



TESTES FUNCIONAIS EM PLACAS ELETRÔNICAS E ESTRATÉGIAS PARA PRODUÇÃO EFICIENTE E REDUÇÃO DE FALHAS: ESTUDO DE CASO NO EM UMA EMPRESA DO POLO ELETRÔNICO

KAROLINE EMILLY DE SOUZA DOURADO

YGOR GEANN DOS SANTOS LEITE

RESUMO

A realização de testes funcionais em placas eletrônicas é um processo essencial para garantir a qualidade dos produtos e reduzir falhas que possam impactar os clientes. Este artigo aborda a importância dos testes funcionais no processo de fabricação, destacando sua influência na confiabilidade e no desempenho dos equipamentos eletrônicos. A metodologia é baseada em uma pesquisa mista e o uso de ferramentas da qualidade, são analisadas as principais estratégias utilizadas para verificação de possíveis falhas antes do envio das placas aos clientes. Os resultados dessa implementação evidenciam a eficácia dos testes para a sua redução significativa dos índices de defeitos no cliente, trazendo maior confiabilidade para o cliente e consumidor final nos quesitos solicitados e reduzindo consequentemente os índices de defeitos no mercado, buscando maior valorização no produto. Diante da análise realizada, fica evidente que a aplicação de testes funcionais em placas eletrônicas desempenha um papel fundamental na garantia da qualidade e confiabilidade dos produtos. A implementação dessas verificações não apenas reduz significativamente os índices de defeitos identificados pelos clientes, mas também fortalece a reputação da empresa e agrega valor ao produto no mercado. Além disso, ao minimizar falhas, os testes contribuem para a redução de custos com retrabalho e suporte técnico, promovendo maior eficiência na cadeia produtiva. Dessa forma, investir em estratégias eficazes de teste funcional se mostra essencial para assegurar a satisfação do cliente e a competitividade da empresa no setor eletrônico.

Palavras-chave: Testes funcionais, qualidade, placas eletrônicas, confiabilidade

1.INTRODUÇÃO

No mercado competitivo atual, a busca por qualidade nos processos produtivos é essencial para garantir a sustentabilidade e o crescimento das organizações. No Polo Industrial de Manaus, onde se concentram empresas de alta complexidade tecnológica, a exigência por produtos confiáveis e com baixa taxa de falhas é ainda mais rigorosa. Especificamente, o segmento eletroeletrônico demanda padrões de excelência na fabricação de placas eletrônicas utilizadas em eletrodomésticos, como lavadoras e refrigeradoras. Nesse cenário, a aplicação de testes funcionais torna-se um recurso indispensável para assegurar a conformidade dos produtos antes de sua entrega ao consumidor final.

Este estudo foi realizado em uma empresa localizada no Polo Industrial de Manaus, atuante no setor eletroeletrônico, especializada na produção de placas eletrônicas para lavadoras e refrigeradoras. Trata-se de uma organização de médio porte, com infraestrutura sólida e equipe



técnica qualificada. Apesar de seu compromisso com a melhoria contínua e com a entrega de produtos confiáveis, a empresa enfrenta desafios relacionados à eficácia dos testes funcionais aplicados durante o processo produtivo, o que impacta diretamente a qualidade do produto, os índices de retrabalho e devoluções, e pode estar relacionado a causas técnicas específicas, como falhas decorrentes de descargas eletrostáticas (ESD), que comprometem o desempenho das placas eletrônicas.

Diante desse contexto, surge a seguinte problemática: quais os impactos da ausência de estratégias eficazes nos testes funcionais, na qualidade das placas eletrônicas e na eficiência dos processos produtivos?

O objetivo geral do trabalho é identificar e analisar os testes funcionais aplicados às placas eletrônicas em uma empresa do Polo Industrial de Manaus, com o intuito de propor estratégias para tornar o processo produtivo mais eficiente e reduzir a ocorrência de falhas. Como objetivos específicos, busca-se identificar os principais tipos de falhas funcionais nas placas eletrônicas e suas causas recorrentes, incluindo possíveis danos provocados por descargas eletrostáticas; avaliar os métodos e ferramentas atualmente utilizados nos testes funcionais, considerando sua eficácia e limitações; e propor melhorias no processo de testes, com base na análise dos dados e aplicação de ferramentas da qualidade, visando à confiabilidade do produto e à redução de custos.

Para tanto, o projeto se baseia na análise detalhada do problema nos processos internos, utilizando pesquisas quantitativas e qualitativas para identificar os fatores que causam as falhas nos testes funcionais. O referencial teórico do trabalho será apresentada em três capítulos principais. O primeiro capítulo aborda a gestão da qualidade, destacando seus princípios, conceitos e importância nos processos industriais. O segundo capítulo trata dos testes funcionais em placas eletrônicas, discutindo as práticas aplicadas, falhas mais comuns e a relevância desses testes na prevenção de defeitos. Já o terceiro capítulo foca nas ferramentas da qualidade, ressaltando sua aplicação na análise e solução de problemas dentro do contexto produtivo da empresa estudada.

Justifica-se esta pesquisa pela necessidade de aprimorar os processos de teste funcional na fabricação de placas eletrônicas, assegurando maior conformidade dos produtos, redução de falhas em campo e aumento da eficiência da linha de produção. A ausência de testes eficazes pode acarretar prejuízos financeiros, retrabalho, perda de credibilidade junto ao cliente e impacto negativo na imagem da empresa.

