

AUTOMAÇÃO DE DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO E MONITORAMENTO PARA AFERIÇÃO DE PLANICIDADE EM TAMPAS DE DIFERENCIAL AUTOMOTIVAS

Eduardo Erico Schmidt¹, Talis Piovesan²

Instituto Federal Farroupilha Campus Panambi, Panambi-RS, Brasil

E-mail: eduardo.2022009347@aluno.iffar.edu.br

Resumo – Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um Dispositivo de Medição e Monitoramento automatizado para aferição da planicidade em tampas de diferencial automotivas. O dispositivo, composto por sensores de precisão, para medição da planicidade, amplificadores de sinal, controlador lógico programável, componentes pneumáticos e integração com o Sistema de Aplicações e Produtos, visa substituir o método manual de aferição, melhorando a precisão, rastreabilidade e segurança do processo. Os resultados indicam ganhos em qualidade, redução de custos e aumento da confiabilidade, consolidando a automação como ferramenta estratégica no setor automotivo.

Palavras-Chave – Automação industrial, Controle de qualidade, Dispositivos de medição da planicidade.

AUTOMATION OF MEASURING AND MONITORING DEVICE FOR MEASURING FLATNESS IN AUTOMOTIVE DIFFERENTIAL

Abstract – This paper presents the development of an automated Measuring and Monitoring Device for measuring the flatness of automotive differential covers. The system, composed of precision sensors, for measuring flatness, signal amplifiers, Programmable Logic Controller, pneumatic components and integration with Applications and Products System, aims to replace the manual method, improving the accuracy, traceability and safety of the process. The results indicate gains in quality, cost reduction and increased reliability, consolidating automation as a strategic tool in the automotive sector.

Keywords – Industrial automation, Quality control, Measurement devices.

NOMENCLATURA

CLP	Controlador Logico Programável
IHM	Interface homem máquina
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
ETHERNET-IP	Internet protocol address
SAP	Sistema de Aplicações e Produtos
TI	Tecnologia da Informação
DMM	Dispositivo de Medição e Monitoramento
OP	Ordens de Produção
µm	Micrometro
mm	Milímetros
PNP	Passa Não Passa

RNC Relatório De Não Conformidade

I. INTRODUÇÃO

A busca por maior eficiência e precisão na fabricação de componentes automotivos é uma prioridade constante na indústria [1], especialmente diante do aumento das exigências por qualidade e rastreabilidade [2]. As tampas de diferencial [3] são elementos essenciais nos veículos de transporte, e sua planicidade [4] desempenha um papel crucial na vedação e no funcionamento eficiente do veículo [5]. Irregularidades na planicidade podem resultar em vazamentos de óleo e comprometer a segurança do veículo e condutor. Nesse contexto, a implementação de tecnologias para automação de processos de medição e monitoramento tornou-se indispensável para empresas que buscam excelência em seus produtos e processos.

Buscou-se então entender o processo manual existente, para o desenvolvimento de uma solução viável e confiável para atender o cliente que exigia um DMM que não fosse por atributo, ou seja, calibre de folga, ou Passa Não Passa, (PNP), [6]. Detectamos que no método manual, a inspeção na circunferência da tampa efetuada pelo operador utiliza-se um calibre de folga, de 1mm ou 1.5mm de espessura, a depender do modelo de tampa. A sensibilidade do operador impactava nos resultados, ocasionando variações dos valores de medição. E tempo de 2 minutos para verificação manual, neste método ou trinta (30) peças por hora verificadas. Ademais, o procedimento de controle não indicava limite inferior esperado para medição. Quando o calibre de folga de 1 ou 1.5 mm ultrapassava os limites estabelecidos, ocorria o erro de GAP, [7] o qual comprometia a planicidade do produto. O objetivo de reduzir o GAP é garantir solda com estanqueidade [8] entre tampa do diferencial e carcaça do eixo traseiro do veículo automotivo. Estanqueidade refere-se à capacidade de um sistema ou material impedir a passagem de líquidos como água, ou outros fluidos, através de barreiras ou componentes para evitar vazamentos ou infiltrações.

GAP entre peças refere-se à lacuna, espaço ou folga existente entre as partes de uma montagem ou processo. A folga pode ser visualizada como a distância entre as superfícies que se unem podendo ter várias causas, como má instalação, peças com dimensões incorretas ou falhas no processo de produção. O aumento da folga na planicidade da peça está diretamente ligado ao desgaste nas punções e matrizes da ferramenta, e quanto maior a folga, maior será o desgaste, que poderá ocasionar a quebra da ferramenta no decorrer do processo, ou vazamento de óleo do diferencial no veículo automotivo posteriormente.

O processo manual de verificação da folga não permitia um controle sistemático nem o monitoramento

contínuo da tendência de desgaste das punções e matrizes, comprometendo a capacidade de antecipação de falhas e a prevenção de quebras de ferramenta.

Houve ainda, por parte do cliente, a solicitação de uma solução que considerasse a multiplicidade de modelos de tampas fabricadas, requerendo flexibilidade no ferramental e necessidade de monitoramento para estas denominadas famílias de peças, cada uma com sua particularidade e tamanhos diferentes. A justificativa do trabalho fundamenta-se no pré-requisito do cliente na busca de um DMM automatizado, para fornecimento da tampa de diferencial e na crescente demanda por aprimoramento dos processos produtivos na indústria automotiva, visando à redução de desperdícios e à elevação da qualidade do produto final. Através do monitoramento de planicidade da tampa é possível detectar o desgaste da ferramenta, ferramenta instalada em uma prensa mecânica, que efetua o estampo da peça, para retirada do material em excesso na borda da tampa. A automação, busca reduzir a dependência de intervenções manuais e minimizar os riscos de erros humanos na aferição das peças, vide processo anterior.

O Dispositivo de Monitoramento e Medição (DMM), é projetado para atender as necessidades de planicidade do produto de um cliente industrial, pois o fornecedor anterior da tampa de diferencial não possuía um DMM automatizado, gerando muitos Relatórios de Não Conformidades (RNC), [9], causando a perda de produção deste item. O Relatório de Não Conformidade é um documento que registra e documenta falhas e desvios em relação aos padrões estabelecidos em uma empresa ou organização. É uma ferramenta essencial para identificar e analisar as causas das não conformidades, permitindo a implementação de ações corretivas e preventivas para melhorar a qualidade dos processos e produtos. Além disso, a integração do sistema de medição ao *software* de gestão empresarial proporciona rastreabilidade, facilitando o monitoramento e a documentação de cada etapa do processo produtivo. Essa integração aumenta a transparência e a confiabilidade em auditorias e certificações, contribuindo para a consolidação da competitividade da empresa no mercado.

O DMM emprega sensores de alta precisão, acionados pneumaticamente, integrados a um Controlador Lógico Programável (CLP), [10] promovendo maior eficiência operacional e redução de falhas humanas. A proposta visa demonstrar como o DMM automatizado pode contribuir para melhorias na qualidade e produtividade, garantindo medições rápidas, precisas e rastreáveis em todas as unidades produzidas. Dessa forma, espera-se reduzir custos operacionais e aumentar a competitividade da organização.

