

Automatização do Processo de Verificação e Fixação do Filtro Polarizador do Painel de Televisores LCD em uma Empresa de Eletroeletrônicos do Polo Industrial de Manaus

Carlos Nascimento* César Silva* Nelson Gouvêa*
Ângela T. P. Lima ** Fábio Menezes de Oliveira**
Leonardo Morgado dos Santos **
Ricardo Moura ** Vicente Ramos de Sousa**

* LG Electronics do Brasil, Manaus, AM, Brasil, (e-mail: carlos.nascimento@lge.com, cesarda.silva@lge.com, nelson.gouvea@lge.com).

** Fundação Desembargador Paulo dos Anjos Feitoza - FPF Tech, Manaus, AM, Brasil (e-mail: angela.lima@fpf.br, ricardo.moura@fpf.br, fabio.Oliveira@fpf.br, leonardo.morgado@fpf.br, vicente.sousa@fpf.br).

Abstract: In the process of manufacturing television modules for an electronics company in the Industrial Pole of Manaus, the front polarizer, which faces the user, is currently mounted on the light transmission unit using a machine. However, the confirmation and verification of the fixation of these two components is carried out manually using a device composed of a 2 kg weight and an auxiliary device composed of suction cups to pull the polarizer and check if there is a gap between it and the LCD panel, respectively. This manual operation is repeated at various points on the LCD panel to ensure that the collage is in proper condition. In this sense, this article aims to present a prototype for automating the inspection of the presence of the film in the light transmission unit and the process of attaching polarizing filters to television panels. The prototype was divided into two main modules: Inspection and Pressing. The Inspection module was equipped with a computer vision system and external LED lighting. The Pressing module comprises a set composed of a Cartesian system with three movement axes and a tool for conformation of the polarizing filter. The main purpose of automation is to improve product quality and reduce errors, without impacting production speed.

Resumo: No processo de fabricação de módulos de televisores de uma empresa de eletroeletrônicos do Polo Industrial de Manaus, o polarizador frontal, que fica voltado para o usuário, é atualmente montado sobre a unidade de transmissão de luz usando uma máquina. Entretanto, a confirmação e verificação da fixação desses dois componentes é realizada de forma manual por meio de um dispositivo composto por um peso de 2 kg e um dispositivo auxiliar composto por ventosas para puxar o polarizador e verificar se há espaçamento entre ele e o painel LCD, respectivamente. Essa operação manual é repetida em vários pontos do painel LCD para garantir que a colagem esteja em condições adequadas. Nesse sentido, esse artigo tem o objetivo de apresentar um protótipo para automação da inspeção de presença da película da unidade de transmissão de luz e processo de fixação de filtros polarizadores para painéis de televisores. O protótipo foi dividido em dois módulos principais: Inspeção e Pressionamento. O módulo de Inspeção foi equipado com um sistema de visão computacional e iluminação externa em LED. O módulo de Pressionamento é composto por um conjunto composto por um sistema cartesiano com três eixos de movimentação e uma ferramenta para conformação do filtro polarizador. O intuito principal da automação é melhorar a qualidade do produto e reduzir erros, sem impactar a velocidade da produção.

Keywords: LCD televisions, automation, polarizing filter, vision system; inspection.

Palavras-chaves: Televisores LCD; Automação; Filtro Polarizador; Sistema de Visão; Inspeção.

1. INTRODUÇÃO

O artigo foi desenvolvido por uma fábrica do polo industrial de Manaus que desde 1995 é considerada a segunda maior operação

de suas subsidiárias, atrás apenas dos Estados Unidos, na produção de televisores. A fábrica realiza a montagem de todos os componentes que compõem o produto, incluindo seus próprios painéis de LCD (*Liquid Crystal Display*), que são painéis finos utilizados para exibir imagens, vídeos e textos em

produtos como monitores, televisores, *home-theater*, GPS, câmeras, celulares, automóveis e máquinas, permitindo que a empresa ofereça produtos alinhados com as necessidades de seus clientes, conforme Sathiyamoorthy (2014) e Silva (2016).

Nos painéis dos televisores LCD, dentre os diversos componentes que formam as suas camadas, uma delas fica colada na própria tela LCD, denominado de filtro polarizador. Conforme Silva (2016) e como mostra a Fig. 1, o polarizador possui a função de impedir que a luz gerada pela iluminação do *backlight*, que não forma a imagem, passe por ele, permitindo somente a passagem da luz que deve ser visualizada pelo usuário do televisor, formadas pelo conjunto dos eletrodos, LCD e filtro de cores vermelho, verde e azul. Desta forma, a tela consegue reproduzir as imagens desejadas.