A relevância deste estudo está em sua contribuição prática para a empresa analisada e para outras organizações do Polo Eletrônico de Manaus que enfrentam desafios semelhantes. Ao propor estratégias de melhoria baseadas em ferramentas da qualidade, o trabalho promove o fortalecimento da cultura da qualidade e aumenta a competitividade da indústria no setor eletroeletrônico

2. CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

A empresa objeto desta pesquisa é uma forte empresa do Polo Industrial de Manaus (PIM), consolidada no setor de eletrodomésticos sua principal atividade é no fornecimento de placas eletrônicas utilizadas na montagem de refrigeradores e lavadoras, atendendo grandes fabricantes nacionais e internacionais. Com uma estrutura produtiva que alia tecnologia avançada e processos



padronizados, a empresa se destaca pela busca contínua de qualidade em seus produtos e serviços. Inserida em um ambiente altamente competitivo e regido por exigências mercadológicas rigorosas, a organização enfrenta desafios relacionados à gestão eficiente da produção, cumprimento de prazos e atendimento aos padrões de qualidade estabelecidos pelos clientes.

Atuando no PIM, a empresa beneficia-se das políticas de incentivos fiscais e do acesso a uma infraestrutura logística estratégica para escoar seus produtos usando a forma fluvial. No entanto a empresa também enfrentou desafios típicos da região, como a estiagem no Amazonas, que impacta diretamente a logística e a oferta de insumos essenciais para a produção, havendo necessidade de adaptar-se às demandas crescentes do mercado e otimizar a produtividade e reduzir falhas operacionais que impactam diretamente sua competitividade e credibilidade junto aos clientes.

Por estar inserida em um polo que valoriza a inovação e a sustentabilidade, a empresa busca constantemente implementar melhorias em seus processos internos. Com uma equipe formada por profissionais qualificados e recursos tecnológicos modernos, ela procura alinhar suas estratégias organizacionais à dinâmica do mercado, preservando sua posição de destaque no cenário industrial de Manaus.

Além disso, a empresa integra iniciativas voltadas para a sustentabilidade e o desenvolvimento local, reforçando seu compromisso com a responsabilidade socioambiental, característica marcante das organizações inseridas no Polo Industrial de Manaus. Essa postura se reflete na adoção de práticas que reduzem desperdícios, otimizam o uso de recursos e garantem conformidade com as normas ambientais vigentes. A proximidade com outras indústrias e fornecedores estratégicos no PIM também favorece a troca de conhecimento e a implementação de soluções colaborativas para os desafios do setor, ampliando as perspectivas de crescimento e inovação.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Gestão da Qualidade: Princípios, Conceitos e Sua Importância nos Processos industriais.

A gestão da qualidade é fundamental para assegurar que produtos e serviços atendam consistentemente aos requisitos estabelecidos, promovendo a satisfação do cliente e a melhoria contínua dos processos organizacionais. No contexto industrial atual, caracterizado por alta competitividade e rápidas mudanças tecnológicas, a implementação eficaz de sistemas de gestão da qualidade (SGQ) torna-se essencial para a sustentabilidade e o sucesso das organizações.

De acordo com Soares, Câmara e Souza (2023), a aplicação de ferramentas da qualidade, como o ciclo PDCA, contribui significativamente para a padronização de processos e a agregação de valor ao cliente. Essas práticas permitem uma abordagem sistemática para identificar e resolver problemas, promovendo a eficiência operacional e a melhoria contínua.

A integração dos princípios da gestão da qualidade com as tecnologias emergentes da Indústria 4.0 também tem sido objeto de estudo. Gonçalves (2022) destacam que a incorporação de tecnologias digitais nos SGQs oferece novas perspectivas para o controle e a melhoria da qualidade, permitindo uma resposta mais ágil às demandas do mercado e uma maior personalização dos produtos.

Além disso, a cultura organizacional desempenha um papel crucial na eficácia da gestão da qualidade. Stadler e Pires (2020) enfatizam que o comprometimento da liderança e o envolvimento



dos colaboradores são determinantes para o sucesso das iniciativas de qualidade, influenciando diretamente a produtividade e a competitividade das empresas.

Portanto, a gestão da qualidade moderna exige uma abordagem integrada que combine princípios sólidos, ferramentas eficazes e tecnologias avançadas, alinhadas à cultura organizacional e ao comprometimento de todos os níveis hierárquicos. Essa integração é vital para alcançar a excelência operacional e atender às expectativas dos clientes em um ambiente de negócios dinâmico e desafiador.

3.2 Aplicação dos Testes Funcionais em Placas Eletrônicas e sua Relevância na Garantia da Qualidade

A aplicação de testes funcionais em placas eletrônicas é uma etapa essencial no processo de fabricação, visando assegurar que os dispositivos operem conforme as especificações de projeto. Esses testes simulam condições reais de uso, permitindo verificar o desempenho e a funcionalidade dos componentes em situações práticas. Conforme destacado por Hosseini (2024), os testes funcionais garantem que as placas de circuito impresso (PCBs) funcionem conforme o esperado em condições do mundo real, proporcionando confiança em sua confiabilidade e desempenho.

Além de validar a funcionalidade, os testes funcionais desempenham um papel crucial na detecção de falhas que podem não ser identificadas em etapas anteriores, como inspeções visuais ou testes elétricos básicos. Segundo Petkov e Ivanova (2024), a inspeção e os testes de placas de circuito impresso são procedimentos importantes no processo de fabricação de módulos e dispositivos eletrônicos, relacionados à localização e identificação de possíveis defeitos e falhas.

