



**INSTITUTO
FEDERAL**
Amazonas

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
AMAZONAS
CAMPUS MANAUS CENTRO
DEPARTAMENTO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

EVERTON HIPOLITO PESSOA

**UM SISTEMA A PROVA DE ERROS OPERACIONAIS, APLICAÇÃO DO MÉTODO
POKA YOKE EM UMA FERRAMENTA DE FIXAÇÃO ELETRÔNICA**

**MANAUS - AM
2023**

EVERTON HIPOLITO PESSOA

**UM SISTEMA A PROVA DE ERROS OPERACIONAIS, APLICAÇÃO DO MÉTODO
POKA YOKE EM UMA FERRAMENTA DE FIXAÇÃO ELETRÔNICA**

Projeto de pesquisa apresentado à unidade curricular de Trabalho de Conclusão de Curso, submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – Campus Manaus Centro, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Me. Benjamin Batista de Oliveira Neto

**MANAUS – AM
2023**

EVERTON HIPOLITO PESSOA

**UM SISTEMA A PROVA DE ERROS OPERACIONAIS, APLICAÇÃO DO MÉTODO
POKA YOKE EM UMA FERRAMENTA DE FIXAÇÃO ELETRÔNICA**

Projeto de pesquisa apresentado à unidade curricular de Trabalho de Conclusão de Curso, submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – Campus Manaus Centro, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientado: Me. Benjamin Batista de Oliveira Neto

Aprovado em 27 de Dezembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Me Benjamin Batista de Oliveira Neto

Me. Marcus Renato Pinheiro Mattos

Ma. Michaella Socorro Bruce Fialho

**MANAUS – AM
2023**

Biblioteca do IFAM – Campus Manaus Centro

P475s Pessoa, Everton Hipólito.

Um sistema a prova de erros operacionais, aplicação do método POKA YOKE em uma ferramenta de fixação eletrônica / Everton Hipólito Pessoa. – Manaus, 2023.

55 p. : il. color.

Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica). – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Centro, 2023.

Orientador: Prof. Me. Benjamin Batista de Oliveira Neto.

1. Engenharia mecânica. 2. Tecnologia de fixação. 3. Manufatura industrial. 4. Erros Operacionais. I. Oliveira Neto, Benjamin Batista de. (Orient.) II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.

CDD 621



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ REITORIA DE ENSINO
CAMPUS MANAUS-CENTRO
DIRETORIA DE ENSINO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA MECÂNICA



INSTITUTO FEDERAL
AMAZONAS

ATA DE DEFESA PÚBLICA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

No dia vinte e sete do mês de dezembro de dois mil e vinte e três, às 17:30 horas na Sala Virtual da Plataforma GOOGLE MEET, <https://meet.google.com/vnr-gsky-mej> o acadêmico **Everton Hipólito Pessoa**, apresentou o seu Trabalho de Conclusão de Curso para avaliação da Banca Examinadora presidida pelo Prof. Me. Benjamin Batista de Oliveira Neto (orientador), composta pelos demais examinadores (avaliador – IFAM) Prof. Me. Marcus Renato Pinheiro Mattos e Profa. Ma. Michaela Socorro Bruce Fialho (avaliador – IFAM). A sessão pública de defesa foi aberta pelo Presidente da Banca Examinadora, que fez a apresentação da mesma e deu continuidade aos trabalhos, fazendo uma breve referência ao TCC que tem como título: **UM SISTEMA A PROVA DE ERROS OPERACIONAIS, APLICAÇÃO DO MÉTODO POKA YOKE EM UMA FERRAMENTA DE FIXAÇÃO ELETRÔNICA**. Na sequência, o acadêmico teve até 30 minutos para a comunicação oral de seu trabalho, e em seguida, cada integrante da Banca Examinadora fez suas arguições. Ouvidas as explicações do acadêmico, os membros da Banca Examinadora, reunidos em caráter sigiloso, para proceder à avaliação final, deliberaram por **aprovar** e atribuir à **nota 9,4** ao trabalho. Foi divulgado o resultado formalmente ao acadêmico e demais presentes, dando ciência ao mesmo que a versão final do trabalho deverá ser entregue até o prazo máximo de 15 dias, com as devidas alterações sugeridas pela banca. Nada mais a tratar, a sessão foi encerrada às **(18h 20min)**, sendo lavrada a presente ata, que, uma vez aprovada, foi assinada por todos os membros da Banca Examinadora e pelo acadêmico.

Prof. Orientador / Presidente: Prof. Me. Benjamin Batista de Oliveira Neto

Documento assinado digitalmente
gov.br BENJAMIN BATISTA DE OLIVEIRA NETO
Data: 28/12/2023 12:26:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Membro 1: Prof. Me. Marcus Renato Pinheiro Mattos

Documento assinado digitalmente
gov.br MARCUS RENATO PINHEIRO MATTOS
Data: 28/12/2023 13:02:23-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ REITORIA DE ENSINO
CAMPUS MANAUS-CENTRO
DIRETORIA DE ENSINO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA MECÂNICA**



INSTITUTO FEDERAL
AMAZONAS

Prof. Membro 2: Profa. Ma. Michaella Socorro Bruce Fialho



Documento assinado digitalmente

MICHAELLA SOCORRO BRUCE FIALHO

Data: 28/12/2023 12:39:21-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Acadêmico: Everton Hipólito Pessoa



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DO AMAZONAS

null N° 601/2023 - CCGEM/CMC (11.01.03.01.16.12.01)

N° do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO

Manaus-AM, 27 de Dezembro de 2023

ATA-EVERTON_HIPLITO_PESSOA.pdf

Total de páginas do documento original: 2

(Assinado digitalmente em 28/12/2023 12:08)
BENJAMIN BATISTA DE OLIVEIRA NETO
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
1112947

(Assinado digitalmente em 28/12/2023 12:10)
MARCUS RENATO PINHEIRO MATTOS
PROF ENS BAS TEC TECNOLOGICO-SUBSTITUTO
1150839

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sig.ifam.edu.br/documentos/>
informando seu número: **601**, ano: **2023**, tipo: **null**, data de Assinatura: **27/12/2023** e o código de
verificação: **616c78f1d0**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta jornada acadêmica.

À minha esposa, pais e irmãos, cujo apoio incondicional e amor foram alicerces fundamentais para enfrentar os desafios deste percurso. Nas longas noites de estudo, vocês foram a luz que iluminou o caminho.

Aos meus amigos e colegas de curso, pela troca de conhecimento, incentivo mútuo e pelas experiências compartilhadas ao longo desses anos. Juntos, construímos não apenas uma relação acadêmica, mas uma sólida amizade.

Aos professores que, com dedicação e paciência, guiaram-me pelos intrincados caminhos do saber. Suas orientações e ensinamentos foram fundamentais para o amadurecimento intelectual e profissional.

Às inspirações que encontrei nos mais diversos lugares, livros, artigos e experiências cotidianas. Cada fonte de conhecimento foi uma peça importante na construção deste trabalho.

Agradeço, acima de tudo, este trabalho de conclusão de curso ao Deus Todo-Poderoso, que me deu forças e saúde para chegar até aqui. E também à minha versão futura, que continuará a trilhar os caminhos do saber com a mesma paixão e determinação.

Que esta pesquisa seja mais do que um documento acadêmico, mas uma expressão do esforço, dedicação e aprendizado que marcaram esta fase da minha vida. Que ele possa contribuir, de alguma forma, para o enriquecimento do conhecimento e para a busca incessante pelo saber.

Com gratidão.

RESUMO

Este estudo analisou a aplicação do método Poka Yoke em novas tecnologias de fixação em operações de manufatura industrial. O sistema foi à prova de erros operacionais (Poka Yoke). A associação com a tecnologia de ferramentas eletrônicas inteligentes buscou não apenas otimizar o processo de fixação, mas também assegurar a correta execução das atividades no processo. Para isso, utilizou-se a técnica Poka Yoke por etapas, também conhecida como "Step Motion", a fim de separar as operações em estágios e evitar erros na sequência de fixação. O desenvolvimento de sistemas à prova de erros operacionais mostrou-se uma solução viável para alcançar a qualidade total em processos manufaturados, onde proporcionou o aumento na produtividade dos processos industriais ao minimizar falhas humanas e aprimorar a eficiência e qualidade dos produtos.

Palavras-chave: Poka Yoke; Tecnologias de Fixação; Manufatura Industrial; Erros Operacionais; Qualidade Total

ABSTRACT

This study examined the application of the Poka Yoke method in new fastening technologies within industrial manufacturing operations. The system was designed to be error-proof (Poka Yoke). The integration with smart electronic tool technology aimed not only to optimize the fastening process but also to ensure the correct execution of activities within the process. To achieve this, the Poka Yoke technique was applied in stages, also known as "Step Motion," to separate operations into stages and prevent errors in the fastening sequence. The development of error-proof operational systems proved to be a viable solution for achieving total quality in manufacturing processes, contributing to increased productivity in industrial processes by minimizing human errors and enhancing the efficiency and quality of products.

