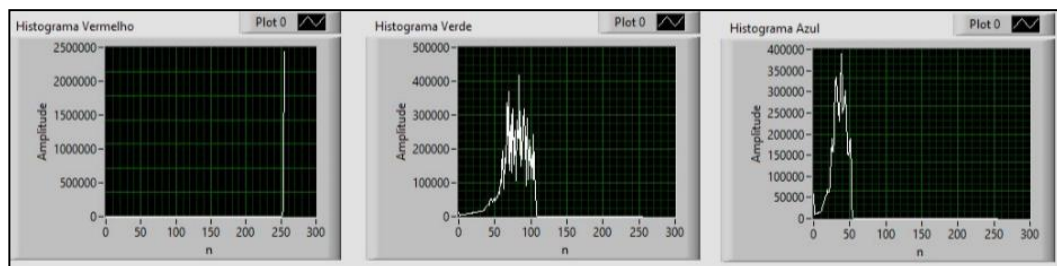


Figura 34 – Histogramas da imagem vermelho padrão.

A figura 35 apresenta a imagem padrão verde e os valores de seus respectivos histogramas para cada do eixo X, Y, Z, representando o padrão RGB.

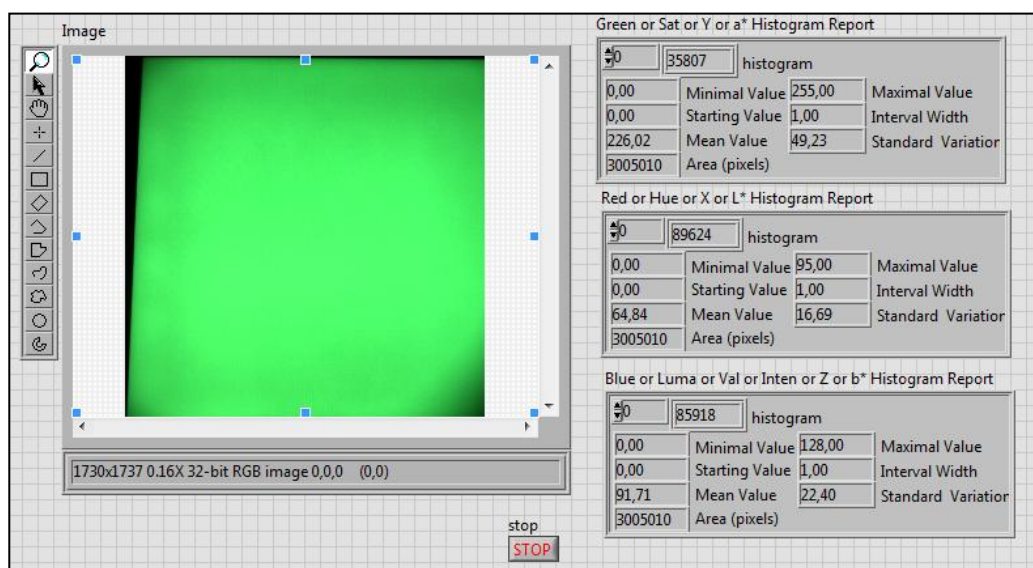


Figura 35 – Imagem verde padrão.

A figura 36 mostra os histogramas da imagem verde padrão.

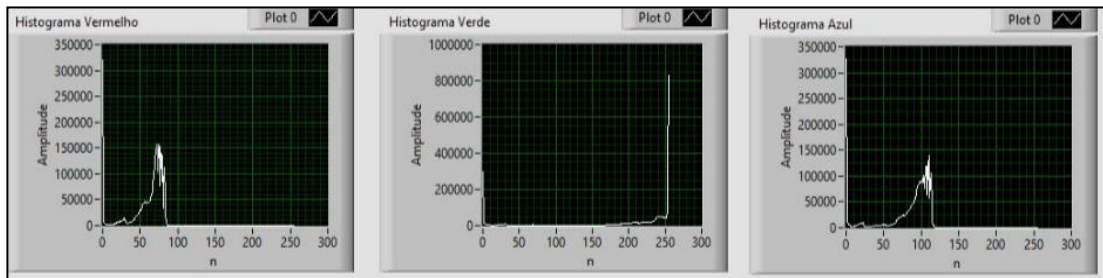


Figura 36 – Histogramas da imagem verde padrão.

Por sua vez, a figura 37 mostra a imagem padrão azul e os valores de seus histogramas para o padrão RGB em seus respectivos eixos X, Y, Z.

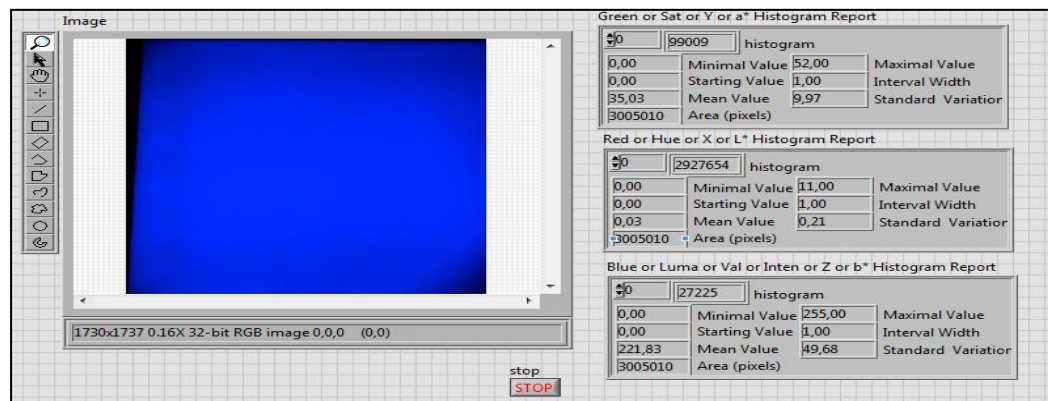


Figura 37 – Imagem azul padrão.

Por consequência, a figura 38 ilustra os histogramas da imagem azul padrão.

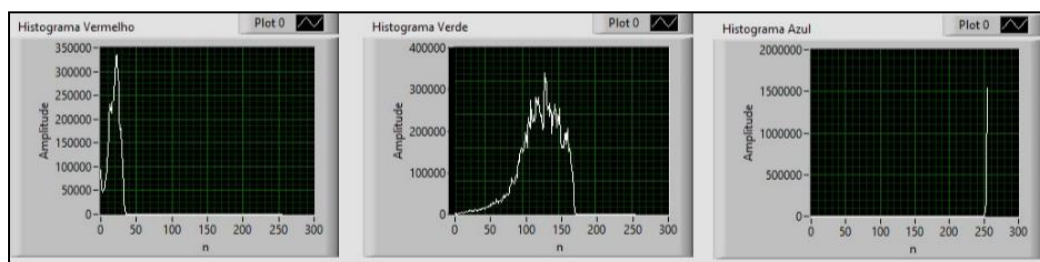


Figura 38 – Histogramas da imagem azul padrão.

A figura 39 ilustra o diagrama em bloco do programa de aquisição das imagens em escala de cinza.

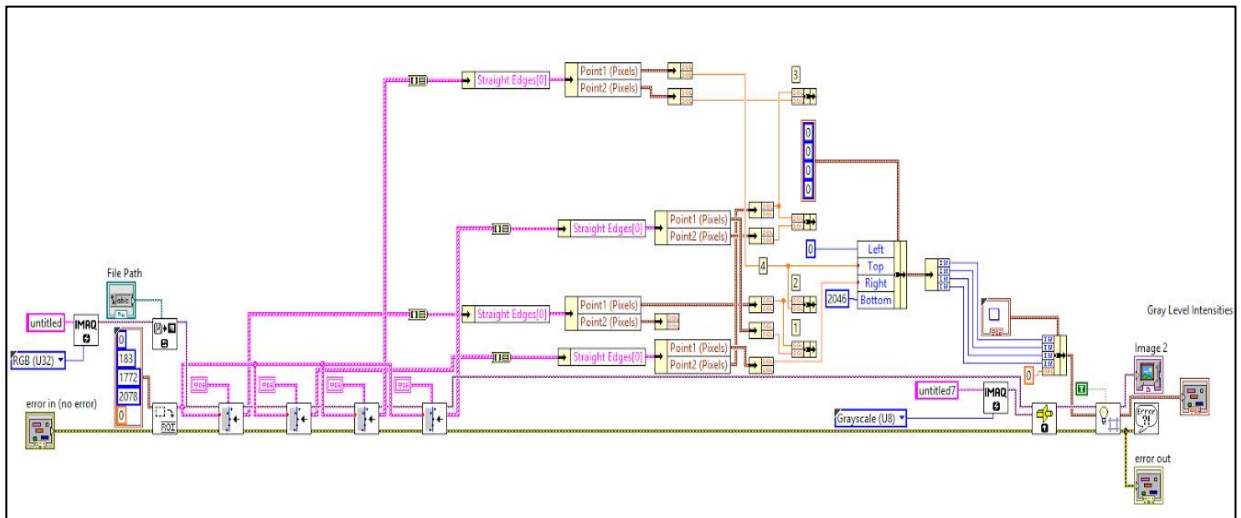


Figura 39 – Programa de aquisição das imagens em nível de cinza padrão.