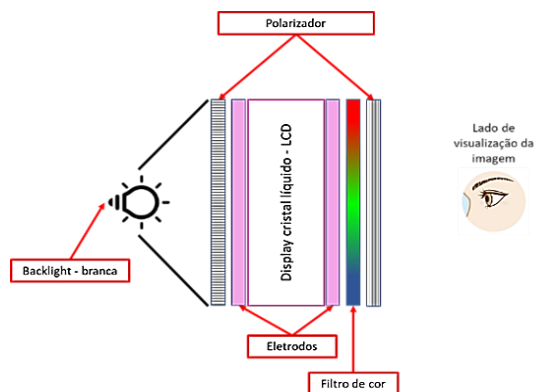


Fig. 1 Camadas do painel: LCD (adaptado da imagem de Ghule et al. 2021).

Segundo Hecht (2002), a função primária dos polarizadores é transformar a luz natural, que normalmente é uma mistura de ondas de luz que vibram em todas as direções, em luz polarizada que vibra apenas em uma direção. Isso é feito através de filtros que permitem a passagem de apenas uma direção da onda de luz, bloqueando as outras. Através do giro do LCD, a penetração da luz é controlada e o efeito de exibição da luz e escuridão do painel é produzido. O efeito da polarização aumenta o contraste entre as áreas do objeto que refletem diretamente a luz em comparação com a reflexão difusa, como descrito em Hornberg (2017).

No processo de fabricação da empresa, o polarizador frontal, que fica voltado para o usuário, é atualmente montado usando uma máquina. No entanto, a verificação da aderência é realizada manualmente, por meio de um dispositivo auxiliar composto por ventosas para puxar o polarizador e verificar se há espaçamento entre ele e o painel LCD. Se algum ponto não estiver bem fixado, outro dispositivo auxiliar é usado para pressionar esses locais. Devido ao tamanho das telas, que variam de 100 cm a 220 cm na diagonal, essa operação deve ser repetida em vários pontos do painel LCD para garantir que a colagem esteja em condições adequadas.

Atualmente, diversos setores industriais, como os de alimentos, automotivo, agropecuária e aeroespacial, utilizam sistemas de

inspeção baseados em visão para avaliar a qualidade de seus produtos. Alguns exemplos incluem Jia (1993), Jia et al. (1991) e Nandini et al. (2016), que usaram esse tipo de sistema para avaliar a qualidade de produtos após a colheita. Bazin et al. (2006) empregou o mesmo sistema para inspecionar lentes de contato e outros produtos.

O objetivo desse artigo é descrever o aperfeiçoamento desenvolvido para o processo de verificação e fixação do filtro polarizador do painel de televisores LCD, produzido na planta da empresa com subsidiária em Manaus, através de pesquisa e desenvolvimento de um protótipo de solução de automação composto por hardware e software, executando também esta operação de forma cíclica, melhorando a eficiência deste processo e diminuindo os defeitos devido a erros de verificação manual.

2. METODOLOGIA

O projeto se baseou nos conceitos e práticas oriundas da técnica colaborativa e ágil do *Lean Inception* de Caroli (2018). Nesta etapa, a empresa parceira do projeto, a Fundação Desembargador Paulo dos Anjos Feitoza (FPFtech), realizou *workshop* colaborativo que contou com a presença de representantes do time técnico e colaboradores da fábrica com entendimento sobre o processo produtivo. Ao final da *Lean Inception*, foi possível elaborar o *backlog* que representa a lista das funcionalidades e módulos a serem elaborados, como segue:

- Plano de desenvolvimento do protótipo que envolve o levantamento dos requisitos funcionais e não funcionais que devem ser atendidos. Segundo Sommerville (2015), especificar os requisitos é a atividade de traduzir as informações obtidas durante a atividade de análise em um documento que defina um conjunto de requisitos. Para o levantamento de requisitos, utilizou-se como estratégia visitas à linha de produção para melhor entendimento do processo a ser automatizado e para coleta de dados, tais como: identificação de modelos de produtos, *takt time* da linha, itens de segurança, sensores, dentre outros.
- Projeto mecânico com a ferramenta PTC CREO que possui funcionalidade poderosa e fornece um ambiente de design inteligente, segundo Gladkova (2021). Além de fornecer uma interface de usuário com visualização dinâmica o que permite a visualização conveniente das entidades na área de exibição a qualquer momento, conforme Shih (2013).
- Projeto de automação com o uso do *Bill of Materials* (BOM) ou Lista de Materiais que de acordo com Serrão (2015), é um documento que lista todos os materiais e componentes necessários para a produção de um produto ou sistema em conjunto com o projeto de *software* com o uso de Controlador Lógico Programável (CLP). De acordo com Silva (2016); Sampaio (2011); Thamrin and Ismail (2011), o CLP é frequentemente programado emulando diagramas *ladder*, ou seja, um diagrama orientado para equipamentos e que requer conhecimentos sobre circuitos elétricos.