Keywords: Poka Yoke, Fastening Technologies, Industrial Manufacturing, Human Errors, Total Quality.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

<u>Figura 1 – Classificação dos processos de fabricação</u>	14
<u>Figura 2 – Fluxograma para classificação de erros humanos</u>	25
<u>Figura 3 – Representação Gráfica – Diagrama de Ishikawa</u>	32
<u>Figura 4 – Defeitos de mão-de-obra</u>	35
<u>Figura 5 – Itens afetados por falhas de mão-de-obra</u>	36
<u>Figura 6 – Postos afetados por falhas de mão-de-obra</u>	37
<u>Figura 7 – Parafusadeira pneumática linear</u>	42
<u>Figura 8 – Parafuso Sextavado Flangeado</u>	42
<u>Figura 9 – Parafuso Philips</u>	42
<u>Figura 10 – Parafusadeira eletrônica com controlador (INSIGHTqc™)</u>	43
<u>Figura 11 – Diagrama lógico – Poka Yoke por etapas</u>	44
<u>Figura 12 – Fixação correta – Parafusadeira Eletrônica</u>	46
<u>Figura 13 – Fixação Incorreta – Torque baixo</u>	47
<u>Figura 14 – Passos de fixação – Fixação 1</u>	47
<u>Figura 15. Acionamento de led da parafusadeira eletrônica</u>	48
<u>Figura 16 – Defeitos de mão-de-obra pós implementação da melhoria</u>	49
<u>Figura 17 – Defeitos mão-de-obra posto P.7</u>	50

LISTA DE QUADROS

<u>Quadro 1 - Registro de defeitos de qualidade em linha de manufatura</u>	31
<u>Quadro 2 - Análise 6M linha A</u>	34
<u>Quadro 3 - Checklist de análise de causa raiz de erro humano - Operador A</u>	38
<u>Quadro 4 - Checklist de análise de causa raiz de erro humano - Operador B</u>	39
<u>Quadro 5 - Checklist de análise de causa raiz de erro humano - Operador C</u>	40
<u>Quadro 6 - Descrição das atividades do posto P.7</u>	41
<u>Quadro 7 - Parâmetros de Torque</u>	42
<u>Quadro 8. Atividades de fixação - Poka Yoke por etapas</u>	45
<u>Quadro 9 - Sinalização parafusadeira eletrônica</u>	48
<u>Quadro 10 - Checklist de análise de causa raiz erro humano após implementação da melhoria - Operador A</u>	51
<u>Quadro 11 - Checklist da análise de causa raiz de erro humano após implementação da melhoria - Operador B</u>	51
<u>Quadro 12 - Checklist de análise de causa raiz de erro humano após implementação da melhoria - Operador C</u>	52

SUMÁRIO

<u>1 INTRODUÇÃO</u>	10
<u>2 OBJETIVOS</u>	12
<u>2.1 OBJETIVO GERAL:</u>	12
<u>2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</u>	12
<u>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</u>	12
<u>3.1 O CONCEITO DE MANUFATURA E SUAS CARACTERÍSTICAS</u>	12
<u>3.2 O POLO INDUSTRIAL DE MANAUS E A MANUFATURA</u>	14
<u>3.3 FERRAMENTAS DE FIXAÇÃO</u>	16
<u>3.3.1 Chaves de aperto</u>	16
<u>3.3.2 Chaves de impacto</u>	17
<u>3.3.3 Parafusadeiras</u>	18
<u>3.3.4 Ferramenta de fixação eletrônica</u>	19
<u>3.4 PRINCÍPIO BÁSICO DE TORQUE</u>	20
<u>3.4.1 Tipos de torque</u>	22
<u>3.5 CONFIABILIDADE HUMANA</u>	23
<u>3.6 O MÉTODO POKA YOKE</u>	26
<u>3.7 O DIAGRAMA DE ISHIKAWA</u>	28
<u>4 METODOLOGIA EXPERIMENTAL</u>	30
<u>4.1 LOCAL DE ESTUDO</u>	30
<u>4.2 IDENTIFICAÇÃO DE CAUSAS DE FALHAS OPERACIONAIS</u>	30
<u>4.3 DESENVOLVIMENTO DE OPERAÇÕES EM ESTÁGIOS</u>	30
<u>4.4 TESTES E VALIDAÇÃO</u>	30
<u>5 RESULTADOS</u>	31
<u>5.1 IDENTIFICAÇÃO DE CAUSAS DE FALHAS OPERACIONAIS</u>	31
<u>5.2 DESENVOLVIMENTO DE OPERAÇÕES EM ESTÁGIOS</u>	39
<u>5.3 APLICAÇÃO E VALIDAÇÃO</u>	43
<u>REFERÊNCIAS</u>	51

1 INTRODUÇÃO

A fixação de parafusos é um processo importante em diversos setores industriais, sendo uma das etapas cruciais na montagem de produtos que requerem união de peças. (VIALTA, 2018). No entanto, a fixação de parafusos é um processo que pode ser suscetível a erros operacionais, que podem resultar em falhas na montagem, retrabalho, aumento de custos e redução da qualidade do produto final (CARVALHO et al, 2018).

Os erros humanos são uma das principais causas de falhas em processos de montagem e podem ser reduzidos ou eliminados por meio da implementação de sistemas automatizados de montagem, como os sistemas de fixação elétricos de corrente contínua. Esses sistemas oferecem diversas vantagens em relação aos sistemas de fixação manuais, como maior precisão, repetibilidade, velocidade e facilidade de uso, além de reduzirem a fadiga do operador e minimizarem a variabilidade do processo (ARAMCHAROEN, 2015)

A montagem de produtos complexos, como automóveis, máquinas, eletrodomésticos, entre outros, pode ser afetado por falhas operacionais, como erros de sequência na fixação dos parafusos, falta de padronização, variações de torque, entre outros fatores. Essas falhas podem comprometer a qualidade do produto final, aumentar o tempo de produção e o custo do processo, além de colocar em risco a segurança dos usuários. (BANDYOPADHYAY, 2011).

Uma das soluções possíveis é a aplicação de um dispositivo à prova de erros operacionais (poka yoke). O poka yoke é uma ferramenta de gestão da qualidade que visa evitar ou corrigir erros humanos em processos industriais, por meio de dispositivos simples que impedem ou alertam sobre a ocorrência de defeitos (ENDEAVOR BRASIL, 2018).

Para minimizar falhas operacionais, a implementação de melhorias de processo pode garantir a qualidade e a produtividade na manufatura. Nesse sentido, as tecnologias que agregam em seus sistemas possibilidade de verificações por etapas por meio da programação da atividade e configurações de torque como as

permitidas em sistemas de fixação eletrônicas surgem como uma solução inovadora e eficiente, possibilitando otimizar o processo de fixação, e fornecer o controle visual a operação e áreas técnicas. (CALLEJA, 2019).

Portanto, é relevante desenvolver melhorias para as falhas operacionais em processos de montagem por meio da união de peças parafusadas, uma vez que isso contribui para a competitividade e a eficiência das empresas, além de garantir a segurança e a satisfação dos consumidores.

Nesse sentido, o presente estudo propõe a implementação da metodologia Poka Yoke aplicada em uma ferramenta de fixação eletrônica em um processo de manufatura de linha branca em uma fábrica do polo industrial de Manaus. O objetivo é reduzir as falhas operacionais e melhorar a qualidade do produto final, tornando a associação entre a metodologia Poka Yoke e a ferramenta um dispositivo à prova de erros operacionais.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL:

Aplicar um sistema à prova de erros operacionais (Poka Yoke) utilizando a tecnologia de sistemas de fixação eletrônica desenvolvido pela empresa INGERSOLL RAND para a fixação de parafusos em um processo de manufatura de linha branca em uma fábrica do polo industrial de Manaus, visando a otimização do processo de montagem e a redução de falhas operacionais.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Identificar as principais falhas operacionais relacionadas ao processo de fixação de parafusos;
2. Programar as operações de fixação de parafusos em estágios (aplicação do método “step motion”) com controle visual para a operação.

Com esses objetivos, espera-se tornar a ferramenta de fixação de parafusos em um sistema a prova de erros, tornando o processo de fixação mais eficiente e confiável, ao minimizar significativamente as falhas operacionais e melhorar a qualidade do produto final, aumento da produtividade, ao contribuir para a competitividade e eficiência da empresa.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 O CONCEITO DE MANUFATURA E SUAS CARACTERÍSTICAS

O desenvolvimento de objetos é uma atividade crucial para a humanidade desde a pré-história. Nos dias de hoje, a produção ou manufatura é o termo empregado para descrever essa atividade. Considerando a etimologia da palavra manufatura significa o que é feito à mão. Em um contexto tecnológico, a manufatura consiste na aplicação de processos físicos e/ou químicos que permitem modificar a geometria, propriedades e/ou aparência de um material para a produção de peças

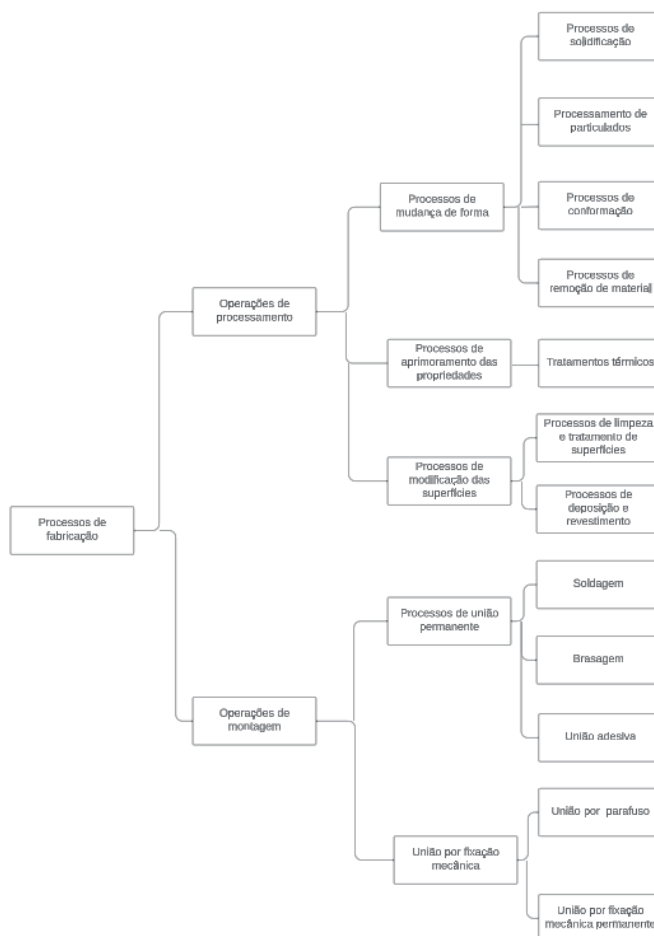
ou produtos. A montagem de vários objetos com o objetivo de formar um produto final também faz parte da manufatura. (GROOVER, 2014).