O programa acima captura a imagem em escala de cinza padrão detalhando os valores dos três histogramas XYZ representando o padrão RGB respectivamente. A figura 40 mostra a imagem em escala de cinza padrão com suas características extraídas e, a figura 41 apresenta os seus respectivos histogramas.

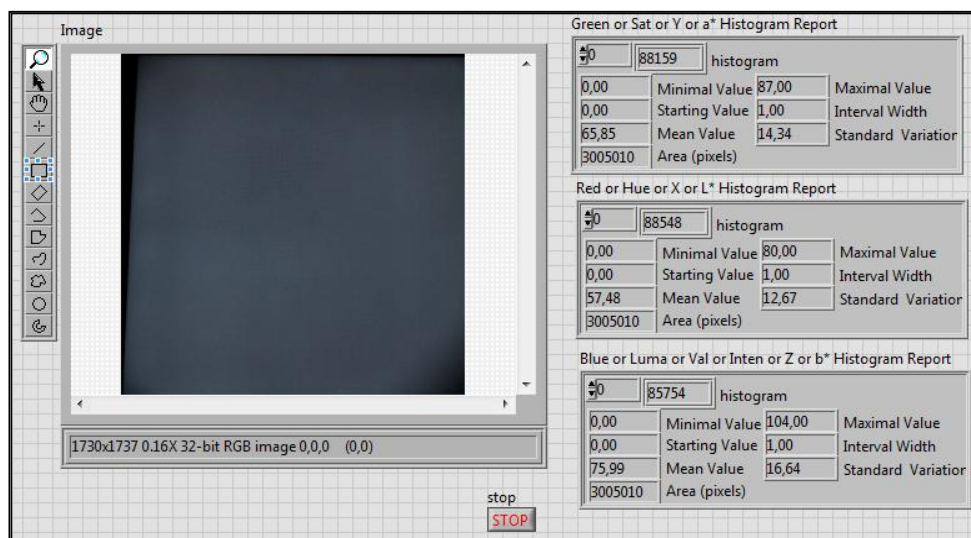


Figura 40 – Imagem em escala de cinza padrão.

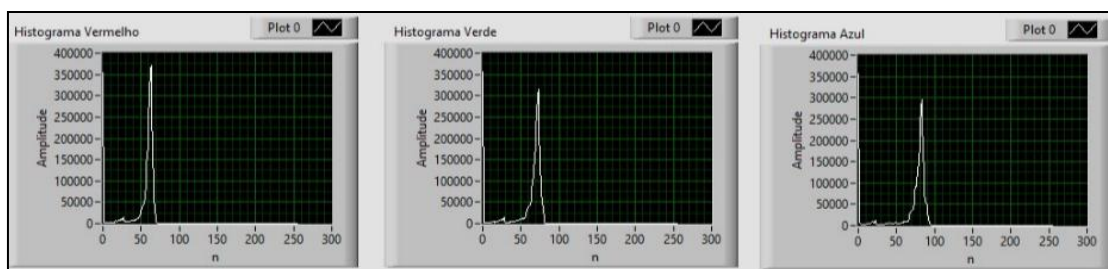


Figura 41 – Histogramas da imagem em escala de cinza padrão.

Uma matriz padrão é gerada a partir dos dados extrídos dos histogramas e armazenada no banco de dados do sistema. Os valores de média e desvio padrão são obtidos para cada referência de *subpixel* RGB da cor padrão. A classificação e julgamento dos parâmetros obtidos nos painéis testados é realizado através de comparação com a matriz padrão. A tabela IV apresenta os dados armazenados das imagens referências mostradas acima.

Tabela IV – Dados de referência do desvio padrão e da média extraída das cores vermelho, verde, azul e escala de cinza, detalhando os *sub pixels* RGB de cada cor.

COR PADRÃO	VERMELHO (R) (X)		VERDE (G) (Y)		AZUL (B) (Z)	
	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
VERMELHO	252,8	13,82	76,89	18,69	35,05	10,31
VERDE	60,38	10,11	223,83	27,22	88,96	13,00
AZUL	18,66	7,53	124,44	27,82	253,75	7,94
ESCALA DE CINZA	56,09	6,05	67,67	7,56	75,41	8,81

4.5 Análise da imagem e tomada de decisão

A percepção do mundo exterior e sua compreensão em vários níveis é uma atividade rotineira humana, e tem sido essencial para nossa sobrevivência por milhões de anos (HART P., *et al.*, 2000) . Por exemplo, identificar faces consiste em uma tarefa comum e demanda pouco esforço para os seres humanos, sendo tão natural que nem notamos o processo e até um bebê, desde muito jovem, é capaz de reconhecer, sem hesitar, a própria mãe entre outras pessoas nas proximidades. Apesar de trivial, em sua abordagem biológica, processos de reconhecimento de padrões mostram-se desafiadores computacionalmente, o melhor identificador de padrões conhecido é, na maioria das situações, o ser humano (JAIN A. K. *et al.*, 2000).

O reconhecimento de padrões aborda o estudo de como as máquinas podem observar o meio, aprender a distinguir objetos de interesse e tomar decisões. Em um processo de classificação, padrões de entrada são associados, através do processamento de suas características, a uma categoria que possa defini-los num conjunto de elementos com características similares. Este conceito consiste na definição de classe. Esta definição representa como padrões podem ser agrupados de acordo com características similares (BISHOP C. M., 2006). O processo de associação entre um padrão e sua classe consiste na

análise de características. Assim, um padrão irá pertencer a uma classe quando suas características medidas corresponderem às esperadas para determinada classe. Uma abordagem didática consiste em dividir o espaço de características em regiões distintas de classificação para que padrões de mesma classe ocupem uma mesma região e os de classes diferentes pertençam a regiões distintas (BISHOP C. M., 2006) e (HART P. E., *et al.*, 2000). Dependendo da situação e da natureza do processo de classificação, diversos tipos de sensores podem ser utilizados, tais como: câmeras, microfones, sensores de toque, iluminação entre outros (HART P. E., *et al.* 2000). Quando as funções de densidade de probabilidade condicional de cada classe são conhecidas ou podem ser estimadas, o método de classificação Bayes, que minimiza o risco médio ou a probabilidade de reconhecimento errôneo pode ser derivado (FU K. S., 1980) e (GONZALEZ R. C. e WOODS R. E., 2008). Com informação inicial suficiente, o classificador poderá tomar decisões com bom desempenho, e informações adicionais podem ser exploradas numa posterior etapa de pós-processamento.

SOUZA R. *et al.* (2012) firmam que problemas de classificação estão presentes em muitas áreas da engenharia, como exemplo, as aplicações industriais apresentam-se com inúmeras necessidades. Segundo CARVALHO DA SILVA R. D. *et al.* (2014) o reconhecimento e classificação de objetos usando um sensor de imagem industrial é uma importante ferramenta que foi motivado pela necessidade do desenvolvimento de sistemas de reconhecimento automático no campo da automação industrial.