- Cenário de Testes para avaliar e validar os requisitos dos módulos para reduzir os riscos de falhas, garantir a confiabilidade do produto e aumentar a satisfação do cliente, como descreve Pressman (2021).

3. MÓDULO DE INSPEÇÃO E PRESSIONAMENTO DO PROTÓTIPO

Para começar o desenvolvimento dos módulos do projeto chamado de *Fixing OpenCell*, foi feito o planejamento do protótipo e dos módulos que seriam responsáveis por fixar o filtro polarizador nas televisões.

3.1 Planejamento de desenvolvimento do protótipo

Para entender os requisitos levantados, visitou-se o chão de fábrica para verificar como é realizado a fixação e o travamento do filtro no frame metálico (chassi). Na operação manual, o processo de fixação do filtro polarizador ocorre conforme ilustrado na Fig. 2.



Fig. 2 Processo Atual: Processo de Fixação e Verificação do Filtro Polarizador Manual.

A partir da Fig. 2, é possível observar a realização de pressão manual no filtro polarizador contra o frame metálico, utilizando um dispositivo de 2 kg. Esse procedimento tem como objetivo assegurar a aderência entre os materiais já montados. Em seguida, é feita a verificação do travamento entre as partes por meio de um dispositivo com ventosas, que prende o filtro e o eleva. Essa verificação manual é suscetível ao erro humano, em caso de não realizar a operação com as ventosas o defeito pode chegar até o consumidor do produto.

Depois de coletar os requisitos e compreender o processo manual de verificação e finalização do filtro polarizador, iniciou-se o desenvolvimento de um protótipo que levou aos resultados e discussões.

3.2 Projeto mecânico

O projeto mecânico em 2D e 3D do protótipo do *Fixing OpenCell* foi elaborado utilizando a ferramenta PTC CREO. O protótipo é composto pelos módulos: Inspeção e Pressionamento (representados na Fig. 3). Essa representação define o conceito geral do protótipo a ser desenvolvido e subdivide em itens dentro de cada módulo, no próximo parágrafo temos a descrição dessa imagem.

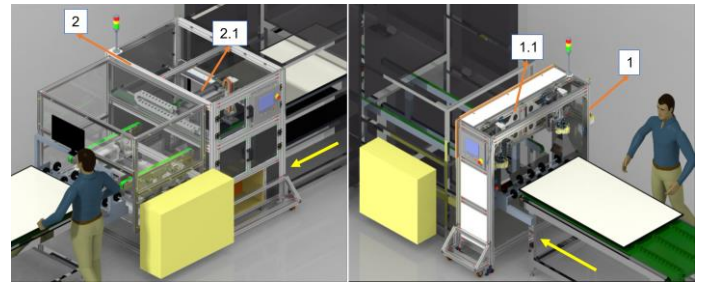


Fig. 3 Conceito: Visão Geral do Processo.

Os itens 1 e 1.1 representam o módulo de inspeção da fita adesiva e da película de proteção da fita responsável por garantir a aderência do filtro polarizador ao painel LCD. Já os itens 2 e 2.1 representam o módulo de pressionamento sobre a tela, visando sua fixação.

A Fig. 4 apresenta com mais detalhes o módulo de Inspeção, o item 1 da figura inclui duas câmeras de visão computacional. O alcance da câmera foi projetado para 250 mm de altura a partir da lente, com uma área de 200 x 200 mm. Além disso, o sistema cartesiano do suporte da câmera, mostrado no item 1.1 da figura possui um guia linear interno que permite movimentos retilíneos suaves e precisos, percorrendo um trilho padrão, sendo capaz de se mover até 300 mm nos eixos X e Z para inspecionar a presença e ausência da película protetora do painel LCD.