Em um contexto econômico, pode definir-se a manufatura como a transformação de insumos primários em itens com um maior valor agregado por meio de uma ou mais etapas de processamento ou montagem. (GROOVER, 2014).

A maior parte dos bens de capital é utilizada pelo setor de serviços. Considerando os conceitos mencionados é possível afirmar que um produto manufaturado é montado a partir de um processo de fabricação. Comumente, considera-se o processo de fabricação como uma operação unitária, ou seja, um único passo em uma sequência de etapas necessárias para transformar o material inicial em um produto final. Uma operação unitária é geralmente realizada em um único equipamento, independentemente das outras operações na fábrica (GROOVER, 2014).

As operações de fabricação são divididas em dois tipos principais: operações de processamento e operações de montagem. Uma operação de processamento transforma o material de um estado menos refinado para um estado mais avançado e próximo do produto final desejado. A Figura 1 apresenta uma classificação dos processos de fabricação.

Figura 1 - Classificação dos processos de fabricação



Fonte: Introdução aos processos de fabricação (GROOVER, 2014).

O segundo conjunto de operações de fabricação é composto pelos processos de montagem, nos quais duas ou mais peças são unidas para formar uma nova unidade. Os componentes dessa nova unidade são conectados de forma permanente ou semipermanente. Em alguns conjuntos montados, os componentes são unidos por conexões que podem ser facilmente desmontadas. Os parafusos, porcas e outros tipos de conexões mecânicas rosqueadas são métodos tradicionais comuns desta categoria (GROOVER, 2014).

3.2 O POLO INDUSTRIAL DE MANAUS E A MANUFATURA

O Polo Industrial de Manaus é uma área de desenvolvimento industrial situada na cidade de Manaus, no estado do Amazonas, Brasil. É considerado um dos maiores polos industriais do país, com uma variedade de atividades econômicas e características únicas. O Polo Industrial de Manaus foi criado em 1967, como uma estratégia do governo brasileiro para promover o desenvolvimento econômico na região amazônica. A criação do polo tinha como objetivos diversificar a economia da

região, reduzir a dependência da atividade extrativista e estimular a industrialização por meio de incentivos fiscais e creditícios (CARVALHO, 2017).

Uma das principais características do Polo Industrial de Manaus é a concessão de incentivos fiscais e a criação da Zona Franca de Manaus. Essas medidas visam atrair empresas para a região e estimular a produção local. Os incentivos incluem isenção ou redução de impostos, como o Imposto sobre Produtos Industrializados, além de benefícios relacionados a importação e exportação de mercadorias (SANTOS et al, 2018).

O Polo Industrial de Manaus abrange uma ampla gama de setores industriais, incluindo eletrônicos, eletrodomésticos, motocicletas, bicicletas, produtos químicos, entre outros. Essa diversificação contribui para a geração de empregos e para a formação de uma cadeia produtiva na região. A presença de diferentes setores industriais no polo contribui para o desenvolvimento econômico e tecnológico da região, além de promover a integração com outras regiões do país (FIGUEIREDO et al, 2021).

O Polo Industrial de Manaus tem gerado importantes impactos socioeconômicos na região destaca-se que a instalação de indústrias no polo contribui para o aumento da oferta de empregos e renda, melhorando a qualidade de vida da população local. Além disso, o polo tem impulsionado o desenvolvimento de infraestrutura, educação e pesquisa na região (SANTOS et al, 2018).

No entanto, é importante considerar também os impactos ambientais associados ao polo industrial. A expansão industrial pode resultar em pressões sobre os recursos naturais e ecossistemas da região amazônica, exigindo uma gestão cuidadosa e sustentável das atividades industriais (FIGUEIREDO et al, 2021).

O Polo Industrial de Manaus desempenha um papel crucial no desenvolvimento econômico e social da região. Suas características, como os incentivos fiscais, a diversificação industrial e os impactos socioeconômicos, tornam-no um importante centro industrial no Brasil. No entanto, é necessário um equilíbrio entre o crescimento industrial e a preservação ambiental para garantir a sustentabilidade a longo prazo.

3.3 FERRAMENTAS DE FIXAÇÃO

As ferramentas de fixação são dispositivos que permitem unir ou prender

peças ou materiais entre si ou em superfícies. Elas são amplamente utilizadas na indústria e na construção civil, bem como em aplicações domésticas e artesanais. As ferramentas de fixação podem ser manuais, elétricas ou pneumáticas, dependendo da fonte de energia que utilizam para acionar os elementos de fixação. (SILVA et al, 2019).

Os elementos de fixação são as peças que efetivamente realizam a união ou a fixação, como parafusos, pregos, rebites, pinos, porcas, arruelas, entre outros. Cada tipo de elemento de fixação possui características e aplicações específicas, conforme o material, o formato, o tamanho e a resistência que apresentam. As ferramentas e os elementos de fixação são essenciais para garantir a estabilidade, a segurança e a funcionalidade das estruturas e dos equipamentos industriais (SILVA et al, 2019).

Destacam-se no processo de manufatura as ferramentas que são descritas no item a seguir.

3.3.1 Chaves de aperto

Chaves Manuais: As ferramentas manuais são indispensáveis para diversas atividades industriais e domésticas. Entre as várias ferramentas manuais usadas para fixações, vamos conhecer as mais importantes (ADAMS, 2021).

Chaves de fenda: As chaves de fenda são ferramentas manuais muito usadas para apertar e soltar parafusos. Elas são projetadas com uma ponta plana ou em forma de cruz, que se ajusta perfeitamente nas ranhuras da cabeça do parafuso. As chaves de fenda são muito usadas em trabalhos de montagem de móveis, eletrônicos e pequenos consertos domésticos (MOORE, 2017).

Chaves Phillips e Pozidriv: As chaves Phillips e Pozidriv são variantes das chaves de fenda convencionais e são projetadas para parafusos com cabeças em forma de cruz. Essas chaves têm uma ponta em formato de estrela que se ajusta nas ranhuras da cabeça do parafuso, proporcionando um melhor encaixe e transferência de torque. As chaves Phillips são muito empregadas em eletrônicos e eletrodomésticos, enquanto as chaves Pozidriv são mais comuns em indústrias automotivas e de engenharia (THOMSEN, 2020).

Chaves Allen: As chaves Allen, também chamadas de chaves hexagonais, são ferramentas manuais usadas para apertar e soltar parafusos com cabeças

sextavadas internas. Essas chaves têm uma haste em formato de L ou em formato de T com uma extremidade hexagonal que se encaixa perfeitamente no parafuso. As chaves Allen são muito usadas na indústria mecânica, especialmente em montagens industriais e manutenção de máquinas (HAAGENSEN, 2018).

Chaves de boca e estrela: As chaves de boca e estrela, também conhecidas como chaves fixas e chaves ajustáveis, são ferramentas manuais usadas para apertar e soltar porcas e parafusos hexagonais. Elas consistem em uma alavanca com uma abertura em formato de boca ou estrela, que se encaixa na cabeça do parafuso ou da porca. Essas chaves são muito usadas na indústria de construção civil, manutenção automotiva e consertos domésticos (ADAMS, 2021).

É importante salientar que a escolha correta da ferramenta adequada ao tipo de parafuso e aplicação desejada é essencial para garantir resultados seguros e eficientes.

3.3.2 Chaves de impacto

Chaves de impacto: As chaves de impacto são ferramentas manuais muito usadas para apertar e soltar parafusos e porcas com mais eficiência e rapidez. Elas aplicam um impulso rotativo de alta potência para fornecer um torque significativo, o que as torna ideais para trabalhos que requerem força extra ou envolvem parafusos de grande tamanho e aperto (SOUZA et al, 2018).

Chaves de impacto elétricas: as chaves de impacto elétricas são ferramentas movidas por eletricidade que usam um mecanismo de impacto para gerar torque. Elas são adequadas para uma variedade de aplicações e podem ser usadas tanto em ambientes domésticos quanto industriais. As chaves de impacto elétricas são populares em oficinas mecânicas e indústrias devido à sua alta potência e facilidade de uso (CALLEJA et al, 2019).