II. METODOLOGIA

A metodologia adotada para o desenvolvimento e implementação do DMM foi estruturada de modo a assegurar a precisão e eficiência no controle da planicidade das tampas de diferencial de veículos de transporte e diminuição no tempo de medição por peça, no processo manual fig.1, usado calibre de folga Fig.2, com tempo de 2 minutos, reduzindo para 30 segundos, no processo automatizado. A abordagem seguiu uma sequência lógica de etapas, Fig.3, incluindo pesquisa técnica, planejamento, desenvolvimento do projeto elétrico e

de programação, montagem do painel de controle, configuração do sistema e validação do projeto junto ao cliente, garantindo que os resultados atendam às especificações e exigências estabelecidas.



Fig.1. Método manual de aferição.



Fig. 2. Calibre de folga para controle planicidade.

O presente trabalho aborda o desenvolvimento e a implementação de um Dispositivo de Medição e Monitoramento, (DMM) automatizado, para aferição da planicidade em tampas de diferencial de veículos de transporte, realizado em uma indústria metalmeccânica Panambiense, situada no estado do Rio Grande do Sul. A tampa do diferencial está localizada na parte traseira do veículo, mais especificamente entre as rodas, Fig.4, no eixo traseiro, responsável por transmitir a força do motor às rodas traseiras. No centro deste eixo traseiro há um componente de formato arredondado, esta é a tampa do diferencial.

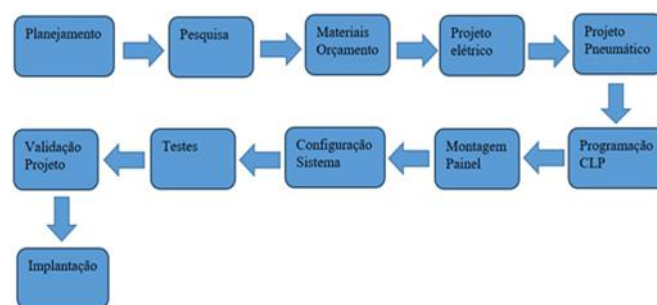


Fig. 3 Fluxograma do processo de desenvolvimento.

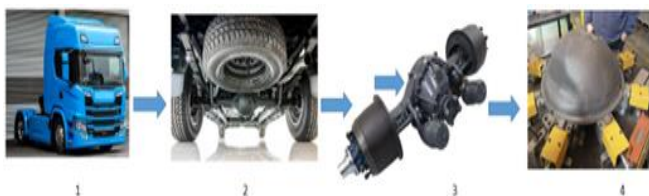


Fig. 4. Exemplo de aplicabilidade da tampa de diferencial.

A primeira etapa consistiu em um estudo técnico e levantamento de requisitos para identificar soluções disponíveis no mercado Fig.5, para aferição de planicidade, envolvendo a análise de especificações técnicas de equipamentos, compatibilidade com o ambiente industrial e aderência às normas de qualidade. Onde optamos pela marca Japonesa KEYENCE, [11] líder mundial em fornecimento de sensores, sistemas de medição, marcadores a laser, e sistemas de visão.



Fig. 5. Exemplo de aplicabilidade de sensores caneta, no mercado.

Com base nas informações disponíveis e utilizando uma amostra física da peça, foram realizados ensaios práticos de medição em 32 pontos distribuídos ao longo da circunferência, por meio da máquina de medição por coordenadas (CMM) CNC [12] da empresa. A partir da análise dos dados obtidos, concluiu-se que o monitoramento de 8 (oito) pontos estrategicamente selecionados é suficiente para garantir a avaliação da planicidade da tampa do diferencial, bem como para o controle do desgaste da ferramenta. Esta etapa envolveu orçamentos dos materiais utilizados [13]. Posteriormente serão apresentados os equipamentos com uma análise técnica de suas funções e benefícios, bem como uma breve descrição do fluxo de produção da peça, fig. 6, e do processo de medição de planicidade, fig. 7.

2) Fluxo de produção da peça:

1. Chapa de aço plana de 8mm cortada no tamanho da peça na máquina de corte a laser.
2. Efetuado repuxo da chapa em uma prensa hidráulica de 1000 Toneladas.
3. Peça conformada e encaminhada para processo posterior via transporte interno.
4. Processo de estampo da tampa em uma prensa mecânica de 750 Toneladas para retirada do excesso de chapa no contorno da peça.
5. Lixamento de rebarba da peça, pós estampo.
6. Processo de Medição da planicidade.

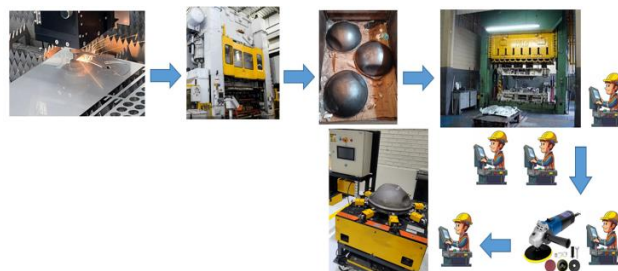


Fig. 6. Elaborado pelo autor (2025). Fluxo de produção da peça.

3) Processo de medição:

1. • **Seleção do Programa na IHM:**
O operador acessa a Interface Homem-Máquina e seleciona o programa de aferição correspondente à peça recebida, conforme a família de tampas especificada. Cada troca de modelo de família o sistema exige um novo referenciamento. A IHM será a interface do operador com a máquina.
2. • **Calibração do Dispositivo de Medição:**
O operador posiciona o calibrador padrão no Dispositivo de Medição Mecânica DMM e aciona a botoeira de início de ponto zero.
3. • **Execução da Lógica no CLP:**
O Controlador Lógico Programável, é o responsável por controlar a lógica de programação, ao receber o sinal da botoeira, executa a lógica de calibração pré-programada.
4. • **Ativação do Sistema Pneumático:**
O CLP aciona a válvula solenóide pneumática, permitindo a passagem de ar comprimido ao sistema de medição. Passagem máxima de ar permitida pelo regulador é 3 bares de pressão, pela característica do sensor.
5. • **Avanço dos Sensores de Medição GT2-PA:**
Os sensores tipo caneta avançam e entram em contato com o padrão por um intervalo de 3 segundos, conforme parametrizado.
6. • **Aquisição de Sinais pelos Sensores:**
Os sinais analógicos gerados pelos sensores GT2-PA são enviados ao amplificador GT2-550, onde são convertidos e enviados via rede *ethernet-IP*.
7. • **Recebimento e Tratamento de Sinal pelo CLP:**
O CLP recebe os dados digitais via comunicação com o amplificador GT2-550, realiza o processamento e tratamento lógico dos sinais.
8. • **Conversão em Lógica Ladder:**
Os dados recebidos são convertidos internamente em lógica ladder para avaliação conforme parâmetros de tolerância programados.
9. • **Visualização do Estado de Calibração:**
A IHM exibe o estado do dispositivo (zerado ou fora do padrão). Caso o referenciamento esteja conforme, o operador prossegue com o processo.
10. • **Seleção de Programa de Medição:**
Com o dispositivo devidamente zerado, o operador seleciona na IHM o programa de medição correspondente à família da peça a ser analisada.
11. • **Preparação da Peça para Medição:**

O operador posiciona a peça de trabalho no dispositivo de medição.