A integração de testes funcionais no processo de produção contribui significativamente para a garantia da qualidade dos produtos eletrônicos. De acordo com Law (2024), o controle de qualidade das placas de circuito impresso é fundamental para o avanço da tecnologia de dispositivos eletrônicos, e a utilização de metodologias de aprendizado de máquina pode aumentar a eficiência e a precisão na detecção de defeitos.

A automação dos testes funcionais tem se mostrado uma tendência crescente na indústria, visando aumentar a eficiência e a consistência dos resultados. Conforme destacado por Khalilian (2020), o uso de autoencoders convolucionais para detecção de defeitos em PCBs pode detectar todos os tipos de defeitos e localizá-los com alta precisão, melhorando a eficiência do processo de inspeção.

A implementação de testes funcionais também está alinhada com as exigências de conformidade e regulamentações em setores específicos. Segundo Huang e Wei (2019), a criação de conjuntos de dados para detecção e classificação de defeitos em PCBs é essencial para o desenvolvimento de métodos de inspeção eficazes, atendendo às exigências regulatórias e melhorando a qualidade dos produtos.

Dessa forma, os testes funcionais em placas eletrônicas são fundamentais para assegurar a qualidade, confiabilidade e conformidade dos produtos finais. Sua aplicação permite identificar e corrigir falhas precocemente, melhorar processos de fabricação e atender às exigências regulatórias, resultando em produtos mais seguros e eficientes para os consumidores.



3.3 FERRAMENTAS DA QUALIDADE

As Ferramentas da Qualidade são fundamentais para a gestão de melhorias em qualquer empresa. Suas metodologias e técnicas auxiliam na definição, análise e resolução de problemas que impactam diretamente os resultados empresariais. As ferramentas são amplamente utilizadas devido à sua eficácia em promover melhorias contínuas e ajudar na tomada de decisões estratégicas. Neste artigo, serão exploradas cinco ferramentas amplamente conhecidas e utilizadas: Análise SWOT, Matriz GUT, Diagrama de Pareto, Diagrama de Ishikawa e 5W2H, cada uma com características e aplicações distintas para otimizar os processos organizacionais.

Segundo Santos e Oliveira (2023), a Análise SWOT é aplicada para avaliar os ambientes internos e externos da empresa, identificando os pontos fortes, como a presença de equipamentos automatizados para testes, e os pontos fracos, como gargalos na análise de falhas. As oportunidades, como a introdução de novas tecnologias de inspeção, e as ameaças, como falhas recorrentes em componentes importados, também são mapeadas. Essa ferramenta é essencial para o planejamento estratégico das ações de melhoria contínua voltadas ao setor de testes funcionais.

De acordo com Ribeiro (2022), a Matriz G.U.T. tem sido utilizada para priorizar problemas detectados durante os testes, como falhas em conectores, variações de leitura em sensores ou defeitos intermitentes. A classificação por Gravidade, Urgência e Tendência permite que os engenheiros de qualidade determinem quais falhas devem ser tratadas com maior imediatismo, otimizando o tempo de resposta e garantindo a estabilidade da produção. Com base nessa priorização, são estabelecidas rotinas de inspeção ou correções no processo produtivo.

Conforme Inácio (2023) e Silva e Costa (2020), o Diagrama de Pareto é utilizado para identificar quais tipos de falhas ocorrem com maior frequência durante os testes funcionais das placas eletrônicas. A partir da organização dos dados em gráficos, a equipe técnica pode visualizar que, por exemplo, 80% dos problemas estão concentrados em apenas 20% das causas, como soldagem inadequada ou falhas de programação nos microcontroladores. Essa informação permite um direcionamento eficaz das ações corretivas e preventivas, com foco nos pontos mais críticos.

Segundo Takahashi (2020) e Mendes e Freitas (2021), o Diagrama de Ishikawa, também conhecido como Diagrama de Causa e Efeito ou Espinha de Peixe, é aplicado para investigar falhas sistemáticas ou recorrentes durante os testes. Por meio da análise estruturada dos fatores relacionados a máquinas, métodos, materiais, mão de obra, meio ambiente e medição, a empresa consegue mapear todas as possíveis causas de uma falha funcional. Essa ferramenta tem se mostrado fundamental para a resolução de problemas complexos, promovendo ações de melhoria que vão desde a calibração de equipamentos até o treinamento de operadores.

Conforme Lopes e Martins (2023) e Inácio (2023), o 5W2H é amplamente utilizado no planejamento de ações corretivas e na definição de planos de melhoria. Através da resposta estruturada às perguntas: What, Why, Where, When, Who, How e How much, a empresa estabelece com clareza os responsáveis, os prazos e os recursos necessários para a implementação de melhorias no processo de teste funcional. Essa abordagem garante maior controle na execução das ações e facilita o monitoramento dos resultados.

Conforme Takahashi (2020), o controle de qualidade eficaz depende do entendimento claro das causas dos problemas e da aplicação de métodos estruturados para sua eliminação. Dessa forma, espera-se que o uso desse conjunto de ferramentas proporcione melhorias concretas na eficiência



dos testes funcionais e na qualidade final das placas eletrônicas produzidas, promovendo maior estabilidade do processo e maior conformidade com os requisitos do cliente.

4. METODOLOGIA

Os métodos mistos de pesquisa têm ganhado espaço por combinarem dados quantitativos e qualitativos ao longo da investigação. Segundo Ferreira (2020) destaca que essa metodologia envolve a coleta e análise de informações de ambos os tipos, permitindo uma compreensão mais ampla dos problemas e a busca por soluções mais completas. Essa abordagem é essencial para avaliar tanto os números relacionados às falhas quanto os fatores que contribuem para esses problemas, garantindo uma análise mais detalhada e estratégica.