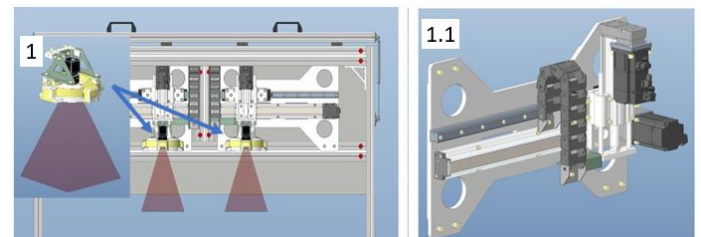


Fig. 4 Módulo: Inspeção.

A Fig. 5 apresenta o módulo de pressionamento, responsável por completar a fixação do polarizador contornando a borda do painel. Ele verifica a área próxima à borda superior e as laterais da tela, pois como o televisor é utilizado na posição vertical, a tendência é que a parte superior sofra um esforço maior de descolamento que a parte inferior.

Para avaliar o impacto do pressionamento bi-apoiada da tela, foi feito um estudo sobre a deflexão (descrito na seção 4) realizada pelas cargas úteis onde considerou-se o pressionamento realizado pelo peso do *pressing pad* contra a tela do televisor. Simplificadamente, somente o peso do sistema foi considerado para o estudo de deflexão, uma vez que o *pressing pad* possuía rolamentos lineares que aliviavam cargas adicionais vindas do atuador no eixo Z. O peso desenvolvido para o sistema foi de 2 kg conforme especificação técnica. Ao final do estudo, chegou-se à conclusão de que, quando pressionada entre dois apoios, a flexão da tela não é significativa ao ponto de gerar algum defeito no produto. Essa deflexão foi até menor do que a gerada em outros processos como a manipulação do polarizador (maior que 5 mm).

Para o movimento no eixo Z tem-se o conjunto com servo motor e o conjunto mecânico de acoplamento para receber a ferramenta chamada de *pressing pad*, o mecanismo pode ser visto na Fig. 6.

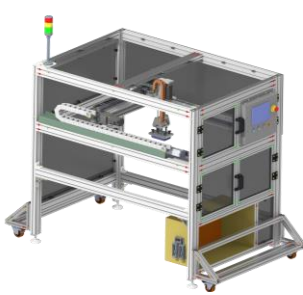


Fig. 5 Módulo: Pressionamento.



Fig. 6 Ferramenta de Fixação: *Pressing Pad*.

3.3 Projeto de Automação

No projeto de automação foram listados os materiais necessários para automatizar os módulos de Inspeção e de Pressionamento (como alumínio, aço 1020, aço inox, poliacetal) além de realizar a integração dos módulos onde a Fig. 7 mostra a estrutura interna do mecanismo de suporte de câmeras que foi projetada para ter eixos de suporte de câmera do tipo cartesiano, com liberdade nos eixos X, Y e Z e, a Fig. 8 mostra o sistema de pressionamento para a fixação do polarizador nas laterais da tela, respectivamente.



Fig. 7 Montagem: Interna do mecanismo de suporte de câmeras.



Fig. 8 Movimento: vertical (à esquerda) e lateral (à direita) pressionamento sobre a tela.

4. RESULTADOS E DISCURSÕES

Durante o desenvolvimento foi realizado um estudo experimental de deflexão do *Fixing Opencell* onde as condições definidas na Tabela 1 foram aplicadas nos cenários das Fig. 9, Fig. 10 e Fig. 11, respectivamente.

Tabela 1: Modelos de televisores

Modelo de Cinema	65"	75"
Abertura Interna da esteira (mm)	515	630
Peso o <i>Pressing Pad</i> (kg)	2	
Resolução do Relógio Comparador	0,01	
Distância da Medição até o Pad (mm)	35	
Instrumento de Medição	Relógio comparador DIGIMESS 121.304 e MITUTOYO 2046S	

Os cenários permitiram realizar experimentos comparando com cada um dos modelos de televisores para entender o efeito aplicado usando o pressionamento lateral e o pressionamento vertical.

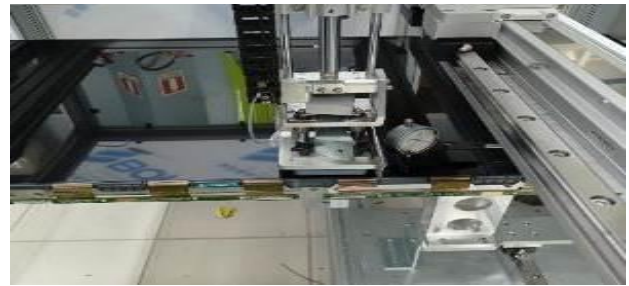


Fig. 9 Cenário A: Esteira Bi-Apoiada.