12. • **Confirmação de Presença e Compatibilidade:**
Sensores de presença verificam se a peça está corretamente posicionada e se é compatível com o programa previamente selecionado.
13. • **Validação de Status pelo Operador:**
O operador valida visualmente o status do sistema pela IHM.
14. • **Início do Ciclo de Medição:**
Ao pressionar a botoeira de medição, o ciclo automático é iniciado.
15. • **Repetição do Processo de Medição com Peça:**
Os sensores GT2-PA avançam novamente, fazem contato com a peça durante 3 segundos, e os sinais de medição são enviados ao amplificador GT2-550.
16. • **Avanço dos Sensores de Medição:**
Os sensores tipo "caneta" modelo GT2-PA avançam e entram em contato com o padrão por um intervalo de 3 segundos, conforme parametrizado
17. • **Aquisição e Conversão de Dados da Peça:**
O amplificador GT2-550 converte os dados dos sensores e envia em rede *ethernet-IP* ao CLP para análise.
18. • **Análise Lógica e Envio para IHM:**
O CLP processa os dados conforme a lógica *ladder* e envia os resultados à IHM para exibição.
19. • **Classificação da Peça:**
A IHM exibe se a peça foi aprovada (dentro da faixa de tolerância) ou reprovada (fora da especificação), com base nas medições captadas.
20. • **Destinação da Peça Conforme Resultado:**
Peça Aprovada: encaminhada para caixa padrão e segue para o processo de soldagem.
Peça Reprovada: destinada para contenção e/ou descarte.
O DMM será futuramente integrado à rede via protocolo *MQTT*, permitindo coleta de dados, rastreabilidade e geração de gráficos de tendência.



Fig.7. Elaborado pelo autor (2025). Descrição visual resumida do processo de Medição planicidade da tampa.

Para verificar a planicidade no DMM automatizado serão necessários sensores de medição GT2-PA12 tipo caneta, Keyence, selecionados pela sua alta resolução (0,1 μ m), e robustez (IP67G). Realizou-se a instalação de oito (8) sensores caneta, distribuídas uniformemente pelo dispositivo, fig. 8, dispostas em um ângulo de 45 graus, formando um círculo para abranger toda base da peça, gerando uma leitura confiável da planicidade. Paralelamente, foram escolhidos os amplificadores GT2-550, para o processamento dos dados de medição, Controlador Lógico Programável (CLP), para controle das informações, Interface Homem Máquina (IHM), [14] para criação de telas intuitivas entre máquina e operador, e sistema pneumático para acionamento dos sensores.

Na segunda etapa, a realização através da área de automação da empresa, o planejamento e desenvolvimento do projeto elétrico, pneumático, por parte da área de ferramentaria da empresa o desenvolvimento do projeto mecânico, a estrutura física, e pela engenharia de processo juntamente com o cliente desenvolvido o fluxo de operação.

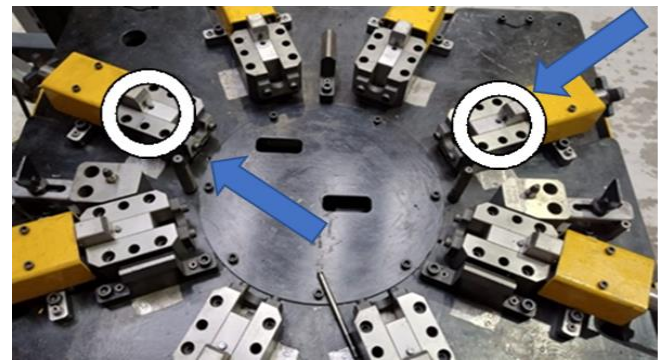


Fig. 8. Representação do posicionamento das 8 "Canetas" do DMM.

O projeto foi elaborado utilizando ferramentas de CAD, para criar o diagrama elétrico e pneumático que orientaram a montagem e conexão dos componentes. Assim, os sensores foram posicionados verticalmente Fig. 9, em suportes específicos, para garantir cobertura abrangente das áreas críticas das peças.

O DMM Automatizado Fig. 10, foi parametrizado para detectar variações de planicidade com tolerâncias de 1.0 mm e 1.5mm respectivamente, entre 5 famílias diferentes de tampas do diferencial produzidas, gerando alertas automáticos na tela da IHM para peças fora do padrão. Em comparação ao sistema manual de aferição por atributivo, isso é um ganho elevado, pois não tem modo de alerta. Além disso, o sistema será configurado para vincular os dados de medição às ordens de produção (OPs), possibilitando a geração de relatórios detalhados e monitoramento.

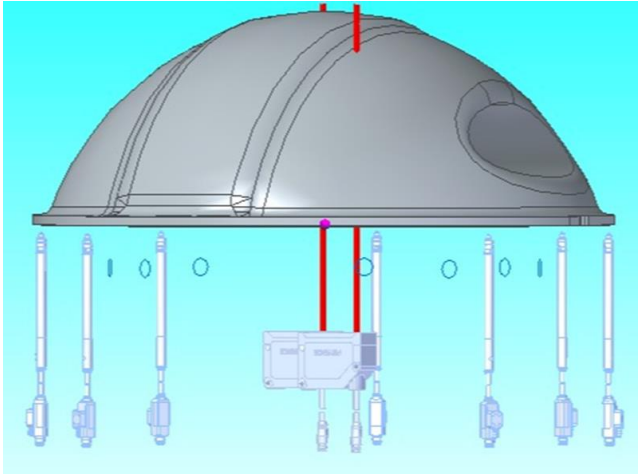


Fig. 9. Posição dos sensores caneta em relação a peça.

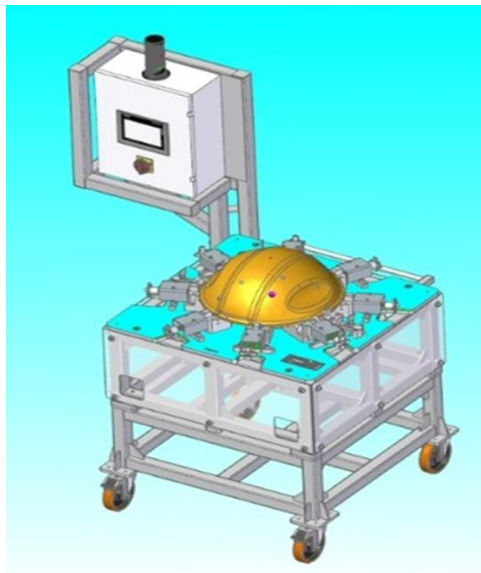


Fig. 10. Dispositivo de Medição e Monitoramento DMM automatizado.

Quanto ao desgaste da ferramenta, este é causado pelo atrito entre a ferramenta e a chapa metálica, decorrente da repetição cíclica de cargas durante os ciclos de estampagem.

As tampas foram categorizadas em cinco famílias, conforme características geométricas e especificações técnicas. Cada família apresenta tolerâncias específicas de planicidade (*gap* máximo admissível entre pontos extremos da superfície medida):

Família	Tolerância Máxima	Faixa de Medição (mm)	Classificação	Ação a Ser Tomada
1 e 5	1,00 mm	0,00 – 0,90	OK	Produção normal
		0,91 – 1,00	Alerta de Manutenção	Emitir alerta; monitorar ferramenta e seguir com atenção
		> 1,00	Rejeição (NOK)	Parar o processo; acionar técnico de qualidade para avaliar peça e condição da ferramenta
2, 3 e 4	1,50 mm	0,00 – 1,40	OK	Produção normal
		1,41 – 1,50	Alerta de Manutenção	Emitir alerta; manter produção sob monitoramento
		> 1,50	Rejeição (NOK)	Parar o processo; acionar técnico responsável para análise da peça e da ferramenta

Fonte: Elaborado pelo autor (2025). Tabela 1: Tolerância e Alertas.

III. DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS E COMPONENTES DO DMM AUTOMATIZADO.

1) Sensores de Medição Caneta Keyence GT2-PA12:

Os sensores caneta de medição GT2-PA12 Fig. 11, são o núcleo do sistema automatizado, escolhidos por sua precisão e capacidade de operar em condições industriais. As principais características técnicas desses sensores incluem:

- A GT2 tem no corpo uma escala de vidro com resolução de 0,1 μm e precisão de 1 μm , onde cada posição é única, que com a intensidade eletromagnética específica, gera um sinal.
- A GT2 tem avanço por meio pneumático, e recuo por mola, essa configuração assegura que, na ausência de sinal de ativação pneumática, a caneta permaneça naturalmente recuada, protegendo-a contra possíveis colisões com a peça durante movimentos de aproximação.

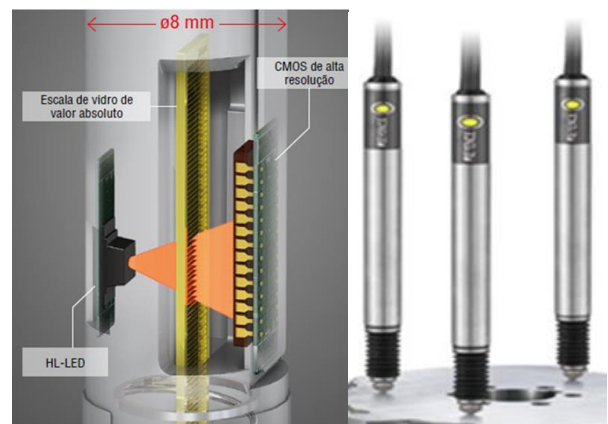


Fig. 11. Caneta de medição GT2-PA12.

- Robustez Industrial (IP67G): Resistentes a poeira, óleo e outros contaminantes, esses sensores oferecem alta durabilidade e desempenho confiável em ambientes fabris.

- Compactos e Versáteis: O *design* compacto facilita a instalação em suportes específicos, permitindo que os sensores cubram áreas críticas das tampas de diferencial.
- Sensor CMOS (semicondutor de óxido metálico complementar).
- Capta a luz através de um feixe de luz.
- Transforma a luz em carga elétrica.
- O circuito eletrônico processa a carga elétrica em imagem digital.

A funcionalidade dos sensores é complementada pelos cabos GT2-CHP5M, que garantem uma comunicação estável e confiável entre os sensores e os amplificadores. O projeto utilizou oito sensores GT2-PA12, posicionados para realizar medições em múltiplos pontos das peças, assegurando total conformidade com as especificações técnicas fornecidas pelo cliente.

O conceito de medição por sensores de caneta, [15] não possui um marco de surgimento único. O desenvolvimento foi gradual, com a combinação de diferentes tecnologias ao longo do tempo. Sensores, como extensômetros e termopares, foram desenvolvidos no início do século XX, e a miniaturização e integração em dispositivos portáteis, como canetas, ocorreu mais recentemente com o avanço da eletrônica e da tecnologia de sensores.

2) Amplificadores GT2-550:

Os amplificadores são responsáveis pelo processamento dos dados capturados pelos sensores GT2-PA12. Basicamente recebe o sinal analógico ou digital, dependendo da necessidade e clp, o amplificador especificamente não tem mostrador, de forma que sempre precisará de uma unidade DL para enviar o resultado.

Pode-se destacar que os amplificadores possuem as seguintes funcionalidades:

- Configuração Personalizável: Permite parametrizar os limites de tolerância para a planicidade e ajustar os critérios de conformidade.
- Geração de Alertas Automáticos: Sempre que uma peça estiver fora das especificações, os amplificadores enviam alertas em tempo real, otimizando o controle de qualidade.
- Compatibilidade com Sistemas de TI: Facilitam a integração com a interface DL-EP1, permitindo transmissão de dados para o sistema SAP [16].

3) Interface de Comunicação DL-EP1:

A interface DL-EP1 foi integrada ao DMM para conectar os amplificadores ao CLP. Recebendo os dados do amplificador e convertendo estes dados em *Ethernet* [17] que é um protocolo de comunicação industrial, usado para conectar e trocar dados entre controladores e dispositivos em ambientes de automação. O qual permite a transmissão rápida e confiável de informações, sendo um padrão amplamente utilizado em fábricas inteligentes e aplicações industriais. Posteriormente a implementação do DMM, o *MQTT* [18] que é um protocolo de mensagens baseado em padrões, ou conjunto de regras, usados para comunicação de computador para computador, poderá ser habilitado. Sensores inteligentes, e outros dispositivos da Internet das Coisas (IoT) [19] normalmente precisam transmitir e receber dados por meio de

uma rede com limitação de recursos e largura de banda limitada. Esses dispositivos IoT usam o *MQTT* para transmissão de dados, pois é fácil de implementar e pode comunicar dados IoT com eficiência. O *MQTT* oferece suporte a mensagens entre dispositivos para a nuvem e da nuvem para o dispositivo. Ou seja, do *MQTT* para o sistema de Tecnologia da Informação (TI) da empresa. Ela desempenha um papel fundamental ao assegurar que os dados sejam capturados, processados e armazenados de forma eficiente. Suas principais características são:

- Transmissão de Dados em Tempo Real: Garante que os dados das medições sejam enviados diretamente ao sistema SAP.
- Rastreabilidade: Associa cada medição às ordens de produção (OPs), facilitando auditorias e controle de qualidade.
- Monitoramento e Configuração remota: Permite ajustes no sistema de forma centralizada, reduzindo a necessidade de intervenção manual. Também possibilita a geração de relatórios detalhados das medições, fundamentais para atender às exigências dos clientes.

4) Componentes Pneumáticos:

O circuito pneumático, [20], foi projetado para garantir estabilidade durante o processo de medição e controlar o movimento dos sensores. Os componentes principais incluem:

- Filtro de Ar (AF20-F02C-D): Protege o sistema de ar comprimido, filtrando contaminantes e garantindo ar limpo, prevenindo falhas na válvula.
- Regulador de Pressão (IR1010-F01BG-A): Garante um fluxo de ar constante, ajustado para este trabalho em 3 Bar de pressão, para uma operação suave e estável dos sensores até o contato na peça e, após leitura, que recuem suavemente, sem causar impacto.
- Válvula Direcional Solenóide (VP342-5DZ1-02A): É uma válvula 5/2 vias com atuador solenóide e retorno por mola, atua comutando a válvula causando a liberação de ar para o avanço dos sensores, conforme sinal elétrico enviado pelo CLP. Controla o fluxo de ar no sistema, garantindo que o movimento dos sensores seja rápido e preciso, sem causar impactos que possam danificar as peças.
- Tubos de Poliuretano (TU0425BU-100 e TU0805BU-100): Conectam o acionamento das canetas aos diferentes elementos do sistema pneumático. Tubos específicos para sistemas pneumáticos.

5) Suportes de Montagem e Sensores de Contato:

Os suportes, modelos OP-87863 fig. 12, foram instalados para fixar os sensores GT2-PA12 em posições estratégicas, proporcionando estabilidade e precisão durante a medição. Esses suportes permitem ajustes finos, otimizando a capacidade dos sensores de acessar pontos críticos das peças.



Fig. 12. Suporte de montagem OP-87863.