Uma das primeiras ferramentas utilizadas é a Análise SWOT, que ajuda a identificar os pontos fortes, fracos, as oportunidades e ameaças do setor de testes funcionais. Com ela, fica mais fácil entender quais são os principais desafios enfrentados pela empresa. Depois, para organizar e priorizar esses problemas, usa-se a Matriz GUT, que classifica as questões segundo sua gravidade, urgência e tendência. Isso direciona os esforços para o que realmente precisa de atenção imediata, tornando o processo mais eficiente.

Na sequência, o Diagrama de Pareto ajuda a visualizar quais falhas aparecem com mais frequência durante os testes. Aplicando o princípio 80/20, fica claro que uma pequena quantidade de causas é responsável pela maioria dos problemas, o que facilita focar nas ações corretivas mais eficazes. Em seguida, o Diagrama de Ishikawa, conhecido como espinha de peixe, serve para investigar profundamente as causas raiz dessas falhas, agrupando os fatores em categorias como pessoas, métodos e materiais, o que torna a identificação dos pontos críticos mais clara.

Por último, o planejamento das ações corretivas será feito com o auxílio do 5W2H. Essa ferramenta organiza as etapas do processo, respondendo perguntas como o que será feito, por que, onde, quando, como, quem fará e qual o custo. Dessa forma, todos os envolvidos entendem claramente suas responsabilidades e prazos, o que facilita o acompanhamento e a implementação das melhorias.

Santos e Pereira (2023) ressaltam que o uso combinado dos métodos mistos e dessas ferramentas da qualidade cria um fluxo estruturado que torna mais fácil lidar com problemas complexos. Além disso, essa abordagem contribui para um gerenciamento integrado, alinhando diferentes áreas da empresa. Para o setor de testes funcionais da empresa no Polo Eletrônico de Manaus, esse método é fundamental para enfrentar os desafios de qualidade e produtividade, buscando melhorias reais e duradouras.

5. PROPOSTA DE MELHORIA

A proposta de melhoria tem como finalidade apoiar a empresa analisada na redução de falhas nos testes funcionais das placas eletrônicas, que impactam diretamente a eficiência produtiva e a qualidade dos produtos finais. Para isso, sugere-se a aplicação integrada das ferramentas da qualidade e conceitos de gestão colaborativa, voltados ao desenvolvimento das competências técnicas dos colaboradores e à otimização dos processos de inspeção e análise. O primeiro passo



consiste na utilização da Análise SWOT, que permitirá organizar informações essenciais, identificar os pontos fracos do setor e reconhecer os desafios mais críticos relacionados às falhas e retrabalhos. Com base nesses dados, será possível direcionar esforços para solucionar os problemas de maneira estratégica e eficiente, promovendo melhorias contínuas e maior confiabilidade nas placas eletrônicas produzidas para lavadoras e refrigeradoras.

Quadro 1. Análise de SWOT

	FORÇAS	FRAQUEZAS
INTERNO	Equipe técnica qualificada e experiente	Dependência de processos manuais em etapas críticas
	Equipamentos automatizados	Falta de integração entre sistemas de monitoramento e análise
	Procedimentos padronizados de teste	Capacitação insuficiente para novas tecnologias
	Localização estratégica no Polo Eletrônico	Retrabalho frequente devido à detecção tardia de falhas
	Boa cultura organizacional voltada para a qualidade	Comunicação interna pouco eficiente entre setores
	OPORTUNIDADES	AMEAÇAS
EXTERNO	Implantação de sensores e monitoramento em tempo real	Danos causados por descargas eletrostáticas que comprometem a qualidade das placas
	Programas de treinamento contínuo para colaboradores	Falhas em componentes de fornecedores terceirizados
	Parcerias com centros de pesquisa e inovação	Concorrência acirrada no mercado eletrônico
	Digitalização dos processos para maior controle e agilidade	Mudanças regulatórias e exigências de qualidade
	Crescente demanda por produtos mais confiáveis	Riscos de falhas de comunicação entre departamentos

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

A análise SWOT realizada no setor evidenciou pontos importantes para o entendimento do cenário atual. Apesar do setor contar com uma equipe técnica qualificada, equipamentos automatizados e procedimentos padronizados, algumas fraquezas merecem atenção especial. Entre elas, destacam-se a dependência de processos manuais em etapas críticas como na montagem dos componentes, a falta de integração entre os sistemas de monitoramento, brechas na capacitação contínua dos colaboradores, retrabalhos frequentes e dificuldades na comunicação interna. Essas fragilidades impactam diretamente a eficiência dos testes e podem comprometer a qualidade final das placas produzidas para lavadoras e refrigeradoras.

Diante desse cenário, este estudo concentra-se em analisar essas fraquezas para compreender suas causas e propor ações que possam minimizá-las, visando melhorar a confiabilidade e a produtividade do setor. Para isso, será utilizada a Matriz G.U.T. (Gravidade, Urgência e Tendência), que permitirá priorizar as falhas com maior impacto sobre o desempenho operacional. Essa ferramenta possibilitará hierarquizar os problemas identificados, direcionando os esforços da equipe para as questões mais críticas e urgentes, garantindo uma abordagem mais eficiente e focada nas soluções que irá buscar maior benefício para o processo produtivo.