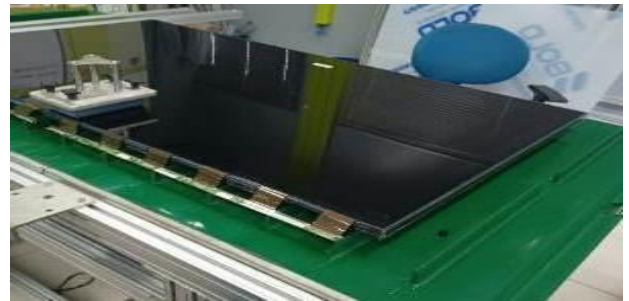


Fig. 10 Cenário B: Esteira Taliscada Seccionada.

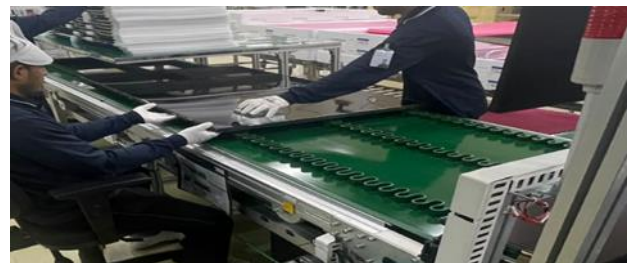


Fig. 11 Cenário C: Esteira Taliscada Sanfonada.

Como resultado a Tabela 2 apresenta os valores obtidos dos cenários de deflexão que foram experimentados. A coluna “Ponto de Medição” é ilustrada na (Fig. 12) que representa os pontos observados do peso sobre a tela, a coluna “Esteira Taliscada Seccionada” representa a deflexão em cada ponto de medição no ambiente de teste e a coluna “Esteira Bi-Apoiada” representa a deflexão no projeto atual.

Tabela 2: Cenários de deflexão

Cinema 65"

Ponto de Medição	Esteira Taliscada Seccionada (Teste)	Esteira Bi-Apoiada (Projeto Atual)	Diferença
1	1,84	1,20	-0,64
2	1,78	1,31	-0,47
3	1,65	1,25	-0,40
4	1,04	1,04	0,00

Ponto de Medição	Esteira Taliscada Sanfonada (Processo atual)	Esteira Bi-Apoiada (Projeto)	Diferença
1	2,35	1,20	-1,15
2	1,90	1,31	-0,59
3	2,15	1,25	-0,90
4	1,55	1,04	-0,51

Cinema 75"

Ponto de Medição	Esteira Taliscada Seccionada (Teste)	Esteira Bi-Apoiada (Projeto Atual)	Diferença
1	1,26	1,29	0,03
2	1,30	1,41	0,11
3	1,00	1,33	0,33
4	1,22	1,22	0,00

Ponto de Medição	Esteira Taliscada Seccionada (Teste)	Esteira Bi-Apoiada (Projeto Atual)	Diferença
1	1,43	1,29	-0,14
2	1,93	1,41	-0,52
3	1,53	1,33	-0,22
4	0,92	1,22	-0,30

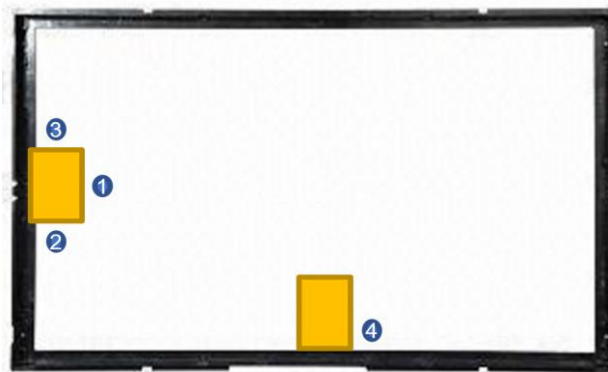


Fig. 12 Ponto de Medição: *Pressing Pad* na tela.

Os resultados do experimento, apresentados na Tabela 2, mostraram que a deflexão e o filtro polarizador não tiveram impacto significativo na qualidade da imagem. Isso ocorre porque a variação resultante nas medições com a esteira bi-apoiada, na maioria dos casos, foi menor do que a deflexão já presente na esteira da linha de produção. Os experimentos foram realizados nos modelos de TV de 65" e 75", que foram designados como "cinema". A descrição a seguir fornece mais detalhes sobre os resultados:

- Experimento 1: Medição Interna do Pressionamento Lateral;
- Experimento 2: Medição Anterior ao Pressionamento Lateral;
- Experimento 3: Medição Posterior ao Pressionamento Lateral;
- Experimento 4: Medição Posterior ao Pressionamento Vertical.