LIN H. D. e CHIEN C. H. (2006) propuseram novos métodos de inspeção visual automatizados para detectar defeitos de não-uniformidade de cor em painéis TFT-LCD. A classificação do sistema utilizou técnicas estatísticas multivariadas para integração das diferentes coordenadas das cores e um diagrama de energia foi construído para representar o grau de desvio das cores. HUANG W. e LU H. (2012) desenvolveram um algoritmo de classificação de defeitos em TFT-LCDs baseado na abordagem de palavras virtuais. Os recursos de cores e SIFT (LOWE D., 2004) são introduzidos para descrever a região defeituosa e serem combinados por múltiplos kernels SMV. Um método de ampliação da gama de cores, protegendo a região da pele em uma imagem, sem qualquer distorção de cores, utilizando classificadores que normalizam o padrão RGB e analisam a distribuição do histograma da cor da pele em escala de cinza foi proposto por LAI Y. K. e LEE S. M. (2013).

KURZYNSKI M. e ZOLNIEREK A. (2005) apresentam duas possibilidades para a tarefa de reconhecimento de padrões. O primeiro método adotado é o modelo probabilístico de Bayes em que a tomada de decisão é realizada em sequências de padrões conhecidos. A segunda é a abordagem da relação de fuzzy, em que tais pressupostos não se fazem

necessários. HO, T. M. e BAIRD, H. S. (1997) realizaram um estudo para estimar o erro Bayes de um problema de reconhecimento de padrões de duas classes consideradas de difícil identificação. O erro Bayes aponta a "dificuldade intrínseca" do problema, uma vez que é o erro mínimo realizável para qualquer método de classificação. WANG J., *et al.* (2015) utilizaram a teoria de Bayes aliada a conhecimentos prévios para estimar a falta de *pixels* com uma abordagem estatística e modelar o residual das imagens como uma distribuição gauseana de La Place.

O teorema de Bayes mostra que a probabilidade condicional de um evento Y dado outro evento X pode ser calculada através da probabilidade condicional inversa e das probabilidades dos eventos Y e X, conforme na Equação (2) (KURZYNSKI M. e ZOLNIEREK A., 2005).

$$P(Y|X) = \frac{P(X|Y)P(Y)}{P(X)} \quad (2)$$

Sendo que:

- $P(Y|X)$ é a probabilidade posterior de Y dado uma classe X.
- $P(Y)$ é a probabilidade a priori de Y.
- $P(X)$ representa a probabilidade de um dado observado X estar contido no conjunto. Este termo é sempre constante e pode ser ignorado na equação.
- $P(X|Y)$ representa a probabilidade condicional de uma classe Y pertencer a um dado observado X.

ZOLNIEREK A. (1993) afirma que o classificador *Naive Bayes* realiza a classificação de um objeto obtendo a classe que possui a maior probabilidade de pertencer ao objeto informado. Um classificador do tipo *Naive Bayes* é construído da seguinte forma:

- Assumindo que um conjunto de dados possui n classes, $C = (C_1, C_2, \dots, C_n)$ e um determinado objeto X composto por atributos $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$, com classe desconhecida, o teorema de Bayes é aplicado da seguinte forma:

$$P(C_i|X_1, X_2, \dots, X_n) = \frac{P(C_i)P(X_1, X_2, \dots, X_n|C_i)}{P(X_1, X_2, \dots, X_n)} \quad (3)$$

• Como o objetivo é obter a classe C com maior probabilidade, e o denominador tornando-se uma constante na equação que pode ser ignorado, somente $P(C_i)P(X|C_i)$ deverá ser maximizado. A seleção de uma classe C_i para um objeto através de um classificador *Naive Bayes*, deverá ser realizada respeitando a condição abaixo.

$$P(C_i) > P(C_j), \forall i \neq j \quad (4)$$

• Um classificador *Naive Bayes* utiliza a suposição de independência condicional, ou seja, um classificador avalia a probabilidade condicional da classe, assumindo que os atributos são condicionalmente independentes a ela. Desta forma é possível aplicar esta regra utilizando a equação abaixo, sendo que cada conjunto de atributos de $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ é composto por n atributos:

$$P(X|C = c_i) = \prod_{i=1}^n P(X_i|C = c_i) \quad (5)$$

Em sua construção, a probabilidade do valor de cada atributo pertencer a uma classe é definida no classificador, e quando um objeto de teste é apresentado para o classificador já construído, o algoritmo localiza as probabilidades previamente definidas e escolhe a classe C com a maior probabilidade utilizando a equação abaixo (ZOLNIEREK A., 2003):

$$\arg_c \max P(C = c_i) \prod_{i=1}^d P(X_i = x_i | C = c_i) \quad (6)$$

O algoritmo para geração de classificadores *Naive Bayes* possui um bom histórico de desempenho em relação a outros algoritmos aplicados em detecção de fraudes em seguros de automóveis (VIAENE S., *et al.*, 2002). De acordo com PHUA, C., *et al.* (2010), os classificadores *Naive Bayes* são muito eficientes para tarefas de classificação para modelos multinominais.

O classificador multinomial *Naive Bayes* é adequado para a classificação de características discretas (por exemplo, contagem de palavras para a classificação de texto). A distribuição multinomial normalmente requer contagens de recursos inteiros. No entanto, na prática, as contagens fracionais podem também funcionar (LIN H. D. e CHIEN C. H., 2006).

SKORKOVSKA, L, *et al.* (2014) consideram que a tarefa de classificação de texto em um quadro de aprendizagem bayesiana trata-se de uma abordagem que assume que os dados de texto gerados por um modelo paramétrico utiliza estas informações para calcular estimativas de formação de Bayes ótimas dos parâmetros do modelo. Tomando posse dessas estimativas, os classificadores que utilizam a regra de Bayes para calcular a probabilidade posterior de uma classe, tornam a classificação em uma simples questão de selecionar a classe mais provável. Foi utilizado o modelo de Naive Bayes na classificação dos padrões do projeto da plataforma para inspeção visual automática de painéis TFT-LCD. No apêndice I encontramos os parâmetros e os códigos fontes gerados no desenvolvimento do classificador ([HTTP://ADESSOWIKI.FEE.UNICAMP.BR/ADESO/WIKI/IA636/VIEW/](http://ADESSOWIKI.FEE.UNICAMP.BR/ADESO/WIKI/IA636/VIEW/)).

Se um painel apresenta qualquer medida 5% maior ou menor que qualquer um dos valores de referência apresentados na tabela IV, o painel é rejeitado. Além de que, cada painel, dependendo do seu tamanho, deve observar outras restrições. Por exemplo: os seguintes critérios devem ser observados para painéis TFT-LCD de 65”.

Ponto brilhante: é definido como ponto que aparece brilhante na tela quando o módulo de LCD exibe um padrão de preto.

1. O número máximo de pontos brilhantes permitidos é 1 por componente R, G, e B;
2. Não há pontos brilhantes adjacentes permitidos;
3. Qualquer ponto brilhante visto na escala de cinza de 0 até 63 tons de cinza deve ser ignorado;
4. Qualquer ponto brilhante visto na escala de cinza de 64 até 127 tons de cinza é aceitável no montante máximo de 5 pontos;
5. Qualquer ponto brilhante visto em escala de cinza 128 ou maior, é contado como um ponto brilhante.
6. Ponto escuro: é definido como um ponto (*subpixel*) que aparece escuro na tela no momento em que o visor do módulo LCD está no padrão brilhante.
7. O número máximo de pontos escuros permitidos é 8 em cada componente R, G e B.
8. Dois pontos escuros adjacentes (horizontais e verticais): máximo de 2 pares permitidos.
9. Três pontos escuros adjacentes (horizontais e verticais): 0 par permitido.
10. Distância mínima entre pontos escuros: 5 mm
11. Quantidade total de defeitos de pontos: o número máximo de defeitos de pontos em um painel é de 8.

4.5.1 Treinamento

Num senso amplo, qualquer método que incorpore amostras de treino, no modelo de um classificador, emprega treinamento (HART P. E., 2000). Devido à complexidade da maioria dos processos de reconhecimento, torna-se difícil a antecipação de uma decisão. A criação de classificadores envolve um modelo para estimação e tratamento de padrões diferentes dos utilizados no treino. O objetivo da fase de treinamento é a redução do erro de classificação para um conjunto de entrada. Quanto ao tipo, os modelos de treinamento podem ser classificados em supervisionado, não supervisionado e treinamento por reforço (HART P. E., 2000). Quando cada padrão de treinamento já está associado a uma classe, o treinamento é dito supervisionado (HERNANDEZ E, M., *et al.*, 2009), ou seja, neste tipo de treinamento os padrões são apresentados com rótulos de classes. A cada ciclo de treino o classificador é ajustado a fim de se reduzir o erro de desclassificação existente entre o valor de saída e o esperado. A estrutura é ilustrada na figura 42.