Chaves de impacto a bateria: as chaves de impacto a bateria são ferramentas movidas por bateria recarregável, o que lhes dá uma maior mobilidade e versatilidade. Elas são muito usadas em trabalhos externos ou em locais onde o acesso a uma fonte de alimentação elétrica é limitado. As chaves de impacto a bateria são comumente usadas em setores como a construção civil, manutenção automotiva e montagem de estruturas metálicas (FERREIRA et al, 2020).

Chaves de impacto pneumáticas: as chaves de impacto pneumáticas são

ferramentas movidas por ar comprimido que usam o princípio da expansão do ar para gerar torque. Elas são conhecidas por sua alta potência e capacidade de lidar com trabalhos pesados e exigentes. As chaves de impacto pneumáticas são muito usadas em indústrias como a automotiva, construção civil e manutenção industrial, onde o uso contínuo de alta potência é necessário (SOUZA et al, 2018)

Além da distinção entre chaves de impacto elétricas, a bateria e pneumáticas, existem diferentes tipos de chaves de impacto, como as de impacto manual, as de impacto por impulso e as de impacto rotativo. Cada tipo possui características e aplicações específicas. As chaves de impacto manual são adequadas para trabalhos leves e ocasionais, enquanto as chaves de impacto por impulso são mais eficientes em trabalhos intermediários. Já as chaves de impacto rotativo são usadas em aplicações de alto torque, como na indústria de petróleo e gás (AMARAL et al, 2021).

Essas ferramentas são essenciais em diversos setores industriais e fornecem um torque poderoso para apertar e soltar parafusos e porcas com eficiência. A escolha do tipo adequado de chave de impacto depende do ambiente de trabalho, da potência necessária e da mobilidade requerida.

3.3.3 Parafusadeiras

As parafusadeiras são ferramentas elétricas ou pneumáticas usadas para apertar e soltar parafusos com eficiência e rapidez. Elas oferecem maior conforto em comparação com as chaves manuais, diminuindo o esforço físico necessário e aumentando a produtividade.

Parafusadeiras eletrônicas: as parafusadeiras eletrônicas são ferramentas movidas por eletricidade que oferecem torque controlado eletronicamente. Elas são projetadas para ajustar automaticamente a força de aperto do parafuso, evitando apertos excessivos ou insuficientes. As parafusadeiras eletrônicas são muito usadas em indústrias de eletrônicos, montagem de produtos e linhas de produção, onde a precisão e consistência são essenciais (MAIA et al, 2017).

Parafusadeiras a bateria: as parafusadeiras a bateria são ferramentas movidas por baterias recarregáveis, proporcionando maior mobilidade e flexibilidade em comparação com as parafusadeiras com fio. Elas são muito usadas em trabalhos externos, locais de difícil acesso ou onde a mobilidade é uma preocupação. As

parafusadeiras a bateria é popular em setores como a construção civil, montagem de móveis e manutenção residencial, devido à sua portabilidade e versatilidade (COSTA et al, 2019).

Parafusadeiras pneumáticas: as parafusadeiras pneumáticas são ferramentas movidas por ar comprimido que oferecem alta potência e velocidade de rotação. Elas são muito usadas em indústrias que requerem torque elevado, como a automotiva, aeroespacial e de fabricação de máquinas pesadas. As parafusadeiras pneumáticas são apreciadas por sua durabilidade, confiabilidade e capacidade de manusear parafusos de grande tamanho e resistência (SILVA et al, 2020).

Além da distinção entre parafusadeiras eletrônicas, a bateria e pneumáticas, existem diferentes tipos de parafusadeiras, como as parafusadeiras retas, parafusadeiras angulares e parafusadeiras de impacto. Cada tipo possui características e aplicações específicas. As parafusadeiras retas são adequadas para trabalhos em espaços estreitos, enquanto as parafusadeiras angulares são usadas para alcançar parafusos em ângulos difíceis. Já as parafusadeiras de impacto são ideais para aplicações que exigem um torque elevado e rápido (SOUSA et al, 2021).

Essas ferramentas são essenciais em diversos setores industriais, proporcionando um aperto eficiente e preciso de parafusos. A escolha do tipo adequado de parafusadeira depende do ambiente de trabalho, da necessidade de mobilidade e da potência requerida.

3.3.4 Ferramenta de fixação eletrônica

As ferramentas de fixação eletrônica são soluções precisas e eficientes para apertar e soltar parafusos em diferentes aplicações industriais. Esses sistemas usam energia elétrica para acionar mecanismos que fornecem torque controlado para os parafusos. As ferramentas de fixação eletrônica usam motores elétricos alimentados por corrente contínua para gerar torque necessário para apertar ou soltar os parafusos. Esses sistemas são projetados com controle eletrônico que permite ajustar o torque de forma precisa, garantindo um aperto uniforme e consistente. As ferramentas de fixação eletrônica são capazes de monitorar e controlar o torque aplicado em tempo real, oferecendo maior precisão e confiabilidade no processo de fixação (CARVALHO et al, 2020).

As ferramentas de fixação eletrônica são formadas por diferentes

componentes que trabalham em conjunto para fornecer a força necessária para o aperto ou desaperto dos parafusos. Entre os principais componentes, destacam-se:

Motor elétrico: responsável por converter a energia elétrica em movimento rotacional para gerar o torque necessário. **Controlador eletrônico:** permite ajustar o torque e controlar o funcionamento do sistema. **Transmissão:** transfere o movimento do motor para a ponta de fixação do parafuso. **Ponta de fixação:** adaptada para o tipo específico de parafuso a ser fixado ou solto.

A escolha adequada dos componentes e sua configuração são fundamentais para garantir a eficiência e o desempenho das ferramentas de fixação eletrônica (OLIVEIRA et al, 2018).

As ferramentas de fixação eletrônica são amplamente usadas em diversas indústrias que requerem um aperto preciso e consistente de parafusos. Entre as principais aplicações, podemos destacar a indústria automotiva, aeroespacial, eletrônica, eletrodomésticos e montagem de produtos em geral. Esses sistemas oferecem maior produtividade, redução de esforço físico, além de garantir a qualidade e a segurança nos processos de fixação (SANTOS et al, 2019).

A utilização desses sistemas traz benefícios significativos em termos de produtividade, qualidade e segurança nas aplicações industriais.

3.4 PRINCÍPIO BÁSICO DE TORQUE

No contexto industrial, o termo "torque" é comumente utilizado para descrever o momento de força aplicado a um objeto, onde a variável envolvida é muitas vezes referida como braço de alavanca. Para que um objeto realize um movimento de rotação, é necessário que uma força atue sobre ele. Essa força é capaz de fazer com que o objeto siga uma trajetória circular ou, simplesmente, gire. Esse movimento de rotação pode ser quantificado por uma grandeza física chamada torque. Para compreender claramente essa grandeza física, é necessário entender os fenômenos da cinemática rotacional e o papel desempenhado pelo momento de força, que possui uma correspondência direta com a Segunda Lei de Newton, como demonstrado na Equação 1.

(1)

Onde:

F = força N (Newton)

m = massa (Kg)

a = aceleração (m/s^2)

(2)

Onde:

= momento de força

= aceleração angular

= inércia rotacional

Embora a variável massa não seja explicitamente presente na Equação 2, ela está intrinsecamente relacionada à propriedade de um sistema em rotação. Isso ocorre devido ao momento de inércia (I), que quantifica a distribuição de massa do objeto em relação ao eixo de rotação. Quanto maior o momento de inércia de um objeto em relação a um eixo, maior será a sua resistência à variação da aceleração angular. Em outras palavras, objetos com maior massa distribuída distante do eixo de rotação serão mais difíceis de acelerar angularmente. Objetos que experimentam movimento angular estão sujeitos à inércia rotacional I , que pode ser representada de forma escalar. A magnitude escalar está relacionada à dificuldade ou facilidade em alterar a velocidade de rotação de um objeto em relação a um eixo pré-estabelecido. Quanto maior for a distância da massa ao eixo de rotação, mais difícil será alterar a velocidade rotacional do sistema (VIALTA, 2018).

Matematicamente, o momento de inércia pode ser representado pela Equação 3.

(3)

Onde:

I = inercia rotacional ($kg.m^2$)

m = massa (Kg)

r = raio (m)

A inércia rotacional de um corpo, ou objeto, está diretamente relacionada à sua geometria, uma vez que está vinculada ao seu centro de massa. Nas Equações

4 e 5, são determinadas as inércias rotacionais para um cilindro sólido com raio r girando em torno de um eixo central, e para um cilindro oco com raios internos r_i e externos r_o , respectivamente:

(4)

(5)

Formas geométricas complexas podem ser construídas através da combinação de formas simples, para as quais já se conhece a equação para a inércia rotacional. Ao combinar as inércias rotacionais das formas individuais, é possível determinar a inércia rotacional do objeto composto. O torque é uma grandeza física vetorial que quantifica a força aplicada a um objeto e que resulta em um movimento de rotação, fazendo com que o objeto gire em torno de um ponto central chamado ponto de pivô. A distância entre o ponto de pivô e o ponto onde a força atua é conhecida como braço do momento, representado por r (JUNIOR, 2018).

Nos casos em que o ângulo é de noventa graus, considera-se que o seno do ângulo Teta igual a um. Portanto, a equação 6 do torque pode ser expressa como:

(6)

Nas indústrias para a manufatura de parafusos considera-se um fator de **Torque (k)**, sendo assim a Equação 6 pode ser escrita como:

(7)

As unidades de medida do Torque são definidas pelo produto da distância com a força aplicada em Newton x metro conforme Sistema Internacional. O Torque aplicado em elementos de fixação com parafusos tem como objetivo gerar força tensora suficiente conforme a necessidade de cada projeto (VIALTA, 2018).