As ponteiros de contato, modelo OP-77679 Fig. 13, foram adicionados para aprimorar o desempenho do sensor, prevenindo danos às superfícies das tampas e garantindo medições precisas, pois a área de contato é maior em relação ao normal da caneta sensora. Eles desempenham no momento inicial de cada ciclo de medição, estabelecendo o ponto de referência para o sensor principal.

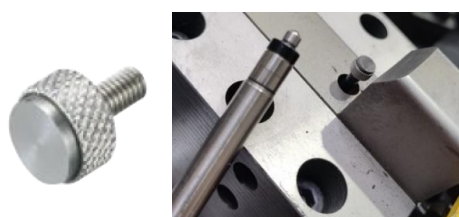


Fig. 13. Ponteiros de contato OP-77679.

6) CLP Nexto Xpress 325 Altus:

Criado pela empresa Altus, [21] para atender às demandas de máquinas e pequenos processos, o CLP compacto Nexto Xpress, fig. 14, é uma solução completa para as aplicações mais avançadas, entregando desempenho e conectividade com um excelente custo benefício, contam com 16 entradas digitais, 16 saídas digitais a transistor, uma porta Ethernet, um canal Serial padrão RS-485, uma porta CAN e uma interface USB, o CLP Xpress também utiliza a plataforma tecnológica CODESYS, com configuração via MasterTool IEC XE, software gratuito de programação da série com escalabilidade para projetos de micro a grande porte.

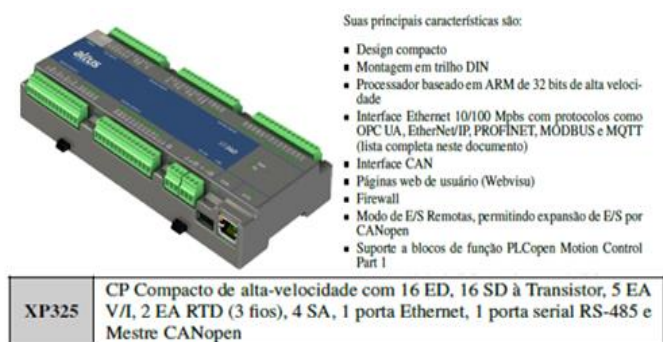


Fig. 14. CLP Altus Nexto XP 325.

IV. RESULTADOS

1) Sistema de controle

A etapa final do projeto consistiu na montagem e integração física do Dispositivo de Medição de Monitoramento. O painel elétrico foi montado de acordo com o projeto previamente elaborado, empregando componentes como o CLP Altus XP325, amplificadores Keyence GT2-550, sensores de presença a laser para detectar o modelo de tampa conforme o programa selecionado na IHM, além da interface de comunicação DL-EP1 e componentes pneumáticos.

A programação do CLP foi desenvolvida em linguagem Ladder, através do software MasterTool IEC XE, [22] a Interface Homem-Máquina foi programada com telas intuitivas, promovendo ao operador melhor visualização, e interpretação.

A montagem também contemplou a instalação dos sensores de contato GT2-PA12, posicionados em oito pontos estratégicos, e fixados por suportes OP-87863 específicos, para garantir a fixação adequada.

Tela de manutenção, Fig. 15. De acesso restrito, para pessoas autorizadas, necessário usuário e senha. É possível ajustar valores de presença dos sensores, responsáveis pela verificação do modelo de peça a ser verificado, como janela de leitura de cada sensor.

Calibrar sensores: Efetuando um novo ponto zero de referência de medição da peça, através de calibrador fig. 16, desenvolvido pela empresa, sobre o DMM.

Desabilita caneta: Desabilitar excepcionalmente uma caneta, para situação de algum problema físico com a mesma, neste caso os valores serão verificados pelas canetas em funcionamento.

Tempo de teste em automático: Possível aumentar o tempo de sensor avançado em contato com a peça.

Exportar receitas: É possível exportar e importar receitas através de dispositivo USB, pen drive, para futura análise.



Fig. 15. Tela Manutenção.

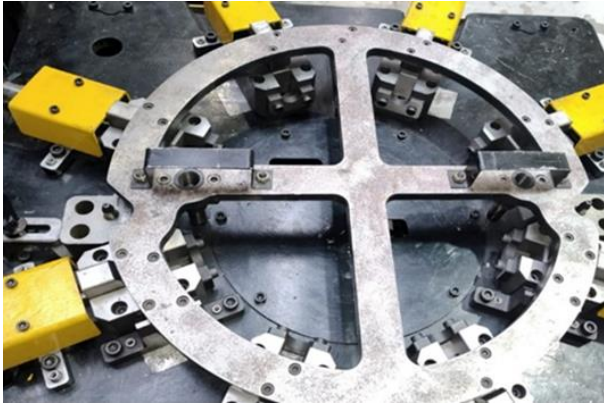


Fig. 16. Calibrador de referência, sobre o dispositivo.

2) Sensor IL-300.

Este modelo de sensor tem a função de detectar a presença da peça no dispositivo, instalados 2 sensores e conforme combinação das leituras medidas, fig.17, identifica o modelo de peça a ser aferida, pois são 5 famílias de tampas. Estes sensores fig. 18, são ligados via analógica, que através da conversão de sinal, gera um valor em milímetros. Como as 5 famílias de tampas tem alturas, dimensões diferentes, consegue-se, combinações de leitura, para que não aconteça a chamada de programa diferente da peça a ser verificada.



MANUTENÇÃO



VOLTAR



Inicial

S1

252 mm

Mínimo

Máximo

FAMÍLIA 1

247 mm

257 mm

✓

FAMÍLIA 2

243 mm

253 mm

✓

FAMÍLIA 3

218 mm

226 mm

✗

FAMÍLIA 4

260 mm

270 mm

✗

FAMÍLIA 5

270 mm

278 mm

✗

S2

277 mm

Mínimo

Máximo

272 mm

282 mm

✓

280 mm

290 mm

✗

200 mm

210 mm

✗

260 mm

270 mm

✗

266 mm

275 mm

✗

Fig.17. Combinação de sensores para cada família de tampa.



Fig. 18. Posicionamento 2 sensores presença de peça.

Na tela em automático, fig.19, dispomos das seguintes informações:

A direita da tela consta a família da tampa, medida mínima e medida máxima verificada na medição, tolerância de planicidade definida, média final de planicidade detectada, se valor de média dentro do especificado, peça aprovada, se valor fora do especificado, peça reprovada, fig. 20, a direita observa-se a leitura dos sensores de presença de peça, e a quantidade de peças produzidas.

Na parte central observa-se o *layout* da disposição virtual dos sensores caneta, C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, com os valores de leitura atuais na parte superior de cada caneta, e na parte inferior o registro de medição da peça anterior, valores em destaque de amarelo, em C2 e C7 é o pico e vale da medição, e ao centro, a mensagem de peça aprovada juntamente com o valor da planicidade.



Fig. 19. Peça aprovada pelo DMM.



Fig. 20. Peça reprovada pelo DMM.

Por fim, ressalta-se que estes componentes garantem que o sistema opere com estabilidade mecânica, maximizando a eficiência e prolongando a vida útil dos sensores.

3) Projeto elétrico:

O projeto elétrico foi desenvolvido com foco na automação, controle e integração entre os sistemas de medição. Ele é representado pela topologia da rede de comunicação industrial entre os equipamentos fig.21, e pela distribuição das entradas e saídas digitais e analógicas fig.22, que permitem o controle em tempo real dos processos de leitura e monitoramento.