Quadro 2. Matriz G.U.T

Lista de Problemas	Gravidade (G)	Urgência (U)	Tendência (T)	Pontuação	Prioridade
Danos causados por descargas eletrostáticas (ESD)	5	5	5	125	1º
Retrabalho frequente devido à detecção tardia de falhas	5	4	4	80	2º
Capacitação insuficiente para novas tecnologias	4	4	4	64	3º
Falta de integração entre sistemas de monitoramento e análise	4	3	4	48	4º
Dependência de processos manuais em etapas críticas	4	3	3	36	5º

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

A análise dos problemas identificados no processo de produção de placas eletrônicas, realizada por meio da Matriz G.U.T., possibilitou priorizar as questões mais críticas que afetam diretamente a qualidade e a produtividade da empresa. O fator que apresentou a maior pontuação (125) foi a ocorrência de danos causados por descargas eletrostáticas (ESD), evidenciando alta gravidade, urgência e tendência de agravamento. Por comprometer diretamente a integridade das placas e gerar perdas significativas, esse problema foi classificado como a principal prioridade a ser abordada.

Na sequência, o retrabalho frequente devido à detecção tardia de falhas obteve 80 pontos, sendo igualmente relevante por impactar a eficiência operacional e os custos de produção. A capacitação insuficiente para novas tecnologias (64 pontos) e a falta de integração entre os sistemas de monitoramento e análise (48 pontos) também se destacaram como fatores que dificultam a modernização e a agilidade dos processos internos. Por fim, a dependência de processos manuais em etapas críticas, com 36 pontos, embora de menor prioridade relativa, ainda requer atenção por contribuir com falhas operacionais e baixa padronização.

Diante da gravidade das falhas causadas por ESD, este estudo direcionará seus esforços iniciais para compreender os pontos de vulnerabilidade à eletricidade estática e identificar as falhas no uso

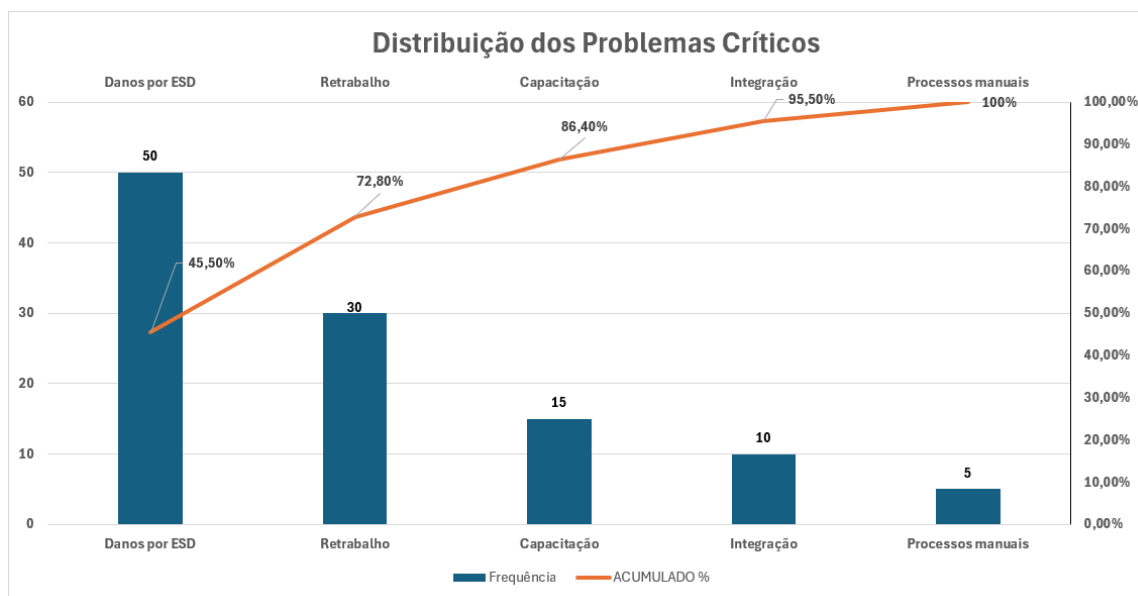


de equipamentos e práticas de proteção. Essa abordagem é essencial para implementar ações corretivas que garantam maior segurança no manuseio e maior confiabilidade no produto final.

Como próximo passo, será aplicado o Gráfico de Pareto para mensurar a frequência e os impactos das ocorrências ligadas aos problemas priorizados. A utilização dessa ferramenta permitirá evidenciar quais causas são responsáveis pela maior parte das falhas, orientando a tomada de decisões mais estratégicas. Com base no princípio de que poucos fatores são responsáveis pela maioria dos efeitos negativos, o gráfico oferecerá uma visualização objetiva das áreas que exigem intervenção imediata.

Além de facilitar a comunicação dos dados com as equipes envolvidas, o uso do Pareto contribuirá para uma alocação mais eficiente dos recursos e maior assertividade nas ações de melhoria, promovendo um processo produtivo mais seguro, ágil e alinhado às metas de qualidade da organização.

Figura 1. Gráfico de Pareto



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025

A análise dos problemas críticos por meio do Gráfico de Pareto permitiu visualizar com clareza quais fatores mais impactam negativamente o desempenho produtivo. Entre os cinco principais problemas mapeados, os danos por ESD se destacaram de forma significativa, com 50 ocorrências, representando 45,5% do total. Esse resultado evidencia a gravidade do manuseio inadequado de componentes sensíveis à eletricidade estática, apontando a necessidade urgente de reforço nas práticas de prevenção.