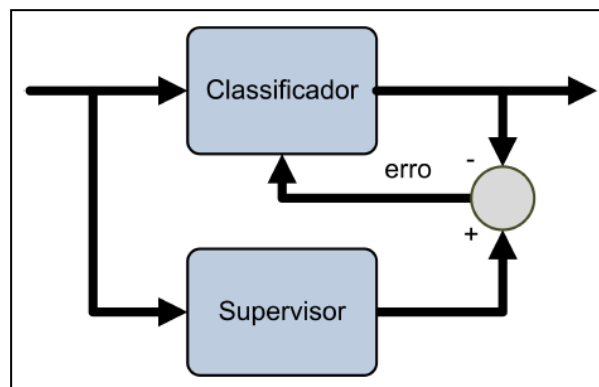


Figura 42 – Modelo simplificado do processo de treinamento supervisionado.
 Fonte: HERNANDEZ E., M., *et al.*, 2009.

Baseado em RITTNER, L., *et al.* (2007) e FREITAS, P.F., *et al.* (2011) foi definido que, do universo das amostras destinadas para teste, separou-se 80%, dos quais 60% destinam-se para a realização do treinamento e 20% são destinados para o teste. Com esta relação 60:20 foram realizadas as diversas iterações para melhoria do modelo. As amostras restantes são separadas para a validação do classificador (HERNANDEZ E, M., *et al.*, 2009). Denominou-se a este procedimento de relação de treinamento 60-20-20.

Foi disponibilizado um total de 278 amostras de painéis TFT-LCD de diversos tamanhos para validação inicial do sistema. As tabelas V (a) e V(b) apresentam os valores

coletados de 10 dessas amostras. Os dados extraídos das tabelas abaixo foram comparados com os dados da tabela IV para realização do treinamento do classificador.

Tabela V (a) – Dados amostrais do desvio padrão e da média extraída das cores vermelho e verde detalhando os *sub pixels* RGB de cada cor.

COR	VERMELHO						VERDE					
	R		G		B		R		G		B	
	M	D	M	D	M	D	M	D	M	D	M	D
1	252,80	13,76	76,82	18,71	34,94	10,33	60,29	10,21	223,81	27,42	88,93	13,12
2	252,77	13,90	76,83	18,79	35,02	10,36	60,04	10,10	223,26	27,16	88,64	12,96
3	212,55	19,06	69,64	17,04	35,78	14,84	59,07	14,42	200,01	25,35	81,97	15,14
4	212,75	18,77	70,14	17,00	36,26	14,82	50,87	12,14	229,74	25,80	80,06	14,05
5	212,63	18,96	69,77	17,10	35,96	14,91	58,50	14,73	199,25	25,99	81,49	15,38
6	253,81	14,77	75,83	17,72	35,95	11,34	59,29	11,21	220,81	25,44	82,93	14,22
7	251,78	16,92	74,83	17,79	34,02	12,36	59,14	12,10	221,26	25,16	86,64	13,95
8	217,56	18,21	72,64	18,04	36,78	13,84	58,07	13,42	220,41	26,35	82,97	14,14
9	212,76	17,78	70,14	17,00	36,26	14,82	50,87	12,14	229,74	25,80	80,06	13,435
10	213,52	16,47	70,78	17,13	34,96	14,95	78,50	13,73	201,25	26,99	80,49	14,68

Tabela V (b) – Dados de amostrais do desvio padrão e da média extraída das cores azul e escala de cinza detalhando os *sub pixels* RGB de cada cor.

COR	AZUL						CINZA					
	R		G		B		R		G		B	
	M	D	M	D	M	D	M	D	M	D	M	D
1	18,48	7,50	124,24	27,79	253,75	7,99	56,18	6,08	66,85	7,49	75,32	8,85
2	18,63	7,54	114,57	27,94	253,74	7,79	56,23	6,17	67,88	7,74	75,75	8,92
3	17,67	8,07	103,14	26,08	253,45	7,20	55,89	7,23	69,61	6,55	77,93	7,86
4	18,82	8,14	103,55	26,09	253,68	7,09	55,99	6,27	68,63	7,57	75,97	7,90
5	17,85	8,21	103,48	27,08	253,66	7,12	56,92	7,25	67,57	6,56	76,93	7,88
6	17,58	8,52	114,25	26,69	254,74	8,09	55,88	8,08	68,86	6,41	76,42	8,47
7	18,61	8,54	114,55	26,94	253,69	8,79	56,33	6,97	67,87	6,24	75,72	8,82
8	18,67	8,16	113,14	27,08	254,45	8,21	56,80	8,23	68,61	7,53	76,43	7,29
9	18,82	8,21	109,55	27,09	254,68	7,19	56,95	7,27	67,63	6,57	75,45	7,87
10	18,85	8,31	110,48	26,08	253,33	7,22	56,72	7,52	67,92	6,86	75,96	7,68

Os defeitos detectados foram divididos em quatro classes:

P (positivo): painel bom reconhecido como bom.

FP (falso positivo): painel com defeito não reconhecido.

N (negativo): painel com defeito reconhecido como defeito.

FN (falso negativo): painel bom reconhecido como defeituoso.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

Neste capítulo apresentaremos os resultados obtidos pela pesquisa realizada.

O processamento adicional, as vezes necessário para melhorias no processo de tomada de decisão, pode ser realizado em uma fase posterior. Elementos comuns nesta etapa se incluem: a exploração de contexto (HERNANDEZ E, M. *et al.*, 2009), o uso da medida de confiabilidade dos resultados (HART P. E., DUDA R. O. e STORK D. G., 2000), e combinação de agentes especialistas (TRONCI R., *et al.*, 2008). A esses processos adicionais realizados a fim de melhorar o processo de classificação denomina-se pós-processamento.

Os tipos de defeitos analisados e os resultados obtidos para os diferentes tamanhos de painéis TFT-LCD são apresentados abaixo. A ocorrência de mais de um defeito ao mesmo tempo, embora muito rara, deve ser levada em consideração. As amostras de defeitos separados para o teste do protótipo seguiram os principais defeitos encontrados no ano de 2014 apontados na figura 2. (RPA - RELATÓRIO DE PRODUÇÃO ANUAL, 2015).

Os defeitos de linha horizontal e vertical representam 18% do total de defeitos de painel. A figura 43 apresenta os defeitos de linha vertical e linha horizontal, respectivamente. Essas falhas podem aparecer em qualquer parte do TFT-LCD e que pode ser de largura ou altura de uma (linha) ou de vários *pixels* (bloco).

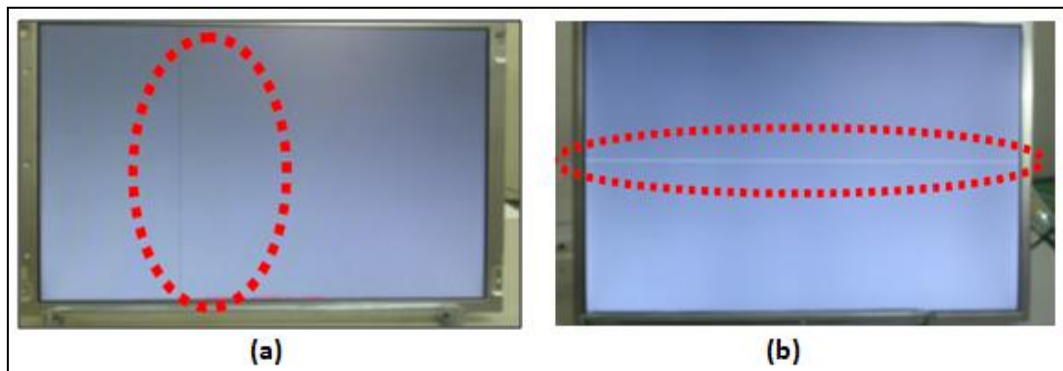


Figura 43 – Defeito de linha vertical (a) e linha horizontal (b) no painel TFT-LCD.

Os reconhecimentos dos resultados dos defeitos de linha horizontal e vertical são mostrados nas tabelas VI e VII, respectivamente.