3.4.1 Tipos de torque

O Torque ou momento da força pode ser medido de forma dinâmica durante o aperto do parafuso, ou de forma estática, por meio da verificação com um torquímetro após o aperto (GARCIA, 2011). Assim, podem-se distinguir os diferentes tipos de torque.

Torque Dinâmico: é o valor máximo de Torque calculado em tempo real empregando-se parafusadeiras eletrônicas ou elétricas que possuem controle de torque durante a operação de aperto. Durante essa etapa são registrados os valores obtidos, sendo somente monitorado. **Torque Estático:** O Torque Estático é empregado como Torque de verificação, em processos de auditoria de Setup de Torques, correspondendo ao valor de aperto necessário para dar início à quebra de uma fixação já efetuada, também chamado de Torque Residual. **Torque Falso:** Este evento pode ocorrer se houver um fator agravante, como uma rosca extremamente deformada onde pode ocorrer um pico de Torque (VIALTA, 2018).

3.5 CONFIABILIDADE HUMANA

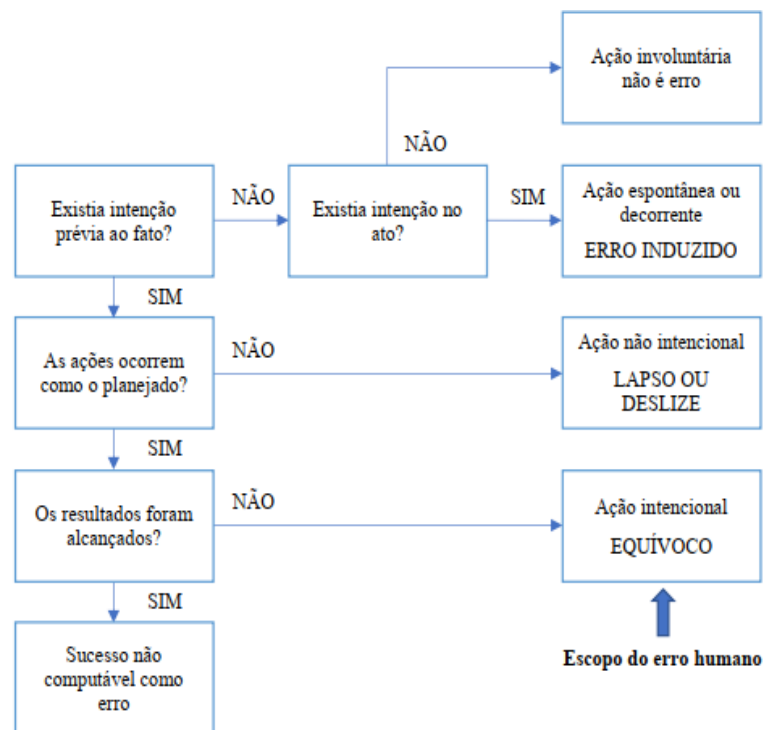
A confiabilidade humana é definida como a probabilidade de uma pessoa não falhar ao realizar uma ação solicitada, quando exigida, dentro de um determinado período de tempo, em condições ambientais controladas e com todos os recursos disponíveis para sua execução. Em trabalhos científicos, o tema da confiabilidade humana é frequentemente abordado com foco no erro humano, buscando compreender os aspectos psicológicos e cognitivos que estão por trás de um erro humano (CARA, 2019).

Uma área de pesquisa relacionada ao assunto é o desenvolvimento de instrumentos e métodos que possam de alguma forma prever, prevenir ou medir as probabilidades de ocorrência de erros, visando evitá-los. Isso pode incluir a medição da confiabilidade de um sistema por meio da aplicação de conhecimentos estatísticos em conjunto com psicologia, fisiologia, ergonomia e outras áreas. Um conjunto de conhecimentos e debates tem sido desenvolvido para compreender a complexidade e a predição do erro humano, desde a simples classificação de erros até o desenvolvimento de softwares baseados no desempenho humano e métodos de simulação. O erro humano é uma preocupação significativa para as empresas no ambiente corporativo, devido ao grande impacto que eles podem causar (perdas

materiais, financeiras e, em alguns casos, até mesmo perdas de vidas humanas). Decisões, atitudes e comportamentos organizacionais podem criar condições propícias para a ocorrência de acidentes (SILVA et al, 2017).

Para auxiliar na compreensão dos erros humanos, um esquema de classificação de erros foi desenvolvido, considerando as ações que levam a esses resultados, conforme apresentado na figura 2.

Figura 2 - Fluxograma para classificação de erros humanos



Fonte: Confiabilidade Humana (SILVA et al, 2017)

Como visto no fluxograma para classificação de erros humanos, de forma geral, é possível classificar os erros em três categorias distintas: **erros induzidos, lapsos ou deslizes e equívocos**.

Os erros induzidos são aqueles que ocorrem mesmo quando o operador executa corretamente uma sequência de atividades, porém, essas atividades são executadas fora do momento correto, devido às decisões tomadas pelo operador. Os lapsos ou deslizes referem-se a ações que não atingem o objetivo pretendido, como esquecer de acionar um comando, lapsos de memória, ou acionar um dispositivo semelhante, mas na ocasião errada, deslizes. Os equívocos são ações de descuidos que resultam em avaliações e diagnósticos errados por parte do operador. Esses equívocos podem estar relacionados ao conhecimento, aos objetivos ou ao

raciocínio do operador (SILVA et al, 2017).

É crucial destacar que os fatores que influenciam o desempenho humano abrangem todos os elementos que afetam a confiabilidade humana. Esses fatores são essenciais para identificar possíveis incompatibilidades entre as limitações humanas e as condições de trabalho. Portanto, é de extrema importância considerar condições de trabalho devidamente projetadas e compatíveis com as necessidades, habilidades e limitações humanas, pois essas condições são determinantes para o desempenho humano e para a minimização de erros. De acordo com KANTOWITZ, 1983, os principais fatores que afetam o desempenho humano podem ser organizados em cinco categorias principais:

1. Fatores operacionais: objetivo do sistema, tempo de operação;
2. Fatores relacionados ao projeto: layout do sistema, tempo de operação;
3. Fatores relacionados com as tarefas: complexidade, tarefas múltiplas e simultâneas, alta carga de trabalho, etc.;
4. Fatores pessoais: treinamento, experiência, motivação, capacitação, fadiga, monotonia, ansiedade, medo, sexo, idade, peso, altura;
5. Fatores ambientais: temperatura, iluminação, vibração, umidade, etc.

Outros fatores também podem ocasionar erros humanos: excesso de tarefas cognitivas, manutenção irregular, prioridades conflitantes: Segurança x Produção, comunicação inadequada, procedimentos deficientes, sinalização inadequada, dentre outros fatores.

É fundamental compreender as causas que podem gerar ou influenciar falhas decorrentes de natureza humana. A análise de erros humanos parte do pressuposto de que existem seis categorias distintas relacionadas a esses equívocos inerentes à condição humana (YAMASHINA, 2009).

Entre as seis causas citam-se:

1. Fraqueza de processo;
2. Ferramentas e equipamentos;
3. Ambiente de trabalho;
4. Atitude e comportamento;
5. Desatenção e esquecimento;

6. Problemas pessoais.

Sendo assim, as falhas humanas são influenciadas por fatores individuais, tecnológicos e organizacionais (REASON, 1990).

3.6 O MÉTODO POKA YOKE

O termo "Poka Yoke" é de origem japonesa e sua etimologia significa "Poka" (erro) e "Yoke" (inadvertido). Inicialmente, o termo utilizado foi "Baka-Yoke", que em uma tradução direta significa "erro estúpido". No entanto, quando Shingo explicou esse termo na área produtiva, algumas mulheres se sentiram ofendidas e começaram a chorar. Como todos são propensos a cometer erros, inclusive os trabalhadores mais habilidosos, o termo foi alterado para "a prova de erros" para evitar ofensas e melhor representar a ideia por trás do conceito (LAZAREVIC et al., 2019).

Quando Shingeo Shingo visitou uma usina elétrica em Yamada, Japão. A empresa enfrentava um problema de falta de montagem de molas em interruptores. O problema ocorria quando o operador tentava pegar as molas em uma caixa grande e, em seguida, montá-las nos interruptores. A falta de colocação de todas as molas resultava em defeitos nos interruptores. A solução para o problema foi implementar uma pequena bandeja na frente do operador, na qual ele colocava as molas retiradas da caixa grande. Dessa forma, após o processo de montagem, se não sobrasse nenhuma mola na bandeja, significava que todas as molas haviam sido utilizadas na montagem do interruptor. (LAZAREVIC et al., 2019).

Faz parte da essência da condição humana cometer erros, e quando esses erros são cometidos por seres humanos durante processos de produção, frequentemente resultam em defeitos nos produtos, acarretando em custos significativos para a empresa devido a essas falhas de qualidade. (SHINGO, 1989)

Esses defeitos podem surgir devido a falhas no treinamento, no desenvolvimento do produto sem considerar os aspectos humanos na montagem ou devido a uma gestão de pessoas inadequada. Culpar as pessoas envolvidas não é suficiente para eliminar os defeitos nos processos de manufatura. Uma abordagem para lidar com esses tipos de falhas é a utilização de um dispositivo chamado Poka Yoke, também conhecido como prova de erros. (LAZAREVIC et al., 2019).