Em sequência aos cenários descritos, foram realizados outros testes afins de validar a solução proposta onde podem ser destacados dois casos de testes do módulo de Inspeção para o modelo 55".

Após o planejamento dos casos de Testes Gerais foi aplicado no módulo de Inspeção, o caso de testes (CT-01) onde foi definido as condições aplicadas e descritas a seguir.

A Fig. 13 representa a entrada do modelo 55" na Inspeção para o sistema de visão realizar a leitura da fita. Na Fig. 14 foi detectada a fita 1 como NG e na Fig. 15 foi observado no canto inferior a fita 2 como NG. Para a detecção da presença ou ausência da fita foi utilizado o software CV-X do fabricante Corporation (2023).

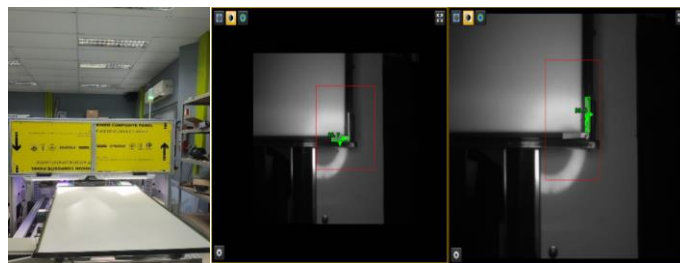


Fig. 13 Entrada no módulo de Inspeção. Fig.14 Canto Inferior esquerdo (Fita 1). Fig. 15 Canto Inferior esquerdo (Fita 2).

Para realização dos testes foram definidos os parâmetros conforme a Tabela 3. Leitura NG quando a fita está presente e, OK quando a fita está ausente.

Tabela 3: Definição de Padrão

Posições da diagonal da Esquerda Inferior (Estado de frente para o Módulo)	
1	Fita1 NG/Fita2 NG
2	Fita1 NG/Fita2 OK
3	Fita1 OK/Fita2 NG
4	Fita1 OK/Fita2 OK

A Fig. 16 mostra a Fita1 como área de detecção correta (NG), onde o sistema identificou a presença da fita.

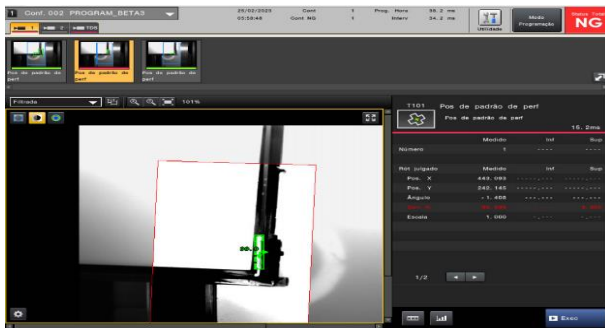


Fig. 16 Detecção da área: Forma correta.

A Fig. 17 mostra a Fita1 com pequena variação no ângulo (NG). Pois mesmo se o chassi estiver mal posicionado o sistema conseguiu detectar se a fita foi removida.

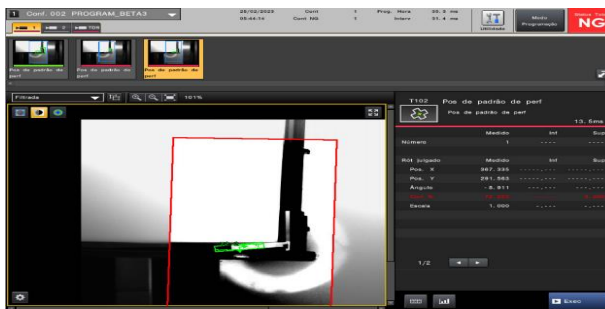


Fig. 17 Detecção: com pequena variação no ângulo.

A Fig. 18 mostra a Fita1 com detecção de área incorreta (NG). Esse foi um erro que ocorreu numa área que não era para detectar a fita.