Tabela VI – Resultados do reconhecimento dos defeitos de linha vertical

PAINEL	P	FN	FP	N	TOTAL
TV 58"	15	-	-	4	19
TV 55"	8	-	-	3	11
TV 48"	7	-	-	5	12
TV 46"	9	-	-	8	17
TV 42"	5	-	-	5	10

Tabela VII – Resultados do reconhecimento dos defeitos de linha horizontal

PAINEL	P	FN	FP	N	TOTAL
TV 58"	4	-	-	3	7
TV 55"	6	-	-	5	11
TV 48"	4	-	-	6	10
TV 46"	3	-	-	3	6
TV 42"	3	-	-	9	12

Algumas vezes impurezas ou outros corpos estranhos podem entrar na superfície do TFT-LCD, causando o defeito mostrado na figura 44, o que, na maioria das vezes, não é perceptível com o painel desligado. O defeito de corpo estranho representou 7% do total de defeitos de painel. Os resultados do reconhecimento são apresentados na tabela VIII.

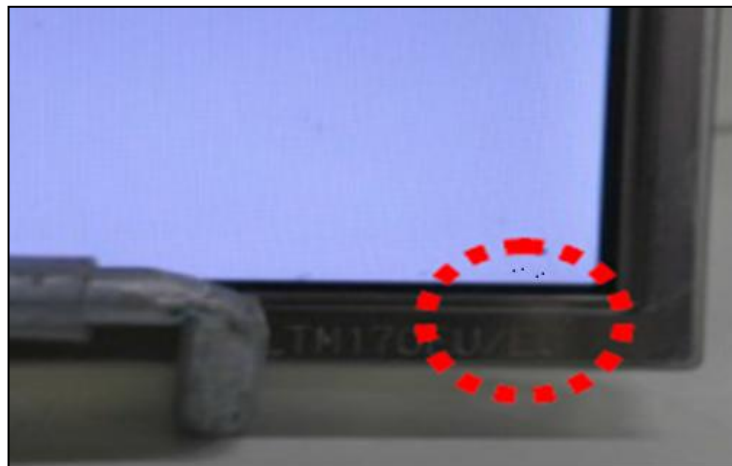
**Figura 44** – Defeito de corpo estranho no painel TFT-LCD.

Tabela VIII – Resultados do reconhecimento dos defeitos de corpo estranho

PAINEL	P	FN	FP	N	TOTAL
TV 58"	6	-	-	3	9
TV 55"	4	-	-	5	9
TV 48"	4	-	-	6	10
TV 46"	2	-	-	3	5
TV 42"	1	-	-	9	10

A segunda maior incidência de defeitos de painel foi o defeito de interferência na imagem. Esta anomalia afetou o índice em 19%. A figura 45 ilustra o exemplo de uma interferência na imagem, que é facilmente detectada, pois afeta toda a área da tela. A tabela IX fornece as estatísticas dos resultados.

**Figura 45** – Defeito de interferência na imagem no painel TFT-LCD.**Tabela IX** – Resultados do reconhecimento dos defeitos de interferência na imagem

PAINEL	P	FN	FP	N	TOTAL
TV 58"	7	-	-	4	11
TV 55"	4	-	-	5	9
TV 48"	3	-	-	12	15
TV 46"	2	-	-	5	7
TV 42"	6	-	-	9	15

O defeito de mancha na imagem foi a falha que mais afetou o índice de defeitos de painéis, sendo responsável por uma taxa de 25% das anomalias, quando analisada isoladamente, no período de levantamento dos dados. A figura 46 mostra uma mancha na imagem em um painel TFT-LCD. Este é um defeito com forma irregular, que só é visível

quando o painel está ligado e, como mostrado na tabela X, é o teste que apresenta o maior número de resultados falsos.

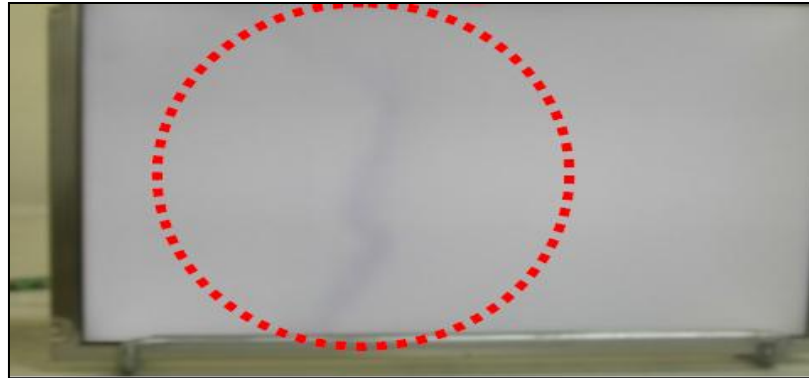


Figura 46 – Defeito de mancha na imagem no painel TFT-LCD.

Tabela X – Resultados do reconhecimento do defeitos de mancha na imagem

PAINEL	P	FN	FP	N	TOTAL
TV 58"	6	3	1	5	15
TV 55"	2	1	3	5	10
TV 48"	4	2	2	6	14
TV 46"	3	1	2	7	13
TV 42"	6	1	1	3	11

A tabela XI apresenta o resultado percentual por defeitos. O defeito mancha na imagem apresentou um índice de 25,4% de falsas falhas, sendo 11,12% de falsos negativos e 14,28% de falsos positivos.

Tabela XI – Resultado percentual por defeito

DEFEITO	P	FN	FP	N
LINHA VERTICAL	63,76%	-	-	36,24%
LINHA HORIZONTAL	43,48%	-	-	56,52%
CORPO ESTRANHO	39,54%	-	-	60,46%
INTERÊNCIA NA IMAGEM	38,60%	-	-	61,40%
MANCHA NA IMAGEM	33,33%	11,12%	14,28%	41,27%

A tabela XII apresenta o resultado percentual por classe de defeito. O índice apresentado para a classe positivo (P) foi de 51,08%, para a classe negativo (N) foi de 49,64%

e, para as falsas falhas o resultado foi de 5,74%, sendo 2,51% para falso negativo (FN) e 3,23% para falso positivo (FP).

Tabela XII – Resultado percentual por classe

CLASSE	ÍNDICE
P	51,08%
FN	2,51%
FP	3,23%
N	49,64%

CAPÍTULO 6. CONCLUSÕES

O controle de qualidade é um fator chave para a confiabilidade dos produtos. A boa reputação de um fabricante dentro do mercado consumidor é um dos mais importantes patrimônios de uma empresa. Esforços devem ser somados para que o consumidor final não seja o detector dos defeitos de qualidade (DEMING, 2010). A inspeção de entrada garante que os materiais sejam fornecidos em uma condição que atendam as especificações técnicas e o nível de qualidade exigido para compor os produtos finais. Esta verificação enquadra-se no programa de melhoria da qualidade de 14 passos e defeito zero para a organização, dentre os quais, encontra-se a necessidade da identificação de anomalias antes da aquisição do produto pelo cliente final (CAMPOS, V. F., 2014).

A tecnologia de monitores de tela plana ou curva usando *Thin Film Transistor-Liquid Cristal Displays* (TFT-LCD) oferece inúmeros recursos que levam a um excelente equilíbrio custo-qualidade. Os painéis TFT-LCDs representam a matéria-prima de maior valor agregado dos televisores *smart*, incluindo todos os tamanhos de tela.

A inspeção manual de defeitos nas telas TFT-LCD é um procedimento crítico na fabricação dos televisores *smart*. O número de defeitos em painéis registrados na Samsung Manaus, considerando a inspeção manual, durante a fase de *burn-in*, no ano de 2014, representou um índice de 4,67% do total de defeitos (RPA - RELATÓRIO DE PRODUÇÃO ANUAL, 2015). O índice de defeitos relatados pela rede de assistência técnica durante o período de garantia dos produtos fabricados em anos anteriores foi muito baixo, portanto, a inspeção de qualidade na fábrica pode ser considerada satisfatória. No entanto, a inspeção automática traz um grau ainda maior de confiabilidade e remove um grande gargalo no processo de fabricação. Com isso, para garantir a qualidade do processo produtivo, faz-se necessário a inspeção automática de entrada do painel TFT-LCD.