Conforme descrito por SHINGO, 1989 "é necessário respeitar a capacidade

cognitiva humana”. Os dispositivos de controle Poka Yoke podem ser implementados na forma de gabaritos, pinos, travas ou sensores, enquanto os dispositivos de advertência Poka Yoke podem ser na forma de alertas visuais, como luzes, ou alertas sonoros, como campainhas. (SHINGO, 1989)

Um sistema Poka Yoke pode ser dividido em três métodos principais: método de contato, método por valor fixo e método por etapa de movimento. No método de contato, as anormalidades físicas são detectadas por meio de variações na forma, tamanho ou cor de um produto específico. Essas anormalidades são identificadas independentemente de haver ou não contato direto entre o produto e o dispositivo. (SHINGO, 1989)

O método por valor fixo detecta erros quando um número específico de movimentos não é repetido. Esse método é comumente utilizado em situações em que a mesma atividade é repetida várias vezes. Já o método por etapa de movimento é baseado em um procedimento padrão, e caso alguma etapa seja esquecida, o dispositivo detectará a anomalia. Esse método é utilizado em situações em que o operador precisa executar várias operações distintas (LAZAREVIC et al., 2019).

Como descrito por CHASE & STEWART, 1994 “As configurações de monitoramento podem ser classificadas em físicas, de sequenciamento, de agrupamento e de aprimoramento de informações”.

Segundo HINCKLEY & BARKAN, 1996 “existem três fontes de defeitos: variações de condições fora de tolerância, erros cometidos por humanos ou máquinas e complexidade do produto e do processo”.

Conforme SHINGO, 1989 "Poka Yoke não é um sistema de inspeção, mas sim um método de detecção de defeitos ou erros que pode ser utilizado para cumprir a função de inspeção".

Uma alternativa a fim de minimizar falhas operacionais é a aplicação da metodologia poka-yoke em processos produtivos. Um dispositivo Poka Yoke na linha de produção desempenha a função de interromper todo o sistema (como máquinas e equipamentos) ao sinalizar imediatamente a detecção de qualquer defeito no produto. Essa abordagem visa prevenir problemas, evitando sua ocorrência ou identificando-os imediatamente após o evento, sendo, portanto, categorizada como uma Função Reguladora ou Mecanismo de Detecção (CONSUL, 2015).

Para escolher o melhor método de controle de qualidade, é importante

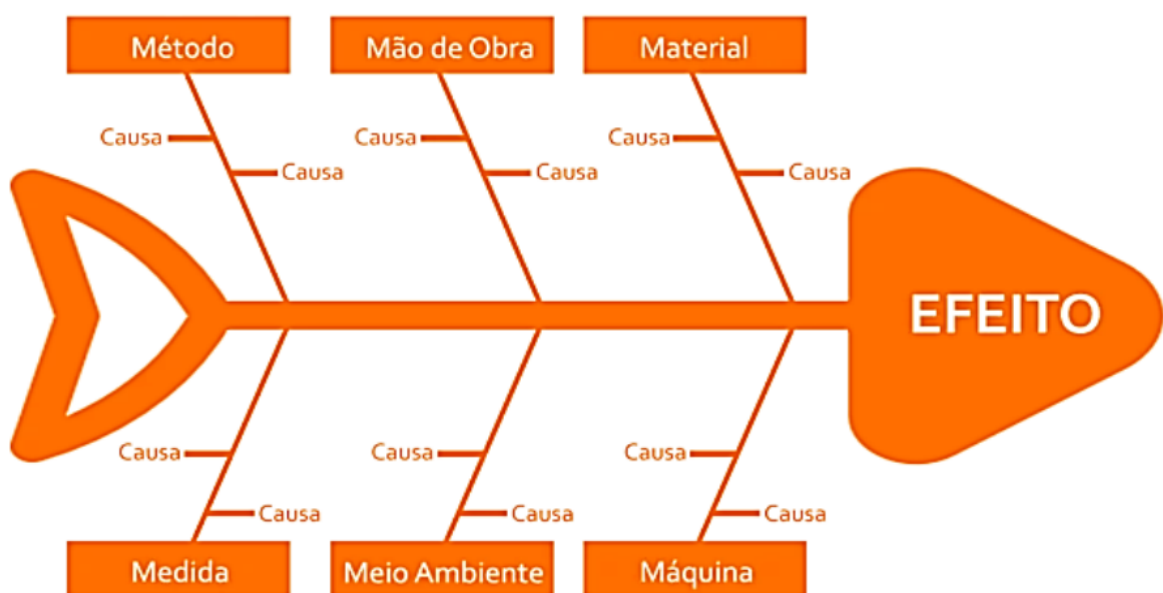
considerar o sistema de inspeção mais adequado e, em seguida, determinar a função a ser executada, levando em conta os métodos Poka Yoke existentes: contato, valor fixo ou etapa de movimento. Para alcançar uma taxa de falhas próxima de zero, é necessário implementar uma inspeção que evite a ocorrência de defeitos, fornecendo um feedback sobre os problemas de qualidade no momento em que ocorrem. As informações geradas devem ser comunicadas à produção, permitindo que os defeitos sejam tratados rapidamente. Além disso, todos os dados gerados deverão ser utilizados no futuro para aprimorar o controle do processo (LAZAREVIC et al., 2019).

3.7 O DIAGRAMA DE ISHIKAWA

O Diagrama de Ishikawa é uma ferramenta de gestão e qualidade capaz de viabilizar a identificação e análise das causas potenciais da variação de um processo, explorando as interações entre essas causas. Devido à sua eficácia na organização de processos, essa ferramenta é extensivamente empregada para analisar questões organizacionais (DE LEMOS,2019).

Utiliza-se como um guia durante a avaliação no diagrama de Ishikawa a representação gráfica de uma espinha de peixe (ver figura 3) para relacionar a causa e o efeito.

Figura 3 - Representação Gráfica - Diagrama de Ishikawa



Fonte: Silva (2018)

O Diagrama de Ishikawa, também conhecido como Diagrama de 6M, recebe essa denominação devido aos seus seis componentes ou segmentos principais, que são os seguintes:

Método: Refere-se aos procedimentos adotados pelas organizações para realizar pesquisas, selecionar variáveis mensuráveis e empregar técnicas específicas no trabalho. O método representa a maneira como as atividades são planejadas. (DE LEMOS,2019).

Mão de obra: Envolve as pessoas que participam do processo, analisando fatores como competência, motivação, saúde e educação. Mão-de-obra aborda problemas relacionados à atuação dos profissionais humanos, incluindo imprudência, falta de qualificação ou competência. (DANTAS, 2022).

Material: Relaciona-se com as matérias-primas ou insumos utilizados no processo. Diversos fatores são considerados, como qualidade da matéria-prima, fornecedores, condições de recebimento e propriedades. Material refere-se aos problemas causados por componentes ou matéria-prima físicos ou químicos. (AEVO, 2021).

Medida: Diz respeito aos parâmetros utilizados no processo, incluindo variáveis como temperatura, tempo, população amostral, peso, sexo e dimensões. Medida abrange o controle e monitoramento dos processos. (DANTAS, 2022).

Meio ambiente: Considera a localização do processo e suas características, como limpeza, iluminação, espaço físico, umidade, relevo e clima. Meio ambiente refere-se a problemas relacionados ao ambiente interno (como falta de espaço e ruídos) e externo (como poluição e instabilidade climática) das empresas. (AEVO, 2021).

Máquina: Envolve o hardware utilizado no processo. A medição correta, manutenção, depreciação, programação e uso das máquinas são examinados. Máquina corresponde aos problemas decorrentes de falhas em equipamentos, seja por mau uso ou falta de manutenção, por exemplo (DANTAS, 2022).

Os seis tópicos representam as causas fundamentais de todos os problemas, ou seja, são elementos essenciais em cada causa para a identificação do efeito final que precisa ser resolvido. Ao determinar em qual categoria de causa o problema se enquadra, torna-se mais fácil traçar o caminho em direção às soluções (AEVO, 2021).

4 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Neste item será realizado o desenvolvimento metodológico com a finalidade de atingir os objetivos a que este trabalho se propõe. Para isso, serão tomadas como base, coletas de dados no local de desenvolvimento do trabalho, análises de dados e análises econômicas, fluxogramas e programação da ferramenta de fixação.

4.1 LOCAL DE ESTUDO

O presente estudo foi desenvolvido em uma empresa do Polo Industrial de Manaus com mais de 30 anos de atuação na cidade. A empresa em questão é uma das referências no mercado de linha branca no Brasil e no Mundo.

4.2 IDENTIFICAÇÃO DE CAUSAS DE FALHAS OPERACIONAIS

Para a identificação das falhas ocorridas na linha de produção, categorizando-as em seis origens de causa, Método, Medida, Máquina, Mão-de-Obra, Meio ambiente, Material ou Mão de Obra com auxílio de um diagrama de Ishikawa. Os dados coletados serão analisados por meio da curva A, B, C ou Pareto para o entendimento da criticidade dos defeitos. Em seguida, após a identificação das falhas operacionais, utilizara-se a ferramenta de investigação para causa raiz de erros humanos, desenvolvida por Yamashina. A identificação da causa raiz é feita a partir de aplicação direta de checklist em entrevistas com os operadores e por meio da observação direta.