4) Projeto pneumático:

Pag. 02 / E15

Pag. 02 / D15

0Vcc 1X1mm Azul

45 24Vcc 1X1mm Vermelho

S1

Keyence
GT2-PA12K

1 MR 45
2 A+ing 0
3 BR 100
4 PT

0

COMUM

AI0.I

AI0.V

RESERVA

CANETA GT2-PA12K - 1

The diagram illustrates the wiring for the CAN bus system. It shows three CAN modules: HM X2 7" (part number 172 19 1 138) and two KP325-CLP1 modules (part number 172 19 1 137). The HM module is connected to terminals X1, X2, X3, and X4. The KP325 modules are connected to terminals 0 and 45. The diagram also shows the connection of the CAN bus lines (CAN+ and CAN-) to the modules.

[illegible]

A adoção de uma IHM, fig.24, com alarmes visuais e registro de falhas possibilita a identificação de anomalias, facilitando a execução de manutenções preventivas reduzindo o tempo de inatividade da máquina. Além disso, o sistema permite a criação de receitas de produção, promovendo maior eficiência operacional.

-

Realizado a montagem do painel fig. 25, instalação do painel elétrico, programação personalizada do CLP em *ladder*, programação e confecção das telas da IHM. O projeto foi concebido em conformidade com a NR-10, [23], incorporando um painel elétrico adequado, devidamente identificado e sinalizado com etiquetas de segurança. O painel inclui chave seccionadora com dispositivo de bloqueio para intervenções seguras durante manutenção, relé de emergência com rearme manual, e chave de segurança para controle de acesso. Foram aplicados adesivos de sinalização visual de risco elétrico reforçando o cumprimento das normas de segurança vigentes e minimizando riscos ao operador.

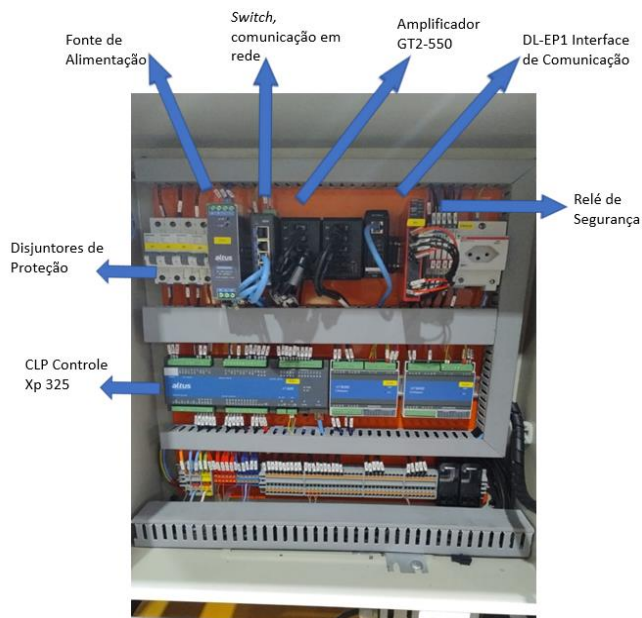


Fig. 25. Montagem Painel.

Programação CLP do DMM: A lógica de controle do dispositivo de medição e controle da tampa do diferencial foi desenvolvida utilizando a linguagem *Ladder* fig. 26, uma das linguagens mais utilizadas na automação industrial, padronizada pela norma IEC 61131-3, [24].

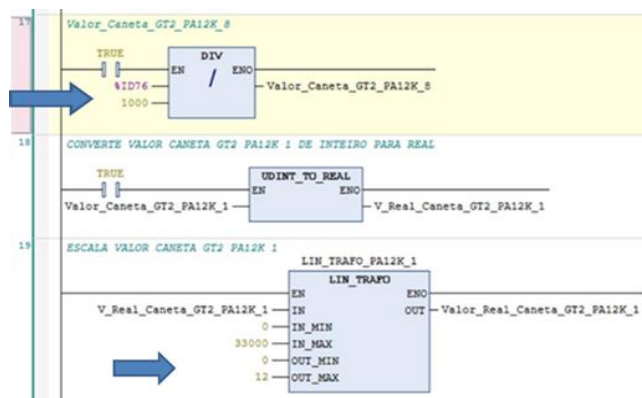


Fig. 26. Ilustração do programa em *ladder*.

O valor proveniente da memória da rede referente à caneta 8 (ID76) é dividido por 1000, a fim de converter a leitura do sensor, para gerar valor com vírgula. O valor normalizado é convertido para real, garantindo compatibilidade com blocos funcionais para realizar operações matemáticas. Aplica-se uma função de escala linear que mapeia o intervalo de leitura original do sensor (0 a 33.000 unidades) para o intervalo físico correspondente ao curso real da caneta (0 a 12 mm). Essa etapa traduz o valor digital bruto em uma medida física útil para controle ou monitoramento do sistema.

Na etapa seguinte realizou-se testes de validação para assegurar a precisão e a confiabilidade do sistema. Esses testes consistiram em comparações dos resultados obtidos pelo DMM com padrões de referência previamente calibrados com

um calibrador referência do ponto zero, confeccionado pela empresa para o DMM.

Por fim, realizou-se a implantação do DMM no ambiente de produção. Os operadores receberam treinamento para monitorar e ajustar o sistema por meio da Interface Homem-Máquina, projetada para ser intuitiva e de fácil uso. Durante essa etapa, foram implementados procedimentos de manutenção preventiva para assegurar o funcionamento contínuo do sistema, incluindo inspeções regulares dos sensores, painel elétrico e componentes pneumáticos. A metodologia adotada assegura que as etapas serão executadas tecnicamente e com atenção, resultando em um DMM que atende às necessidades do cliente, melhora a eficiência produtiva e eleva os padrões de qualidade.

Contribuições do Sistema:

A combinação dos sensores, amplificadores, interface de comunicação e componentes pneumáticos resulta em um sistema integrado, capaz de medir planicidade com alta precisão se necessário, processar dados em tempo real. Essa configuração oferece maior eficiência operacional, redução de erros e aumento na conformidade das peças.

Os sensores serão programados para gerar alertas automáticos em caso de peças fora do padrão. Os alarmes são exibidos na Interface Homem-Máquina, permitindo ações corretivas imediatas.

A interface DL-EP1 conecta os amplificadores dos sensores ao CLP e do CLP para o sistema de Tecnologia da Informação ao Sistema de Aplicações e Produtos (SAP) da empresa, permitindo a integração completa dos dados de medição, onde cada medição será associada futuramente a uma OP específica, garantindo rastreabilidade das peças. Os dados poderão ser enviados automaticamente para o SAP, eliminando a necessidade de registros manuais, reduzindo erros de apontamento.

O sistema será configurado para gerar relatórios detalhados com as medições realizadas, percentuais de conformidade e peças fora do padrão.

V. DISCUSSÃO

1) *Benefícios no Controle de Planicidade:*

O principal objetivo do DMM é garantir que as tampas de diferencial atendam às especificações do cliente, peças dentro do especificado, Fig. 00, para o funcionamento eficiente do veículo. Os sensores, proporcionam um controle eficiente sobre as variações de superfície.



Fig. Exemplo de resultado positivo na tela IHM.

- **Detecção de Irregularidades Mínimas:** O sistema é capaz de identificar desvios que seriam imperceptíveis em medições manuais, reduzindo significativamente a possibilidade de falhas nos produtos finais.
- **Padronização das Medições:** A automação elimina a variabilidade inerente ao trabalho manual, assegurando que todas as peças sejam avaliadas sob os mesmos critérios rigorosos.