Este trabalho apresentou uma nova plataforma para inspeção automática de painéis TFT-LCD através de reconhecimento de imagem. O protótipo aqui descrito tem mostrado resultados aceitáveis, tanto no número de defeitos detectados como no tempo de processamento. O sistema garante um nível de detecção altamente satisfatório para os defeitos de linha horizontal e vertical, defeito de corpo estranho e defeito de interferência na imagem, pois não houve a ocorrência de falso positivo (FP) e nem de falso negativo (FN) para estas não conformidades. O defeito de mancha na imagem apresentou uma incidência de 11,12% para falso negativo (FN) e de 14,28% para falso positivo (FP), apesar de isoladamente este defeito ter apresentado um índice de 25,40%, os resultados foram considerados aceitáveis,

pois, o corolário estatístico das falsas falhas incluindo todas as amostras testadas foi de 5,74%, sendo 2,51% para falso negativo (FN) e 3,23% para falso positivo (FP), conforme mostrado na tabela XII.

A plataforma apresentou uma confiabilidade de 94,26% de acertos no julgamento das classes. Com tudo, considerando que a classificação falso negativo (FN) não é um fator crítico para o índice de qualidade do processo produtivo, a eficiência da plataforma é de aproximadamente 97%, de tal modo que existe a possibilidade de agregá-la ao processo produtivo. A Samsung Manaus submeteu pedido de patente para a plataforma desenvolvida.

A direção para um trabalho futuro pode ser a melhoria no modelo de classificação utilizado nesta pesquisa, podendo-se propor outros classificadores e realizar-se a comparação com o modelo atual. O foco da pesquisa pode se concentrar em melhoria do índice de falsas falhas, priorizando a classificação de falso positivo (FP).

REFERÊNCIAS

ABNT NBR ISO 9001:2015. **SISTEMAS DE GESTÃO DE QUALIDADE - REQUISITOS**. ABNT/CB-025, 2015.

ANIL K. Jain, ROBERT P. W. Duin, and JIANCHANG Mao. **Statistical pattern recognition: A review**. IEEE Transactions on Pattern Analysis And Machine Intelligence, 22(1):4–37, jan 2000.

BASLER ACE. **USER'S MANUAL FOR GIGE CAMERAS**. Document number: AW000893, Realese 16, 2012.

BISHOP C. M. **Pattern recognition and machine learning**. Springer, 1st ed. 2006. corr. 2nd printing edition, 2006.

CAMPOS, V. F. **Qualidade Total - Padronização de empresas**, 5ª ed. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.

CARVALHO da Silva R. D., COELHO D. N., PEREIRA Thé G. A., MENDONÇA M. R.. **Comparison between k-Nearest neighbors, self-organizing maps and optimum-path forest in the recognition of packages using image analysis by Zernike moments**. Industry Applications (INDUSCON), 11th IEEE/IAS International Conference on . Pages 1-6, 2014.

CARVALHO, M.M. E RABECHINI, R. JR., **Construindo competências para gerenciar projetos: teoria e casos**. São Paulo: Editora Atlas, 320 p. 2005.

CHEN L, F., SU C. T., and CHEN M. H. **A Neural-Network Approach for Defect Recognition in TFT-LCD Photolithography Process**. IEEE Transactions On Electronics Packaging Manufacturing, Vol. 32, No. 1, 2009.

CHEN S. C., SHAO L. C., LIANG C. K., LIN S. W., HUANG T. H., HSIEH M. C., YANG C. H., LUO C. H., WUO C. M. **A Text Input System Developed by Using Lips Image Recognition Based on LabVIEW for the Serious Disabled**. Engineering in Medicine and Biology Society. IEMBS '04. 26th Annual International Conference of the IEEE. P. 4940 – 4943, 2004.

CHEN, P.O., CHEN, S.H., and SU, F.C. **An effective method for evaluating the image-sticking effect of TFT-LCDs by interpretative modeling of optical measurement**. Liquid Crystals, 2000, p. 965-975.

CHENG F. T. and CHIU Y. C., “**Applying the automatic virtual metrology system to obtain tube-to-tube control in a PECVD tool**,” IIE Trans., vol. 45, no. 5, pp. 671–682, Jun. 2013.

CHENG F. T; KAO C. A; CHEN C. F; TSAI W. H. **Tutorial on Applying the VM Technology for TFT-LCD Manufacturing**. IEEE Transactions on semiconductor manufacturing, Vol. 28, No. 1, February 2015.

CHENG H., RAO L., and WU S., “**Color break up suppression in field sequential five-primary-color LCDs**,” J. Display Technol., vol. 6, no. 6, pp. 229–234, Jun. 2010.

D. Lowe, "Distinctive image features from scale-invariant keypoints," International journal of computer vision, vol. 60, no. 2, pp. 91–110, 2004.

DAN Li, GU, H., and ZHANG, L. **A fuzzy c-means clustering algorithm based on nearest-neighbor intervals for incomplete data.** Expert System Applied, 37(10):6942–6947, October 2010.

DEMING W. E. **Out of the crisis**, Massachusetts Institute for Technology, 2010.

FREITAS, P.F.; RITTNER, L.; APPENZELLER, S., LOTUFO, R. "**Watershed-based segmentation of the midsagittal section of the corpus callosum in diffusion MRI**", In: Proceedings of the XXIV Conference on Graphics, Patterns and Images (SIBGRAPI 2011), Maceió (2011), p. 274-280.

FU K. S. **Recent developments in pattern recognition.** IEEE Transaction on Computing, 29(10):845–854, October 1980.

FUKUNAGA K: **Introduction to Statistical Pattern Recognition.** Academic Press, NY, 1991.

GONZALEZ R. C. and WOODS R. E. **Digital Image Processing.** Pearson Education, New Jersey, 3rd edition, 2008.

HABIL. S. FUCHS **Automatische Extraktion von Festigkeits- und optisch relevanten Merkmalen aus Farbbildern von Schnittholzflächen**, DGfH-Nr. F-98/01, Universität Dresden, Fakultät Informatik, Institut für künstliche Intelligenz, 2002.

HAE, Y. K. **Rotation-discriminating template matching based on fourier coefficients of radial projections with robustness to scaling and partial occlusion.** Pattern Recognition, 43(3):859–872, March 2010.

HAN S. Y., JEON K. S., SONG J., Jeon H. S., and BAE B. S. **Photo-Related Stress Effects in a-SiGe:H Thin Film Transistors for Infrared Image Sensors.** IEEE Journal Display Technology 9(1), 30-36 (2013).

HART P. E., DUDA R. O. and STORK D. G.. **Pattern Classification.** Wiley Interscience, 2nd edition, 2000.

HAWTHORNE, J., **Electro-optics technology tests flat-panel displays, Laser Focus World**, 2000, n. 36, p. 271-276.

HENG D W., YANG Z., SIER D., ERDONG S., YONG W. **Bearing Characters Recognition System Based on LabVIEW.** Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet), International Conference on. Pages 118 – 122, 2011.

HENLY, F.J., and ADDIEGO, G. and WOODS, R.E., **Digital Image Processing**, 2002 (Prentice-Hall: New Jersey).

HENLY, F.J., and ADDIEGO, G. **In-line functional inspection and repair methodology during LCD panel fabrication.** SID Symposium Digest Paper, 1991, p. 686-688.

HERNANDEZ E, M., SANDMANN H., and ARAÚJO G.. **Context dependent pattern recognition: a framework for hybrid architectures bridging chaotic neural networks based on recursive processing elements and symbolic information.** In Proceedings of the

International Joint Conference on Neural Networks, pages 3334–3341, Piscataway, NJ, USA, 2009.

HO, T. M.. and BAIRD, H. S.. **Large-Scale Simulation Studies in Image Pattern Recognition**. IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence, Vol. 19, No. 10, 1997.

<http://adessowiki.fee.unicamp.br/adesso/wiki/ia636/view/>. 07/12/2015, às 23:00 hs

<http://scikit-image.org/>. 03/11/2015 às 16:00 hs.

<http://www.ni.com/labview/pt/>. 24/10/2015 às 22:00 hs.

HUANG W., and LU H.. **Defect Classification of TFT-LCD with Bag of Visual Words Approach**. Information and Automation for Sustainability (ICIAfS), IEEE 6th International Conference on . Pages 167 – 170, 2012.

IMAQ™. **IMAQ Vision for LabVIEW™** User Manual. National Instruments. Part Number 371007A-01, 2004.