Na sequência, o retrabalho aparece como o segundo maior causador de perdas, com 30 registros (27,3%), refletindo falhas nos processos iniciais que exigem correções posteriores. Juntos, os dois



primeiros itens já somam 72,8% das ocorrências, confirmando a regra de Pareto de que poucos fatores concentram a maioria dos impactos.

Capacitação insuficiente surge em terceiro lugar, com 15 ocorrências (13,6%), evidenciando a importância de investir em treinamentos mais frequentes e atualizados para os operadores. Logo após, estão integração entre setores (10 registros; 9,1%) e processos manuais (5 registros; 4,5%), que apesar de terem menor peso individual, completam o acumulado de 100%, encerrando a lista de causas mais relevantes.

Esse panorama reforça que danos por ESD e retrabalho devem ser os focos principais das ações corretivas iniciais. Ao atacar esses dois fatores prioritários, é possível alcançar melhorias expressivas no processo como um todo, otimizando o fluxo produtivo e reduzindo perdas.

Dando sequência à análise, será aplicado o Diagrama de Ishikawa para investigar, de forma estruturada, as causas-raiz dos problemas mais críticos identificados. A ferramenta permitirá uma categorização por áreas como mão de obra, máquinas, métodos e materiais, o que facilitará a definição de estratégias mais eficazes para eliminar ou mitigar as causas dos maiores desvios no processo.

Quadro 3. Diagrama de Ishikawa

Problema	Danos Por ESD
Método	Ausência de checklist de verificação de ESD no início do turno
Mão de Obra	Uso incorreto de EPI (pulseiras, bota antiestática) Falta de disciplina no cumprimento de procedimentos
Meio Ambiente	Pisos sem propriedades dissipativas.
Medição/Medida	Falta de instrumentos para testar dissipação de ESD
Máquina	Equipamentos de bancada sem aterramento adequado Falta de manutenção em dispositivos antiestáticos
Matéria Prima	Transporte interno feito sem cuidados eletrostáticos

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025

A análise das causas de Danos por ESD (Descarga Eletrostática) utilizando os 6Ms do Diagrama de Ishikawa permitiu identificar, de forma estruturada, os principais fatores que contribuem para esse tipo de falha crítica no processo produtivo. Cada elemento — Máquina, Método, Mão de Obra,



Matéria-Prima, Medição e Meio Ambiente — apresenta fragilidades específicas que, quando somadas, impactam diretamente na qualidade e na confiabilidade dos produtos eletrônicos.

No eixo Máquina, observam-se falhas relacionadas à infraestrutura dos equipamentos, como a ausência de aterramento adequado nas bancadas e a falta de manutenção nos dispositivos antieletrostáticos. Essas deficiências aumentam significativamente o risco de descarga eletrostática durante o manuseio de componentes sensíveis, comprometendo a funcionalidade das placas eletrônicas e gerando prejuízos à produção.

Em Método, destaca-se a ausência de um checklist de verificação de ESD no início dos turnos, o que evidencia a falta de padronização e controle nas rotinas operacionais. Sem essa verificação sistemática, muitos pontos críticos deixam de ser observados, elevando o risco de falhas e retrabalho.

No fator Mão de Obra, foram identificados dois aspectos fundamentais: o uso incorreto dos EPIs (como pulseiras e botas antiestáticas) e a falta de disciplina no cumprimento dos procedimentos estabelecidos. Essas falhas de comportamento operacional indicam a necessidade de reforçar treinamentos e promover uma cultura organizacional voltada para a prevenção de danos.

Com relação à Matéria-Prima, verificou-se que o transporte interno de materiais é realizado sem os devidos cuidados eletrostáticos. Isso compromete a integridade dos componentes ainda antes do processo de montagem, afetando negativamente a qualidade final do produto.

Na dimensão de Medição/Medida, a ausência de instrumentos adequados para testar a dissipação de ESD impede a verificação contínua da eficácia dos sistemas de proteção, deixando a linha de produção vulnerável a falhas silenciosas. A implementação de métodos de medição confiáveis é essencial para o monitoramento preventivo.

Por fim, o Meio Ambiente de trabalho também apresenta um fator de risco significativo, com a presença de pisos sem propriedades dissipativas. Isso impede a descarga controlada da eletricidade estática acumulada, tornando o ambiente propício a descargas que danificam os componentes eletrônicos.

Essa análise evidencia que os danos por ESD são causados por um conjunto de falhas interdependentes, que exigem uma abordagem integrada para sua mitigação. A identificação dessas causas raízes será fundamental para a próxima etapa da investigação, que utilizará a Matriz G.U.T. para priorizar as ações corretivas, classificando cada causa segundo os critérios de Gravidade, Urgência e Tendência. Essa priorização estratégica permitirá direcionar os esforços da equipe para as soluções com maior impacto, promovendo um ambiente produtivo mais seguro e eficiente.



Quadro 4. Matriz G.U.T

Lista de Problemas	G	U	T	Pontuação	Prioridade
Equipamentos de bancada sem aterramento adequado	5	5	5	125	1
Uso incorreto de EPI (pulseiras, bota antiestática)	5	5	4	100	2
Falta de manutenção em dispositivos antieletrostáticos	5	4	4	80	3
Pisos sem propriedades dissipativas	4	4	4	64	4
Transporte interno feito sem cuidados eletrostáticos	4	4	3	48	5
Falta de disciplina no cumprimento de procedimentos	4	3	3	36	6
Falta de instrumentos para testar dissipação de ESD	3	3	4	36	7
Ausência de checklist de verificação de ESD no início do turno	3	2	3	18	8

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025

A análise dos resultados obtidos por meio da Matriz G.U.T. evidencia que os três principais fatores que contribuem significativamente para os danos causados por ESD (Descarga Eletrostática) no processo produtivo estão relacionados à ausência de aterramento adequado dos equipamentos de bancada, ao uso incorreto de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) por parte dos colaboradores e à falta de manutenção nos dispositivos antieletrostáticos. Esses itens registraram as maiores pontuações na matriz, o que demonstra sua gravidade, urgência e tendência de agravamento, sendo, portanto, as prioridades que exigem intervenção imediata.