4.3 DESENVOLVIMENTO DE OPERAÇÕES EM ESTÁGIOS

Atividade de montagens manuais ou semi-manuais possuem desafios voltados a se garantir uma boa reprodutibilidade e repetitividade da atividade. Para tal será utilizado o método Poka Yoke “Step Motion”, aplicando este conceito por meio da configuração dos processos de fixação em estágios com parâmetros fixos por etapa, com o objetivo de tornar a sequência de atividades clara e visual a operação. Será utilizado o software padrão do fabricante da ferramenta, com o intuito de minimizar erros durante as operações de fixação.

4.4 TESTES E VALIDAÇÃO

Após a configuração de toda a parte estrutural da linha e instalação do equipamento, pretende-se realizar os testes da ferramenta em um ambiente controlado. E assim avaliar a eficácia do sistema em termos de redução de falhas operacionais, melhoria da qualidade do produto final, eficiência do processo e impacto nos custos e produtividade. Coletar feedback dos operadores e realizar os ajustes necessários para a implementação da ferramenta.

5 RESULTADOS

5.1 IDENTIFICAÇÃO DE CAUSAS DE FALHAS OPERACIONAIS

Os dados para esta pesquisa foram adquiridos em uma empresa localizada no Polo Industrial de Manaus. No decorrer do ano de 2022, mais especificamente de janeiro a julho, a coleta de dados foi conduzida por meio do registro de informações em um banco de dados abrangendo defeitos de qualidade identificadas em uma linha de produção de eletrodomésticos. A coleta foi realizada em cooperação com a equipe de produção, visando análises subsequentes por parte da equipe de engenharia. O quadro 1 abaixo compreende as seguintes informações: **Registro** (informações de data e hora da ocorrência do problema), **Linha** (local onde é realizada a produção do produto), **Estação de Trabalho** (posto de trabalho ou posto de montagem dos subsistemas do produto), **Item** (a peça a qual é manufatura em uma determinada estação de trabalho) e **Ocorrência** (defeito de qualidade).

Quadro 1 - Registro de defeitos de qualidade em linha de manufatura

Registro	Linha	Estação de Trabalho	Item	Ocorrência
2022-01-03 13:43:07	A	P.1	ITEM AE	MAL POSICIONADO
2022-01-03 13:44:27	A	P.4	ITEM AF	CONEXAO SOLTA
2022-01-03 13:55:49	A	P.13	ITEM D	RISCADO
2022-01-03 14:11:24	A	P.1	ITEM AE	MAL POSICIONADO
2022-01-03 14:19:01	A	P.3	ITEM K	MAL POSICIONADO
2022-01-03 15:57:18	A	P.13	ITEM D	RISCADO
2022-01-04 07:40:45	A	P.11	ITEM V	MÁ FIXAÇÃO
2022-01-04 07:41:20	A	P.11	ITEM V	MÁ FIXAÇÃO
2022-01-04	A	P.12	ITEM Q	MÁ FIXAÇÃO

07:53:19				
2022-01-04 08:06:11	A	P.12	ITEM Q	MÁ FIXAÇÃO
2022-01-04 08:32:29	A	P.12	ITEM Q	MÁ FIXAÇÃO
2022-01-03 13:43:07	A	P.3	ITEM K	MAL POSICIONADO
2022-01-03 13:44:27	A	P.4	ITEM AF	CONEXAO SOLTA
2022-01-03 13:55:49	A	P.2	ITEM F	NIVEL BAIXO
2022-01-03 14:11:24	A	P.13	ITEM D	RISCADO
2022-01-03 14:19:01	A	P.13	ITEM D	FALTA DE PARAFUSO
2022-01-03 15:57:18	A	P.12	ITEM Q	MÁ FIXAÇÃO

Fonte: Elaborado pelo autor

No decorrer do intervalo de **janeiro a julho de 2022**, foram examinados um total de mil trezentos e setenta e oito registros relacionados a questões de qualidade que tiveram origem na **linha A**, objeto de estudo.

A partir dos dados coletados faz-se necessário categorizar os modos de falha identificados na linha a fim de se mapear a possível causa utilizando-se o método de análise diagrama de Ishikawa.

A partir da aplicação do método de Ishikawa identificou-se as possíveis causas para cada ocorrência, conforme mostrado no quadro 2 abaixo:

Quadro 2 - Análise 6M linha A

Registro	Linha	Estação de Trabalho	Item	Ocorrência	Análise 4M
2022-01-03 13:43:07	A	P.1	ITEM AE	MAL POSICIONADO	MÃO-DE-OBRA
2022-01-03 13:44:27	A	P.4	ITEM AF	CONEXAO SOLTA	MÃO-DE-OBRA
2022-01-03 13:55:49	A	P.13	ITEM D	RISCADO	MÉTODO
2022-01-03 14:11:24	A	P.1	ITEM AE	MAL POSICIONADO	MÃO-DE-OBRA
2022-01-03 14:19:01	A	P.3	ITEM K	MAL POSICIONADO	MÃO-DE-OBRA
2022-01-03					MÉTODO

15:57:18	A	P.13	ITEM D	RISCADO	
2022-01-04 07:40:45	A	P.11	ITEM V	MÁ FIXAÇÃO	MÃO-DE-OBRA
2022-01-04 07:41:20	A	P.11	ITEM V	MÁ FIXAÇÃO	MÃO-DE-OBRA
2022-01-04 07:53:19	A	P.12	ITEM Q	MÁ FIXAÇÃO	MÁQUINA
2022-01-04 08:06:11	A	P.12	ITEM Q	MÁ FIXAÇÃO	MÁQUINA
2022-01-04 08:32:29	A	P.12	ITEM Q	MÁ FIXAÇÃO	MÁQUINA
2022-01-03 13:43:07	A	P.3	ITEM K	MAL POSICIONADO	MÃO-DE-OBRA
2022-01-03 13:44:27	A	P.4	ITEM AF	CONEXAO SOLTA	MÃO-DE-OBRA
2022-01-03 13:55:49	A	P.2	ITEM F	NIVEL BAIXO	MATERIAL
2022-01-03 14:11:24	A	P.13	ITEM D	RISCADO	MÉTODO
2022-01-03 14:19:01	A	P.13	ITEM D	FALTA DE PARAFUSO	MÃO-DE-OBRA
2022-01-03 15:57:18	A	P.12	ITEM Q	MÁ FIXAÇÃO	MÁQUINA

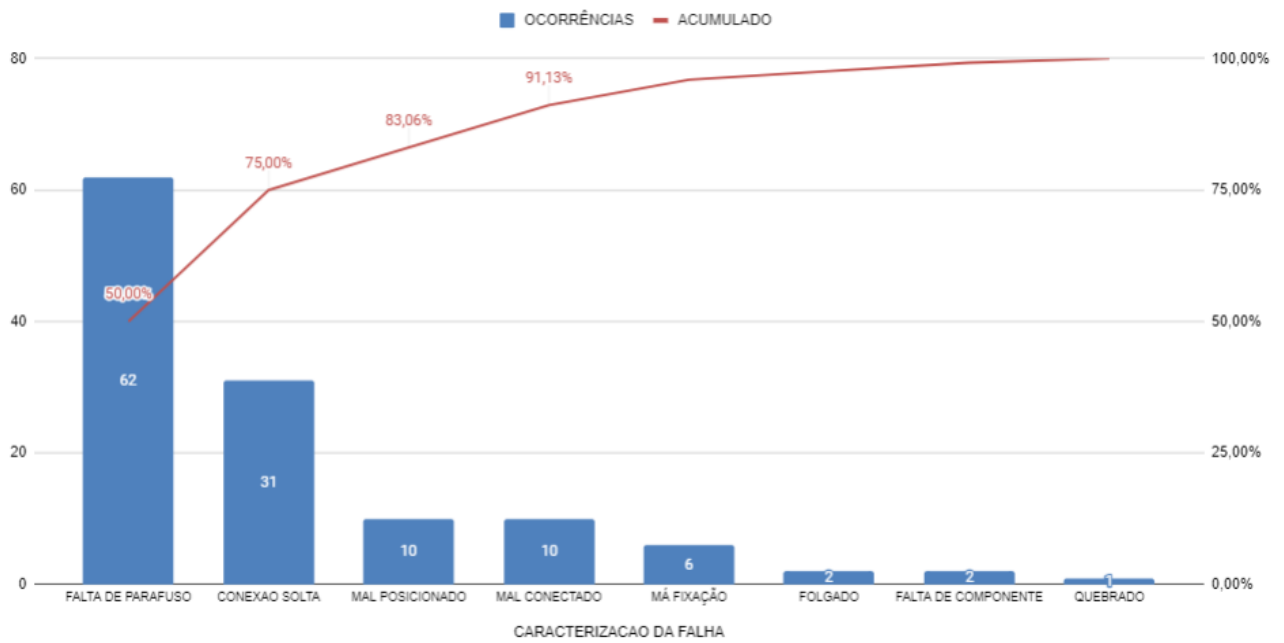
Fonte: Elaborado pelo autor

As categorizações, conforme mencionado anteriormente, baseiam-se na aplicação do diagrama de Ishikawa para orientar as possíveis causas. A identificação das prováveis causas foi realizada por meio de observação direta na linha produtiva, levando em consideração as categorias presentes na análise 6M.

Após categorizar as prováveis causas, foi possível, por meio das ocorrências, obter uma visão do cenário do processo produtivo em relação às falhas de mão de obra. Optou-se por utilizar a curva A, B, C ou o gráfico de Pareto para a visualização.