ISHINABE T., KAWAKAMI T., NISHIZAWA T, FUJIKAKE H., UCHIDA T : **“Floating Auto stereoscopic 3D Projection Display with High Light Efficiency and Wide Viewing Depth using Anisotropic Light Diffuser”**, ITE Transactions on Media Technology and Applications, vol.2, no.1, pp.15-22 (2014.1).

ISHINABE T; NAKAYAMA T.; MIYASHITA T. e UCHIDA T.: **Design of Light-Diffusing Film for Full-Color Reflective Liquid Crystal Display with High Contrast and Wide Viewing Angle**, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 43, No. 9A, 2004, pp.6152-6157 (2004).

J. Kim and C. Scott. **Performance analysis for l_2 kernel classification**. In D. Koller, D. Schuurmans, Y. Bengio, and L. Bottou, editors, Advances in Neural Information Processing Systems 21, pages 833–840. 2009.

J. Kim and C. Scott. **Robust kernel density estimation**. In Proceedings of the International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, pages 3381– 3384, 2008.

JAIN, A. K., DUIN, R. P. W. and MAO J. **Statistical pattern recognition: A review**. IEEE Transactions on Pattern Analysis And Machine Intelligence, 22(1):4–37, jan 2000.

JÄRVENPÄÄ T., **“Measuring color breakup of stationary images in field sequential-color displays,”** J. Soc. Inf. Display, vol. 13, pp. 139–144, 2005.

JIANG. B.C., WANG, C-C. , Tsai, D.M. and LU, C-J., LCD. **Surface Defect Inspection Using Machine Vision**, Proc. Fifth Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference, 2004.

JOHN, G. H.; LANGLEY, P. **Estimating continuous distributions in Bayesian classifiers**. **Proceedings of the Eleventh conference on Uncertainty in artificial intelligence**. [S.l.]: Morgan Kaufmann Publishers Inc. 1995. p. 338-345.

JURAN J. M. **Quality Control Handbook**, Mc Graw Hill, New York, 2011.

KAWAKAMI T., ISHINABE T. , SASAI M., KANO M., NASU S., UCHIDA T., OZAWA S., MIEDA S., YAO Y., DATE M., and TAKADA H.: **“Large High-Definition Multiview**

Display System Capable of Controlling Observation Area", Journal of Display Technology, Vol. 11, No. 5, pp. 403-411 (2015.5).

KIDO, T. **In-processing inspection technique for active-matrix LCD panels**. IEEE International Test Conference, 1992, p. 795-799.

KIDO, T., **In process functional inspection technique for TFT-LCD arrays**, Journal of the SID, 1/4, 429-435, 1993.

KIDO, T., KISHI, N., and TAKAHASHI, H., **Optical charge-sensing method for testing and characterizing thin-film transistor arrays**, IEEE Journal of Selected Topics in Manufacturing, 1995.

KOITZSCH M. and HONOLD A., **"Evaluation of economic effects as the basis for assessing virtual metrology investment,"** Future Fab Int., no. 37, pp. 89–92, Apr. 2011.

KULDEEPAK, Kaushik M., and VASHISHATH M. **"License plate recognition system based on Image processing using Labview,"** International journal of Electronics Communication and Computer Technology, vol. II, pp. 183-188, July 2012.

KURZYNSKI M., ZOLNIEREK A.. **Sequential Pattern Recognition: Naive Bayes Versus Fuzzy Relation Method**. Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation, 2005 and International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce, International Conference on (Volume:1 . Pages 1165 – 1170. 2005.

LAI Y. K., and LEE S. M.. **Wide Color-Gamut Improvement With Skin Protection Using Content-Based Analysis for Display Systems**. Journal Of Display Technology. Pages 146-153, VOL.9,NO.3, 2013.

LANGENDIJK E., **"A novel spectrum-sequential display design with a wide color gamut and reduced color break up,"** J.Soc.Inf.Display, vol. 15, pp. 261–266, 2007.

LEPIK, Ü. and HEIN, H., **Haar wavelets with Applications**. Springer, 2014.

LIN F. C., ZHANG Y., and LANGENDIJK E., **"Color break up suppression by local primary desaturation in field-sequential color LCDs "** J. Display Technol., vol. 7, pp. 55–61, 2011.

LIN F., HUANG Y., WEI C., and SHIEH H., **"Color breakup suppression and low-power consumption by using the stencil-FSC method in field sequential LCDs,"** J. Soc. Inf. Display ,vol. 17, pp. 221–228, 2009.

LIN H. D. and CHIEN C. H. **Automated Detection of Color Non-Uniformity Defects in TFT-LCD**. International Joint Conference on Neural Networks. Vancouver, Canada, 2006.

LIN, C.S., WU, W.Z., LAY, T.L., and CHANG, M.W., **A digital image-based measurement system for an LCD backlight module**, Optics and Laser Technology, 2001, n. 33, p. 499-505.

MANTEL C., BURINI N., NADERNEJAD E., KORHONEN J., FORCHHAMMER S., and PEDERSEN J. M.. **Controlling Power Consumption for Displays With Backlight Dimming**. J. Display Technol. 9(12), 933-941 (2013).

MIKOSHIBA, S. (2005) **Crystal Valley Conference on LCD Backlights**, p. 3 – 4.

- MUKHERJEE A. And VENKATESH Y. V. **Digital Color Reproduction on Color Television Monitor**. Computer Vision, Graphics and Image processing, 36, 114-132, 1986.
- NAKAJIMA, Teranishi Y., KIDA Y. and MAKI Y. **Ultra-low power LTPS TFT-LCD technology using a multi-bit pixel memory circuit** *Journal of the SID* 14/12 p.1071-1075 (2006).
- NAKAMURA, T., KARUBE, M., HAYASHI, H., NAKAMURA, K., TADA, N., FUJIWARA, H., TSUTSUMI, J., and MOTAI, T., **Low temperature poly-Si TFT-LCD with an integrated analog circuit**, *Journal of the Society for Information Display*, 2002, 10, 203-207.
- NAKASHIMA, K. **Hybrid inspection system for LCD color filter panels**. 10th International Conference on Instrumentation and Measurement Technology, Hamamatsu, 1994, p. 689-692.
- NISHIBE, T., **Future for low-temperature polycrystalline silicon**, in SID Conference Record of the 22nd International Display Research Conference, Nice, France, 2002, pp. 269-272.
- OH, J.H., KWAK, D.M., LEE, K.B., SONG, Y.C., CHOI, D.H. and PARK, K.H., **Line defect detection in TFT-LCD using directional filter bank and adaptive multilevel thresholding**, *Key Engineering Materials*, 2004, 270-273, 233-238.
- PENG S. S and ZHOU M. C.. **Production Cycle-Time Analysis Based on Sensor-Based Stage Petri Nets for Automated Manufacturing Systems**. IEEE International Conference on Robotics & Automation Taipei, Taiwan. Pages 4300-4305 vol. 3, 2003.
- PHILIPP K. Janert. **Gnuplot in Action: Understanding Data with Graphs**. Manning Publications Co., Greenwich, CT, USA, 2009.
- PHUA, C.; ALAHAKOON, D.; LEE, V. **Minority report in fraud detection: classification of skewed data**. ACM SIGKDD Explorations Newsletter, v. 6, n. 1, p. 50-59, 2004.
- PHUA, C.; LEE, V.; SMITH, K.; GAYLER, R.. **A Comprehensive Survey of Data Mining based Fraud Detection Research**. arXiv preprint arXiv:1009.6119, 2010.
- RITTNER, L. ; FLORES, F.; LOTUFO, R. , "New Tensorial Representation of Color Images: Tensorial Morphological Gradient Applied to Color Image Segmentation," *SIBGRAPI*, pp. 45-52, XX Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing (SIBGRAPI 2007), 2007.
- RODRIGUES L. L. R., PATEL R., GOPALAKRISHNA B., SHETTY P. K., RAO B. R. S. **Affect of Production Cycle Time in Manufacturing Supply Chain Management: A System Dynamics Approach**. Management of Innovation and Technology (ICMIT), IEEE International Conference on. Pages 146-150, 2010.
- RPA (RELATÓRIO DE PRODUÇÃO ANUAL). **GMES (Global Manufacturing And Engineering System)**. Samsung Eletrônica da Amazônia, 2015
- SARAPH, J. V., BENSON P. G. and SCHROEDER, R. G. **An instrument for measuring the critical factors of quality management**. *Decision Sciences*, Vol 20, 1989, p. 810-829.