Anteriormente à implementação do DMM, fig. 27, o desvio padrão das medições eram aproximadamente 1.5 mm. Com o novo DMM, esse valor poderá ser reduzido, para 0,1 mm, inicialmente será mantido a variação de 1 mm, resultando em maior conformidade com as exigências do cliente, pois o erro da medição manual será evitado.

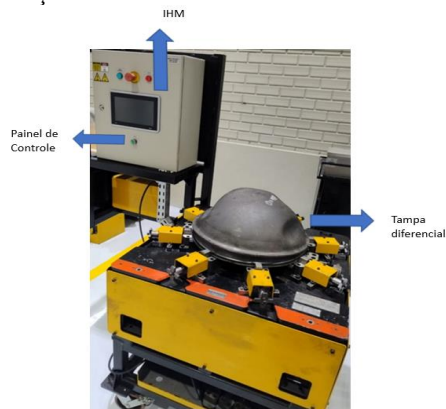


Fig. 27. Implementação do DMM automatizado.

Ainda, o DMM proporcionará um aumento na produtividade industrial, visto que a integração de sensores, permitirá a medição simultânea de múltiplos pontos na peça. Com a automação do controle de planicidade, os custos operacionais serão reduzidos em várias frentes, incluindo retrabalho, desperdício de materiais. O sistema detectará irregularidades nas peças antes que elas avancem para etapas subsequentes da produção.

Ocorrendo a detecção de uma peça fora do especificado, a mesma irá para o descarte. A precisão e a consistência das medições resultarão em um aumento significativo na conformidade das tampas de diferencial. Os benefícios tangíveis e intangíveis que serão obtidos com o DMM vão além do processo produtivo:

- **Melhoria na Reputação:** A alta taxa de conformidade fortalece a imagem da empresa junto aos clientes.
- **Competitividade Aumentada:** O aumento da produtividade e a redução de custos em retrabalho possibilitam preços mais competitivos.
- **Sustentabilidade:** A diminuição do desperdício de materiais reflete em uma operação mais sustentável.

É possível identificar falhas precocemente, ajustar parâmetros de produção de forma dinâmica e implementar manutenção preditiva com base no histórico de uso e falhas dos sensores. O CLP é responsável por controlar as etapas iniciais do processo, garantindo a sequência correta e o acionamento dos dispositivos necessários. Executando as lógicas de controle e demonstrando na IHM para visualização, fig.28, operação e monitoramento das informações. A IHM, por sua vez, fornece aos operadores acompanhar e *status* do processo, para ajustes de parâmetros, visualização de tela de alarmes, para rápida detecção do problema e sua solução. Através da IHM, é possível efetuar configurações e programações de forma simples.

ALARMES			6/13/2025 3:50:12 PM
Estado	Data/Hora	Texto	
Não ativo	6/10/2025 7:33:09	EMERGENCIA ACIONADA	OK
Não ativo	6/6/2025 5:59:06 P	PEÇA REPROVADA	OK Todos
Não ativo	6/6/2025 5:58:42 P	PEÇA REPROVADA	Limpar
Não ativo	6/6/2025 5:58:25 P	PEÇA REPROVADA	Irão
Não ativo	6/6/2025 5:09:38 P	PEÇA REPROVADA	Filho
Não ativo	6/6/2025 5:09:38 P	PEÇA REPROVADA	
Não ativo	6/6/2025 5:08:18 P	PEÇA REPROVADA	
Não ativo	6/6/2025 5:07:47 P	PEÇA REPROVADA	
Não ativo	6/6/2025 5:07:17 P	PEÇA REPROVADA	
Não ativo	6/6/2025 5:06:46 P	PEÇA REPROVADA	
Não ativo	6/6/2025 5:06:26 P	PEÇA REPROVADA	
Não ativo	6/6/2025 5:04:48 P	PEÇA REPROVADA	
Não ativo	6/6/2025 11:33:56	PEÇA REPROVADA	
Não ativo	6/6/2025 11:33:42	PEÇA REPROVADA	
Não ativo	6/6/2025 11:33:25	PEÇA REPROVADA	
Não ativo	6/6/2025 11:32:47	PEÇA REPROVADA	

Fig. 28. Tela de alarmes.

Após a implementação do DMM, realizou-se no dispositivo, testes de repetibilidade de medição em vinte (20) tampas de cada família, onde constatou-se planicidade dentro das tolerâncias admissíveis, tabela 2, para então validar o DMM e sua liberação a linha de produção.

Familia 1 – Faixa: 0 a 1,00 mm		Familia 2 – Faixa: 0 a 1,50 mm	
Peça	Medição (mm)	Peça	Medição (mm)
1	0,23	1	0,73
2	0,47	2	1,1
3	0,62	3	0,94
4	0,39	4	1,28
5	0,84	5	0,6
6	0,15	6	1,02
7	0,91	7	1,41
8	0,3	8	0,39
9	0,58	9	0,86
10	0,75	10	1,35
11	0,66	11	1,07
12	0,12	12	0,72
13	0,44	13	0,59
14	0,36	14	1,18
15	0,95	15	0,5
16	0,08	16	1,2
17	0,5	17	1,44
18	0,63	18	0,63
19	0,29	19	0,89
20	0,78	20	1,36

Fonte: Elaborado pelo autor (2025). Tabela 2: testes validação.

Desafios enfrentados na implementação:

Durante a execução do projeto, alguns pontos foram identificados e solucionados:

- **Posicionamento dos sensores:** a instalação dos sensores e componentes exigiu alterações no dispositivo como ajustes na furação para melhor fixação dos sensores e suportes. Reposicionamento do dispositivo DMM para evitar interferência de vibrações externas próximas, como movimentação de empilhadeiras e acionamentos de prensas no momento da leitura.
- **Integração entre setores:** foi necessário um alinhamento entre os setores de engenharia, automação, manutenção, TI e produção, principalmente durante a configuração do DMM e testes iniciais.
- **Parametrização do sistema de medição:** a calibração inicial dos sensores para atingir a tolerância de 1 mm exigiu ajustes finos e testes comparativos com padrões de referência.
- **Treinamento dos operadores:** para garantir o manuseio eficaz na IHM e a interpretação correta dos alertas gerados, foi elaborado um plano de capacitação interno, para instrução de trabalho.
- **Contribuições ambientais e sustentabilidade:** O dispositivo contribui para a sustentabilidade da operação, pois reduz o uso de materiais através da detecção precoce de falhas. Com a redução do retrabalho e do descarte de peças fora de padrão, diminui-se o consumo de energia, matéria-prima e recursos logísticos.

Além de evitar possíveis vazamentos de óleo decorrentes de falhas na vedação por falta de planicidade, o DMM contribui diretamente para a redução de impactos ambientais e no ciclo de vida do veículo.

Aplicações futuras e escalabilidade

O modelo de automação proposto pode ser adaptado para outras linhas de produção que demandam controle dimensional, como blocos de motor, cabeçotes ou carcaças de câmbio. A modularidade do sistema permite sua expansão para mais pontos de medição ou a integração com sistemas de visão computacional, inteligência artificial, entre outros. Há ainda a possibilidade de criar um painel de indicadores de qualidade, em tempo real, acessível via rede interna, oferecendo dados gerenciais para tomadas de decisão estratégicas baseadas em métricas como taxa de

conformidade, tempo de inspeção e número de peças rejeitadas por lote.