O primeiro fator crítico identificado foi a ausência de aterramento adequado nos equipamentos de bancada, que obteve a pontuação máxima de 125 na matriz. Essa condição representa um risco elevado, pois compromete diretamente a segurança dos componentes eletrônicos e a integridade do processo produtivo. Equipamentos sem aterramento dissipam incorretamente as cargas eletrostáticas, aumentando consideravelmente a possibilidade de falhas nas placas. A correção desse problema requer a inspeção e a adequação imediata das instalações, além da validação técnica por meio de medições específicas.

O segundo fator de maior impacto, com pontuação 100, refere-se ao uso incorreto de EPIs, como pulseiras e botas antiestáticas, por parte dos operadores. A não utilização correta desses dispositivos compromete o controle de ESD, favorecendo a descarga eletrostática durante o manuseio de componentes sensíveis. Essa falha está associada à falta de treinamento adequado e à ausência de cultura de segurança eletrostática na linha de produção. A implementação de capacitações regulares, reforço visual e campanhas de conscientização são medidas fundamentais para mitigar esse problema.



O terceiro fator crítico, com pontuação de 80, corresponde à falta de manutenção nos dispositivos antieletrostáticos. Quando esses itens – como pulseiras, mantas e bancadas – não passam por verificações e manutenções periódicas, sua eficácia na dissipação de cargas eletrostáticas é reduzida, tornando-os ineficientes na proteção do processo. A criação de um plano de manutenção preventiva e o controle rigoroso da validade dos dispositivos são estratégias indispensáveis para assegurar o desempenho adequado desses recursos.

Embora outras causas, como pisos inadequados, ausência de checklist de verificação de ESD e transporte sem cuidados eletrostáticos também tenham sido identificadas na análise, o foco inicial deste plano de ação será direcionado aos três fatores com maior pontuação na Matriz G.U.T. A priorização dessas ações corretivas é essencial para reduzir significativamente os danos por ESD, aumentar a confiabilidade dos processos e garantir a integridade dos produtos fabricados.

6. PLANEJAMENTO DA PROPOSTA

O planejamento da proposta de solução para os danos causados por ESD será conduzido utilizando a ferramenta 5W2H, uma metodologia eficaz para organizar e definir claramente as ações necessárias para solucionar os problemas identificados. Esta abordagem permite estruturar o plano de maneira lógica e detalhada, assegurando que todos os aspectos essenciais sejam considerados e que as soluções propostas sejam executáveis e mensuráveis.

Ao utilizar o 5W2H, o planejamento das ações será claro, detalhado e focado na execução de cada etapa, assegurando que os problemas identificados sejam resolvidos de forma eficaz e dentro do prazo estabelecido. A metodologia também permitirá o acompanhamento do progresso e a avaliação de resultados, tornando o processo de melhoria contínua mais organizado e eficiente.

Quadro 5. 5W2H

O QUE?	POR QUÊ?	QUEM?	QUANDO?	ONDE?	COMO?	QUANTO?
Realizar o aterramento adequado de todas as bancadas de trabalho utilizadas na produção e testes.	Para evitar danos por descargas eletrostáticas (ESD) em componentes sensíveis e reduzir retrabalho e perdas	Gestor Operacional	Início: 05/06/25 Fim: 18/05/25	Processo Produtivo	Inspecção de todas as bancadas, instalação de sistemas de aterramento e certificação conforme norma.	Sem valor financeiro diretamente agregado
O QUE?	POR QUÊ?	QUEM?	QUANDO?	ONDE?	COMO?	QUANTO?
Treinar os colaboradores para o uso correto dos EPIs antieletrostáticos e reforçar sua obrigatoriedade	Para evitar falhas humanas que causem descargas eletrostáticas e comprometam o funcionamento das placas	Gestor Operacional	Início: 05/06/25 Fim: 18/05/25	Processo Produtivo	Treinamentos presenciais e práticos, com vídeos demonstrativos, cartazes de reforço visual e fiscalização	Sem valor financeiro diretamente agregado
O QUE?	POR QUÊ?	QUEM?	QUANDO?	ONDE?	COMO?	QUANTO?
Implementar cronograma de manutenção preventiva e corretiva dos dispositivos e checagem automática dos EPIs	Para evitar falhas humanas que causem descargas eletrostáticas e comprometam o funcionamento das placas	Gestor Operacional	Início: 05/06/25 Fim: 18/05/25	Processo Produtivo	Elaboração do cronograma, inspeções periódicas no sistema de checagem automática, substituição de itens defeituosos e testes de resistência	Sem valor financeiro diretamente agregado

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.



7. RESULTADOS ESPERADOS

Os resultados esperados com a implementação das ações propostas são significativos para a melhoria da produtividade e eficiência da empresa. A primeira medida, voltada para o aterramento adequado visa evitar danos aos componentes sensíveis, reduzindo retrabalhos e perdas. A inspeção completa das bancadas e a instalação de sistemas de aterramento conforme as normas vigentes garantem maior segurança e estabilidade no ambiente produtivo, causando um grande impacto na confiabilidade do processo.