- SHEN; F. and HASEGAWA, O. **A fast nearest neighbor classifier based on self-organizing incremental neural network**. *Neural Network*, 21(10):1537–1547, December 2008.
- SIBIRYAKOV, A. and BOBER, M. **Real-time facial feature detection by statistical template matching**. In *Proceedings of the International Conference on Signal, Speech and Image Processing*, pages 101–106, Stevens Point, Wisconsin, USA, 2005.
- SINGH P. and KAUR R., **“Hybrid algorithm for alphanumeric character recognition for vehicle using Labview”** *Proceedings of IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research*, p. 739-744, December 2014.
- SINGH P., KAUR R., SINGH S.. **LabView Based Real Time Alphanumeric Character Recognition System**. *Second International Conference on Advances in Computing and Communication Engineering*, 2015.
- SKORKOVSKA, L., ZAJIC, Z.; MULLER, L. **Comparison of score normalization methods applied to multi-label classification**. *Signal Processing and Information Technology (ISSPIT)*, 2014 IEEE International Symposium on .pages 433 -437. 2014.
- SOLOKOV, S. and TRESKUNOV, A. **Automatic vision system for final test of liquid crystal displays**. *ICRA 1992*: p.1578-1582, 1992.
- SOUZA R., LOTUFO R. e RITTNER L., **A Comparison between Optimum-Path Forest and k-Nearest Neighbors Classifiers**. *Graphics, Patterns and Images. 25th SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images*. IEEE DOI 10.1109/SIBGRAPI.2012.43, 2012.
- SPANDANA P., RAO K. M. M., PRABHAKAR B. V., JWALASRIKALA. **Novel Image Processing Techniques for Early Detection of Breast Cancer, Mat lab and Lab view implementation**. *IEEE Point-of-Care Healthcare Technologies (PHT) Bangalore, India*, 2013.
- SU Y. C; TSAI W.H; CHENG F. T; WU W. M. **Development of a Dual-Stage Virtual Metrology Architecture for TFT-LCD Manufacturing**. *IEEE International Conference on Robotics and Automation Pasadena, CA, USA, May 19-23, 2008*.
- TAN, P.-N. **Introduction to Data Mining**. [S.l.]: Pearson Addison Wesley, 2006
- THEODORIDIS S. and KOUTROUMBAS K. **Pattern Recognition**. Elsevier, 2nd edition, 2003.
- TRONCI R., GIACINTO G., and ROLI F. **Combination of experts by classifiers in similarity score spaces**. In *Structural, Syntactic, and Statistical Pattern Recognition*, volume 5342, pages 821–830. 2008.
- TSAI, Du-Ming, HUNG, C-Y. **Automatic Defect Inspection of Patterned TFT-LCD Panels Using 1-D Fourier Reconstruction and Wavelet Decomposition**. *International Journal of Production Research*; 43:4589-4607, 2005.
- UKAI Y. **TFT-LCD Manufacturing Technology - Current Status and Future Prospect**. 978-1-4244-1728-5/07/2007 IEEE ED Research in Japanese (2007).

VIAENE, S.; DERRIG, R. A.; BAESENS, B.; DEDENE, G. **A Comparison of State of the Art Classification Techniques for Expert Automobile Insurance Claim Fraud Detection.** *Journal of Risk and Insurance*, v. 69, n. 3, p. 373-421, 2002.

WANDELL B. A. and SILVERSTEIN L. D., **“Digital color reproduction,”** in *Science of Color*, S. Shevell, Ed., 2nd ed. Washington, DC, USA: Opt. Soc. Amer., 2003, pp. 281–316.

WANG J., JEON G. and JEONG J. **A Hybrid Algorithm Using Maximum a Posteriori for Interlaced to Progressive Scanning Format Conversion.** *Journal Of Display Technology*, Vol. 11, No. 2, pages 183-192. 2015.

WEISS, A., SARANLI, A., **Inspection of TFT-LCD Panel Using on-Demand Automated Optical Inspection Sub-system.** US-Patent 7,084,970 B2, 2006.

WU W. M., CHENG F. T., LIN T. H., ZENG D. L., and CHEN J. F., **“Selection schemes of dual virtual-metrology outputs for enhancing prediction accuracy,”** *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.*, vol. 8, no. 2, pp. 311–318, Apr. 2011.

XIHUI C. and YINHONG Z., **“LabVIEW8.20 program design from novice to professional,”** Tsinghua University Press, 2008.

YAMADA F. et al., **“Sequential-color LCD based on OCB with an LED backlight,”** *J.Soc. Inf.Display*, vol. 10, pp.81–85, 2002.

YI-HSIEN Lin and Chin-Hsing Chen. **Template matching using the parametric template vector with translation, rotation and scale invariance.** *Pattern Recognition*, 41(7):2413–2421, 2008.

ZHANG Y., LIN F., and LANGENDIJK E., **“A field sequential color display with local primary desaturation backlight scheme”** *J. Soc. Inf. Display*, vol. 19, p. 262–268, 2011.

ZHANG Y., WANG J., Li X., and LEI W.. **Color Correction in Color Sequential LCDs.** *Journal of display technology*, Vol.10, N. 8, August 2014.

ZOLNIEREK A., **“Medical Application of Pattern Recognition Algorithms for Controlled Markov Chain”**, In: Kurzynski, M.W., Wozniak M., (eds.): *Computer Recognition Systems KOSYR 2003*, 2003, pp.413-418.

ZOLNIEREK A., **“Pattern Recognition Algorithms for Controlled Markov Chains and their Application to Medical Diagnosis”**, *Pattern Recognition Letters*, vol.1, 1993, p.299-303.

APÊNDICE - 1. Parâmetros e códigos fontes do classificador.

Parâmetros:

alpha: float, opcional (default = 1.0)

Aditivo (Laplace / Lidstone) parametro de suavização (0 para não suavização).

fit_prior: boolean

Quer aprender probabilidades das classes anteriores ou não. Se false, uma classe anterior será usada.

class_prior: array-like, de tamanho (n_classes,)

Probabilidades das classes anteriores. Se especificado os priores não são ajustados de acordo com os dados.

Atributos:

class_log_prior_: matriz, de tamanho (n_classes,)

Suavizou a probabilidade empírica de log para cada classe.

intercept_: propriedade

Reflete o atributo *class_log_prior_* para interpretar MultinomialNB como um modelo linear.

feature_log_prob_: matriz, de tamanho (n_classes, n_features)

Probabilidade empírica de Log a partir de características dada uma classe, $P(x_i | y)$.

coef_: propriedade

Reflete o atributo *feature_log_prob_* para interpretar MultinomialNB como um modelo linear.

class_count_: matriz, de tamanho (n_classes,)

Número de amostras encontradas para cada classe durante a montagem. Este valor é ponderado pelo peso da amostra quando fornecida.

feature_count_: matriz, de tamanho (n_classes, n_features)

Número de amostras encontradas para cada (classe, recurso) durante a montagem. Este valor é ponderado pelo peso da amostra quando fornecida.

```
class MultinomialNB(BaseDiscreteNB):

    def __init__(self, alpha=1.0, fit_prior=True, class_prior=None):
        self.alpha = alpha
        self.fit_prior = fit_prior
        self.class_prior = class_prior

    def _count(self, X, Y):
        """Count and smooth feature occurrences."""
        if np.any((X.data if issparse(X) else X) < 0):
            raise ValueError("Input X must be non-negative")
        self.feature_count_ += safe_sparse_dot(Y.T, X)
        self.class_count_ += Y.sum(axis=0)

    def _update_feature_log_prob(self):
        """Apply smoothing to raw counts and recompute log probabilities"""
        smoothed_fc = self.feature_count_ + self.alpha
        smoothed_cc = smoothed_fc.sum(axis=1)

        self.feature_log_prob_ = (np.log(smoothed_fc)
                                  - np.log(smoothed_cc.reshape(-1, 1)))

    def _joint_log_likelihood(self, X):
        """Calculate the posterior log probability of the samples X"""
        check_is_fitted(self, "classes_")

        X = check_array(X, accept_sparse='csr')
        return (safe_sparse_dot(X, self.feature_log_prob_.T)
                + self.class_log_prior_)
```