V. CONCLUSÕES

A automação do controle de planicidade por meio do Dispositivo de Medição e Monitoramento representou uma evolução no processo de inspeção das tampas de diferencial automotivas. O projeto comprovou, na prática, que a combinação de sensores de precisão, componentes pneumáticos, interfaces de comunicação, podem garantir excelência em qualidade, confiabilidade e produtividade. Os resultados alcançados demonstram uma expressiva redução no desvio das medições, maior padronização das inspeções e rastreabilidade dos dados. Estes avanços contribuem diretamente para a diminuição de retrabalho, prevenção de falhas e melhor uso dos recursos produtivos. Além disso, a implementação do sistema trouxe melhorias ao permitir que os operadores atuem de forma mais analítica e menos exaustiva. No entanto, alguns limites do projeto merecem ser considerados: a calibração dos sensores, manutenção do dispositivo exige conhecimento técnico, o qual foi adquirido na instituição de ensino no qual estou matriculado. No contexto, este trabalho evidencia que a adoção de tecnologias não apenas resolve problemas práticos da indústria, como também posiciona o aluno de forma estratégica frente aos desafios propostos.

Por fim, as contribuições deste trabalho e neste, vão além do controle de planicidade, destacando-se como um exemplo de como o conhecimento adquirido, e a tecnologia, pode ser aplicada para resolver desafios industriais e gerar vantagens competitivas. A automação do DMM estabelecerá um padrão de qualidade e eficiência no processo de produção da empresa. Destacando a responsabilidade de ter participado intensamente deste projeto único dentro da empresa.

REFERÊNCIAS

- [1] CALIBRAÇÃO. [s.d.]. Disponível em: <WWW.FLOWMETERCALIBRA.COM.BR/BLOG/CATEGORIAS/ARTIGOS/CALIBRACAO-DE-EQUIPAMENTOS-DE-MEDICAO-A-IMPORTANCIA-DA-PRECISAO-E-CONFIABILIDADE>. Acesso em: 18 fev. 2025.
- [2] Rastreabilidade. [s.d.]. Disponível em: <[HTTPS://QSERP.COM.BR/RASTREABILIDADE-NA-INDUSTRIA-AUTOMOTIVA-O-QUE-E-COMO-FAZER/](https://QSERP.COM.BR/RASTREABILIDADE-NA-INDUSTRIA-AUTOMOTIVA-O-QUE-E-COMO-FAZER/)>. Acesso em: 18 fev. 2025.
- [3] Tampa de diferencial. [s.d.]. Disponível em: <<https://www.barcelonafv.com.br/produtos/diferencial-dianteiro-tracado-scania-bug-leve-12x41/>>. Acesso em: 13 nov. 2024.
- [4] PLANICIDADE. [s.d.]. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18135/tde-04102006-151448/pt-br.php>> Acesso em: 19 nov. 2025.

- [5] COSTA, Hevlin Cristina de A. et al. Uso de têmpera direta como processo alternativo na fabricação de componentes automotivos. *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*, v. 11, n. 1, p. 58-65, 2014.
- [6] Calibradores. [s.d.] Disponível em: <<https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/5324/abnt-nbr6406-calibradores-caracteristicas-construtivas-tolerancias>> Acesso em: 19 jan. 2025.
- [7] GAP. [s.d.]. Disponível em: <<https://www.significados.com.br/gap/>> Acesso em: 29 mai. 2025.
- [8] Estanqueidade. [s.d.] disponível em: <<https://www.inteligenciaurbana.org/2021/07/norma-desempenho-nbr-15575-estanqueidade.html>> Acesso em: 19 nov. 2025.
- [9] RNC [s.d.]. disponível em: <<https://estruturadinamica.com.br/relatorio-de-nao-conformidade-como-elaborar-e-sua-importancia/>> Acesso em: 13 nov. 2024.
- [10] ALTUS, sua porta de entrada para Industria 4.0. Disponível em: <<https://www.altus.com.br/produto/44/clp-nexto-xpress>>. Acesso em: 13 nov. 2024.
- [11] KEYENCE. Sensores de Medição por contato / Canetas Apalpadoras / Transdutor Linear / LVDT. Disponível em: <<https://www.keyence.com.br/products/measure/contact-distance-lvdt/>>. Acesso: 2024.
- [12] MITUTOYO, Disponível em: <<https://www.mitutoyo.com.br/nossos-produtos/medicao-coordenadas/crysta/>>. Acesso em 16 jun. 2025.
- [13] DIMENSIONAL, Material Elétrico - [s.d.]. Disponível em: <https://www.dimensional.com.br/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiAo5u6BhDJARIsAAVoDWvuMpgDfYRCoY7eyd7dGhzRGdKYKsHIBVNfoKgkBX-niqXwVxSswkYaAh-nEALw_wcB>. Acesso em 7 fev. 2024.
- [14] ALTUS, Controle os processos da sua indústria com as IHMs da Série X2. [s.d.]. Disponível em: <<https://www.altus.com.br/produto/16/i hm-x2>>. Acesso: em 17 jun. 2025.
- [15] Sensores, conceito, disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/sensor-measurement#definition>> Acesso em 7 jul. 2025.
- [16] SAP, EMPRESA. Disponível em: <<https://www.sap.com/brazil/cmp/dg/corporate-brand/index.html?campaigncode>>. Acesso em 7 fev. 2025.
- [17] ALTUS, Ethernet. [s.d.]. Disponível em: <<https://www.altus.com.br/post/215/o-que-e-a-ethernet-industrial-e-qual-sua-importancia-para-a-industria-4-0-3F>>. Acesso em 17 jun. 2025.
- [18] AMAZON, MQTT. [s.d.]. Disponível em: <<https://aws.amazon.com/pt/what-is/mqtt/>>. Acesso em 17 jun. 2025.
- [19] IoT, Internet das Coisas. [s.d.]. Disponível em: <<https://qi.edu.br/internet-das-coisas-iot/>> Acesso em 7 jul. 2025.
- [20] SMC, pneumática. [S.D.]. Disponível em: <<https://smcbr.com.br/>>. Acesso em 7 jul. 2025.
- [21] ALTUS, sua porta de entrada para Industria 4.0. Disponível em: <<https://www.altus.com.br/produto/44/clp-nexto-xpress>>. Acesso em: 28 nov. 2024.
- [22] ABB, Linguagem *ladder*, [s.d.]. Disponível em: <<https://loja.br.abb.com/blog/post/linguagem-ladder-principais-fundamentos?>>. Acesso em 5 mai. 2025.
- [23] NR 10, NORMA. [s.d.]. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-10-nr-10>>. Acesso em 7 jul. 2025.
- [24] Norma IEC- 6113-3 [s.d.]. Disponível em: <<https://inetec.com.br/iec-61131-3-conheca-as-linguagens-de-programacao-para-clps/>>. Acesso em 7 jul. 2025.

DADOS BIOGRÁFICOS

Eduardo Erico Schmidt, nascido em 13/02/1983 em Panambi-RS, é técnico em eletrotécnica (2002), Técnico em Mecatrônica (2010) pelo Colégio Evangélico Panambi. Atualmente é aluno do curso de Tecnologia em Automação Industrial (TAI 03) do IFFAR Panambi-RS. Suas áreas de interesse são: Automação industrial, robótica, Gestão da manutenção, Industria 4.0 e Programação CLP.