Além disso, o treinamento dos colaboradores para o uso correto dos Equipamentos gera conscientização e uma cultura da qualidade mais firme, buscando a minimização de falhas humanas que comprometem o funcionamento das placas eletrônicas. A implementação de um cronograma de manutenção preventiva e corretiva dos dispositivos, incluindo o sistema de checagem automática dos EPIs, busca garantir a confiabilidade desses equipamentos. A elaboração do cronograma, acompanhada por inspeções periódicas, substituição de itens defeituosos e realização de testes, visa evitar falhas operacionais que impactam diretamente a qualidade dos produtos.

A integração dessas ações promove não apenas a redução de falhas, mas também o fortalecimento da cultura organizacional voltada à prevenção e a qualidade. Essas medidas proporcionam ganhos expressivos em produtividade, segurança e eficiência, contribuindo para tornar a empresa mais competitiva e preparada para as exigências do mercado.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As considerações finais do presente estudo reforçam a importância de identificar e tratar as causas dos danos por ESD (Descarga Eletrostática) no ambiente produtivo, uma vez que esses fatores comprometem diretamente a integridade dos componentes eletrônicos, elevam os custos operacionais e reduzem a confiabilidade dos produtos entregues ao mercado. As ações propostas, com foco na adequação dos equipamentos, no uso correto dos EPIs e na manutenção dos dispositivos de proteção, são essenciais para fortalecer a segurança, a qualidade e a eficiência no processo de produção.

A implementação de medidas para garantir o aterramento adequado das bancadas e a revisão dos dispositivos de proteção antieletrostática proporciona maior segurança aos componentes sensíveis, reduzindo significativamente a incidência de falhas. Paralelamente, os treinamentos e as ações de fiscalização contínua sobre o uso correto dos EPIs estimulam uma cultura organizacional mais disciplinada e comprometida com os padrões de qualidade.

Com o aprimoramento contínuo dessas áreas, espera-se um aumento significativo na produtividade da empresa, além de uma redução de custos operacionais, que contribuirá para o crescimento sustentável e a competitividade no mercado. A empresa estará, portanto, melhor posicionada para enfrentar desafios e aproveitar oportunidades de crescimento.

Por fim, a aplicação da Matriz G.U.T. e do Diagrama de Pareto, juntamente com o uso de indicadores de desempenho, assegura que as ações corretivas e de melhoria serão constantemente avaliadas e ajustadas, garantindo a efetividade das mudanças propostas. As perspectivas para o futuro da empresa são positivas, e a implementação dessas melhorias representa um passo fundamental rumo a um processo produtivo mais eficiente, ágil e bem-sucedido.



REFERÊNCIAS

- GONÇALVES, J. A gestão da qualidade na era da Indústria 4.0. *Revista Brasileira de Inovação Tecnológica* (2022).
- HOSSEINI, M. A. Testes funcionais na fabricação de placas de circuito impresso: aprimorando a confiabilidade por meio da simulação em condições reais. *Journal of Electronics Quality Assurance*, (2024).
- HUANG, X.; WEI, J. Conjunto de dados de defeitos em placas de circuito impresso para classificação e detecção. *Microelectronics Reliability* (2019).
- Inácio, L. C. dos R., Avelino, S. F., Sanjulião, L.-R. K. A., Reis, M. J., Borges, V. de O., Piantino, L. F. M., Pinto, R. A. N., & da Silva, H. M. Ferramentas básicas da qualidade: folha de verificação, estratificação, fluxograma, diagrama de Ishikawa, diagrama de Pareto, matriz GUT e 5W2H. *Revista de Gestão e Secretariado* (2023).
- KHALILIAN, S. Detecção de defeitos em placas de circuito impresso usando autoencoders convolucionais. *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*. (2020).
- LAW, K. Controle de qualidade na fabricação de placas de circuito impresso com aprendizado de máquina. *International Journal of Electronics Manufacturing* (2024).
- LOPES, D. A.; MARTINS, L. M. Aplicação do 5W2H no planejamento estratégico da qualidade. *Revista de Engenharia e Tecnologia Aplicada*. (2023).
- MENDES, R.; FREITAS, G. M. Diagrama de Ishikawa aplicado à melhoria contínua na indústria. *Revista de Qualidade e Engenharia* (2021).
- PETKOV, P.; IVANOVA, V. Técnicas de inspeção e teste de placas de circuito impresso. *Electronics Manufacturing Journal* (2024).
- RIBEIRO, V. Matriz GUT e sua aplicação na indústria eletrônica. *Revista Produção e Qualidade* (2022).
- SANTOS, R.; OLIVEIRA, A. Uso da análise SWOT na gestão da qualidade industrial. *Revista Brasileira de Administração e Qualidade* (2023).
- SANTOS, V.; PEREIRA, H. Metodologia mista e ferramentas da qualidade na resolução de problemas complexos. *Revista Gestão Estratégica e Inovação* (2023).
- SILVA, A.; COSTA, L. Diagrama de Pareto na análise de falhas em testes eletrônicos. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento* (2020).
- SOARES, R.; CÂMARA, F.; SOUZA, L. Aplicação do ciclo PDCA e ferramentas da qualidade no setor produtivo. *Revista de Engenharia e Gestão Industrial* (2023).
- STADLER, P.; PIRES, M. Cultura organizacional e comprometimento com a qualidade. *Revista Brasileira de Gestão e Produção* (2020).
- TAKAHASHI, T. Diagrama de Causa e Efeito na resolução de problemas industriais. *Revista Engenharia & Qualidade* (2020).