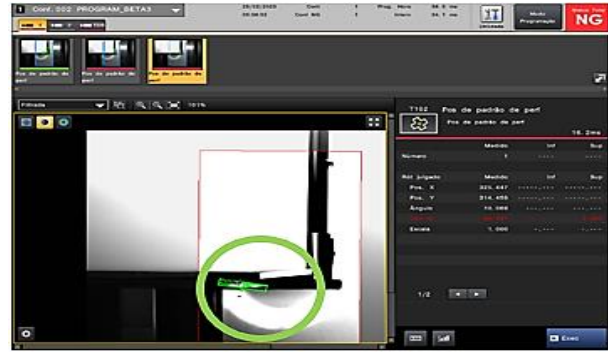


Fig. 18 Detecção de área incorreta.

Ao detectar uma área incorreta foi feita a configuração de contraste através do software CV-X no item conversão de contraste (Fig. 19).

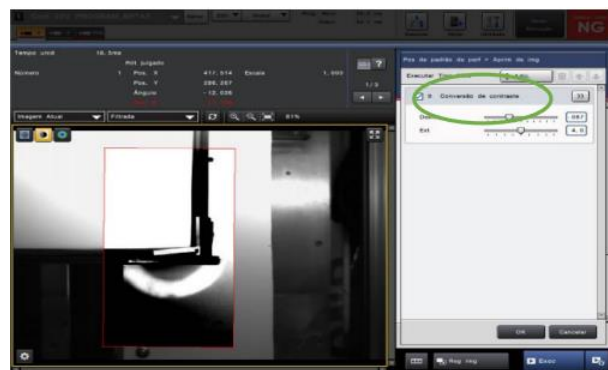


Fig. 19 Correção do perfil: Tratamento de binarização de contraste.

Após o ajuste foi obtido o resultado desejado na Fig. 20 que mostra a correção do perfil pelo tratamento por binarização de contraste que é uma técnica de conversão da imagem em escala de cinza em uma imagem binária, onde os pixels são marcados como preto ou branco, dependendo de sua intensidade em relação a um limiar pré-definido. A ideia é que a binarização de contraste possa melhorar a clareza e a nitidez da imagem, tornando mais fácil para o sistema de visão identificar objetos ou características importantes.

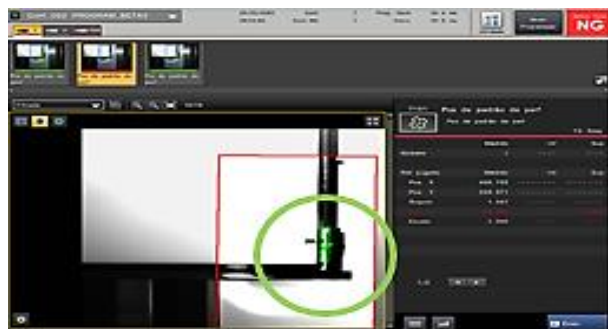


Fig. 20 Detecção: Área de forma correta.

REFERÊNCIAS

Os resultados dos testes foram satisfatórios pois no total de 43 resultados teve apenas uma detecção incorreta devido ao ambiente (iluminação) e que foi corrigido e refeito o teste novamente não detectando mais o problema. A realização dos testes permitiu ajustes para uma melhor obtenção dos resultados.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos após o desenvolvimento dos módulos de Inspeção e Pressionamento foram positivos. Os módulos desenvolvidos, com sistema de visão com lâmpada LED e o pressionamento automatizado para fixar os polarizadores nas laterais das televisões, trouxeram como resultado a garantia na correção humana. Isso porque o operador não tem o campo de visão de toda a área, o que resultava em falhas em pequenas áreas de fixação. Com a automatização do processo, a precisão da fixação melhorou significativamente, reduzindo as chances de falhas e aumentando a qualidade do produto.

No entanto, é importante destacar que o objetivo do processo de fixação dos polarizadores não era aumentar a linha de produção. A finalidade foi garantir uma fixação mais precisa, com menos falhas e maior precisão. Dessa forma, a automatização do processo não apenas aumenta a eficiência da produção, mas também garante a qualidade do produto. A seguir, são apresentados alguns benefícios da automatização do processo de fixação dos polarizadores:

- Aumento da precisão da fixação: com a automatização, a fixação dos polarizadores é feita com maior precisão, reduzindo as chances de falhas.
- Melhora da qualidade do produto: a fixação mais precisa dos polarizadores resulta em uma melhor qualidade do produto, com menos defeitos.
- Aumento da eficiência da produção: a automatização do processo permite que mais televisores sejam produzidos em menos tempo, o que aumenta a eficiência da produção.
- Redução de custos: a automatização do processo pode reduzir os custos de produção, pois reduz a necessidade de retrabalho.

Em conclusão, a automatização do processo de fixação dos polarizadores é uma solução eficaz para melhorar a qualidade, a eficiência e a produtividade da produção de televisores LCD.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa do Polo Industrial de Manaus por proporcionar os recursos necessários para o desenvolvimento desse projeto e sua aplicabilidade no ambiente da indústria. Assim como à Fundação Desembargador Paulo Feitoza (FPFtech), por proporcionar um ambiente propício a pesquisa e desenvolvimento do projeto.

- Bazin, A.I., Cole, T., Kett, B. and Nixon, M. S. (2006). An automated system for contact lens inspection, *Advances in Visual Computing*, 4291, pp. 141–150. Available at: https://doi.org/10.1007/11919476_15.
- Caroli, P. (2018). *Lean Inception: How to Align People and Build the Right Product*, Editora Caroli; 1ª edição (26 janeiro 2018), 187 páginas.
- Corporation, K., (2023). Iniciar sessão | KEYENCE Brasil [em linha]. KEYENCE BRASIL. Disponível em: https://www.keyence.com.br/mykeyence/?ptn=001&p:ad_local=mykfreesub
- Ghule, S. Thakur, A. Kamble, S. (2021). Quick Analysis of Quality of Cereals, Oilseeds and Pulses. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. e-ISSN: 2395-0056. Volume: 08 Issue: 03 | Mar 2021, pp. 848–853. <https://www.irjet.net>.
- Hecht, E. (2002). *Óptica*. 4ta edición. Addison Wesley, 2002.
- Hornberg, A. (2017) *Handbook of Machine Vision: The Guide for Developers and Users*. 2nd edn. Weinheim: Wiley-VCH-Verl.
- Jia, J. (1993). Seed maize quality inspection with machine vision, *SPIE Proceedings [Preprint]*. Available at: <https://doi.org/10.1117/12.164872>.
- Jia, J., Krutz, G.W. and Gibson, H.W. (1991). Corn plant locating by image processing, *Optics in Agriculture*, 1379, pp. 246–253. Available at: <https://doi.org/10.1117/12.25095>.
- Nandini, V. et al. (2016). A review on applications of Machine Vision Systems in industries, *Indian Journal of Science and Technology*, 9 (48). Available at: <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i48/108433>.
- Gladkova, A. Parkhomenko, N. Myronenko, A. Parkhomenko, Y. Zalyubovskiy and M. Andreiev (2021). Adaptation of CAD-system Creo for Development of Individual Spinal Implant, *IEEE 16th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM)*, Lviv, Ukraine, pp. 1-5, doi: 10.1109/CADSM52681.2021.9385210.
- Pressman, R. S. (2021). *Engenharia de Software*. São Paulo: AMGH. 9ª edição.
- Sampaio, L.R. (2011). Validação Visual de Programas Ladder Baseada em Modelos. Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação. Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Engenharia Elétrica e Informática. Campina Grande, Paraíba. 69 f.: il. Unpublished.
- Sathiyamoorthy, S (2014). Industrial application of machine vision. *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology*. eISSN: 2319-1163 | pISSN: 2321-7308. Volume: 03 Special Issue: 07. <https://ijret.org/volumes/2014v03/i19/IJRET20140319120.pdf>
- Serrão, C. (2015). Codificação, Bill of Materials e Monitorização da Produção na Indústria da Automação.

- Repositório comum, unpublished.*
<https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/11726/1/Claudia-Serrao.pdf>
- Shih, R.H. (2013). *Parametric Modeling with Creo Parametric 2.0 An Introduction to Creo Parametric 2.0*. SDC Publications, ISBN: 978-1-58503-818-3
- Silva, A. C. da. (2016). *Reconhecimento automático de defeitos de fabricação em painéis TFT-LCD através de inspeção de imagem*. Dissertações de Mestrado - Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Pernambuco, Recife: 74 folhas, il., gráfs., tabs. Unpublished.
<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/17823>.
- Silva, E. A. da (2016). *Introdução às Linguagens de Programação para CLP*. Blucher, 1ª edição. ISBN-10: 8521210531
- Sommerville, I (2015). *Software Engineering*. Editor Pearson: 10th Revised ed. edition. (24 março 2015). ISBN 10:0133943038.
- Thamrin, N. M. and Ismail, M. M. (2011). *Development of virtual machine for Programmable Logic Controller (PLC) by using STEPS™ programming method*, IEEE International Conference on System Engineering and Technology, Shah Alam, Malaysia, 2011, pp. 138-142, doi: 10.1109/ICSEngT.2011.5993437.