O gráfico destacado (ver figura 4) abaixo apresenta os principais modos de falha relacionados à mão-de-obra na linha A. Analisando a ocorrência, a frequência e o percentual acumulado das ocorrências, o objetivo é estabelecer a proporção 80/20 para priorizar a identificação das falhas mais significativas.

Figura 4 - Defeitos de mão-de-obra

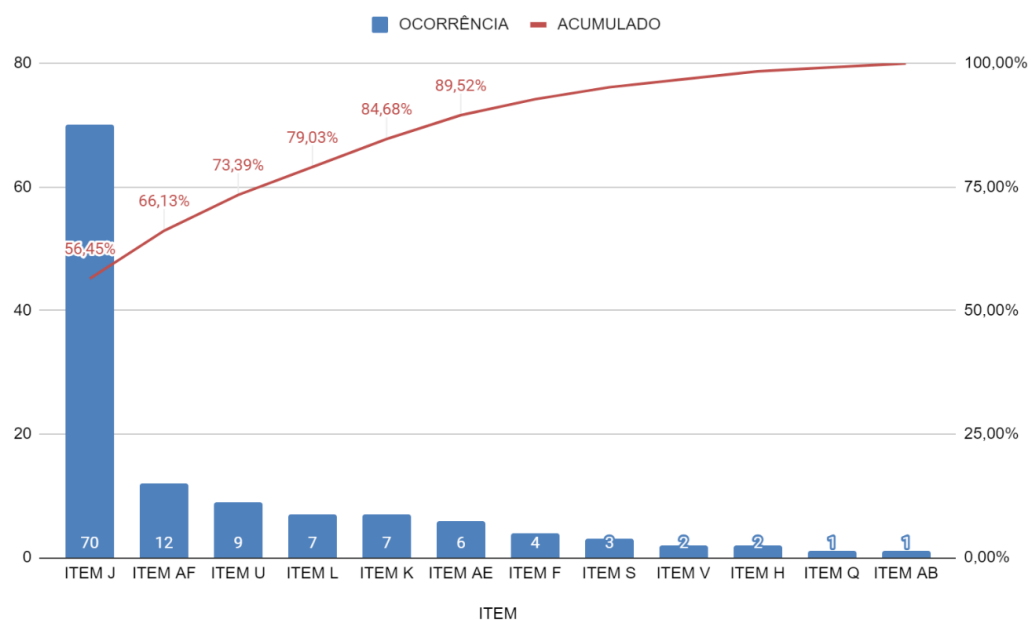


Fonte: Elaborado pelo autor

O gráfico acima evidencia os principais itens de montagem afetados pelas falhas de origem operacional na linha A.

O gráfico apresentado na figura 5 abaixo destaca os principais componentes de montagem impactados por falhas relacionadas à mão-de-obra na linha A. Ao analisar o item afetado, juntamente com a frequência e o percentual acumulado das ocorrências, o intuito é estabelecer a proporção de 80/20, visando priorizar os itens mais afetados.

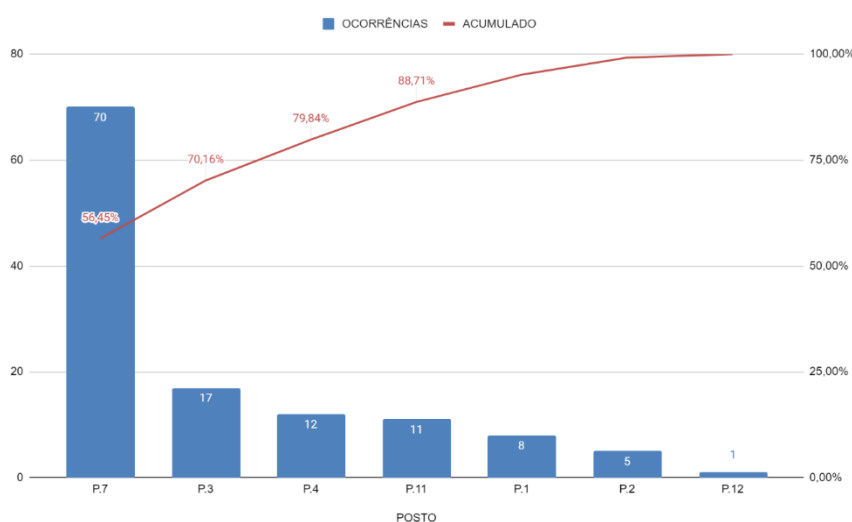
Figura 5 - Itens afetados por falhas de mão-de-obra



Fonte: Elaborado pelo autor

O gráfico destacado na figura 6 evidencia os principais postos de trabalho com mais falhas de mão-de-obra na linha A. Analisando o posto afetado, a frequência e o percentual acumulado das ocorrências, o objetivo é estabelecer a proporção 80/20 para priorizar os itens mais afetados.

Figura 6 - Postos afetados por falhas de mão-de-obra



Fonte: Elaborado pelo autor

Com base nos dados e observações na linha produtiva, foi possível constatar que a **falta de parafuso** é a principal ocorrência entre as falhas operacionais. Este evento impacta o **item J** e ocorre no posto de trabalho **P7**.

É fundamental compreender as causas que podem gerar ou influenciar falhas decorrentes de natureza humana. A análise de erros humanos parte do pressuposto de que existem seis categorias distintas relacionadas a esses equívocos inerentes à condição humana (YAMASHINA, 2009).

Entre as seis causas citam-se:

7. Fraqueza de processo;
8. Ferramentas e equipamentos;
9. Ambiente de trabalho;
10. Atitude e comportamento;
11. Desatenção e esquecimento;
12. Problemas pessoais.

Para esse propósito, utilizou-se um checklist como ferramenta de investigação, na qual o entrevistador deve avaliar a presença ou ausência de cada um dos itens mencionados anteriormente. Ao assinalar com as categorias "Sim" ou "Não", conforme o resultado obtido, é viável determinar a causa raiz do erro humano associado à natureza humana identificada.

As entrevistas foram realizadas separadamente com os operadores de linha (**Operador A, B e C**). No checklist (Anexo A), é possível visualizar os questionamentos a serem feitos durante a entrevista referentes às seis causas possíveis.

O checklist presente no quadro 3 abaixo, de acordo com as respostas obtidas em entrevista com operador A na estação de trabalho P7 possuíam duas possíveis causas para os erros humanos gerados nessa estação. A primeira possível causa está relacionada a uma fraqueza de processo e a outra ao ambiente de trabalho.

Quadro 3 - Checklist de análise de causa raiz de erro humano - Operador A

Entrevistador:	Supervisor de linha	Data:	12/05/2022	Análise OFFLINE												
Entrevistado:	Operador A (Titular)			Perguntas específicas		Contra-medidas										
Cargo:	Operador de produção I			Respostas		Respostas										
Categoria de causa raiz	Checklist de erro humano - Análise ONLINE			Respostas		Categoria de causa raiz	Respostas	Poka Yoke / Error Proofing	Kaizen	LPP	SOP/SMP	Ajuda visual	Workplace Organization	Envolvimento de Operários	Assesmentamento	
Fraqueza de processo	1. As diretrizes para a realização desta tarefa são concisas, de fácil compreensão e apresentadas de maneira visualmente clara?	Sim		O processo é robusto?	Não											
	2. A conclusão desta tarefa tem sido simples de realizar?	Sim														
	3. É possível realizar esta tarefa em um ritmo constante e sustentável, evitando fadiga excessiva?	Não				x	x							x		
Ferramentas e equipamentos	1. As ferramentas ou equipamentos para esta tarefa estão em boas condições?	Sim		Ausência de problemas em ferramentas e equipamentos?	Sim											
	2. Essas ferramentas são adequadas e pertinentes para a realização desta tarefa?	Sim														
	3. As ferramentas sempre estão disponíveis para esta atividade?	Sim														
Ambiente de trabalho	1. A ergonomia está boa para executar a atividade?	Não		O ambiente de trabalho é agradável?	Não			x								
	2. A disposição da área de trabalho está devidamente organizada?	Não												x		
	3. O ambiente proporciona condições adequadas para a execução da tarefa? Isso inclui aspectos como iluminação, temperatura, níveis de ruído, limpeza, entre outros.	Não													x	
Atitude e comportamento	1. Existe motivação por parte do operador para executar a tarefa?	Sim		Inexistência de problemas relacionados a atitude e comportamento?	Sim											
	2. A execução da tarefa seguiu o processo estabelecido, sem o uso de atalhos ou omissão de etapas?	Sim														
	3. O operador encontrava-se concentrado no momento em que ocorreu o erro?	Sim														
Desatenção e esquecimento	1. Esta tarefa pode ser realizada de forma a evitar que a repetição resulte em distração ou falta de atenção?	Sim		Não há problemas no cumprimento das instruções de trabalho?	Sim											
	2. O operador estava livre de distração ou interrupção quando o erro aconteceu?	Sim														
	3. O operador estava isento de fatores que pudessem, de alguma maneira, influenciar sua decisão?	Sim														
Problemas Pessoais	1. O operador estava se sentindo bem quando desempenhou a tarefa?	Sim		Ausência de problemas pessoais?	Sim											
	2. Ausência de problemas pessoais que possam impactar a tarefa?	Sim														
	3. A dinâmica da equipe está condizente com a tarefa?	Sim														

Fonte: Adaptado de Yamashina (2009)

O checklist presente no quadro 4 abaixo, de acordo com as respostas obtidas em entrevista com operador B na estação de trabalho P7 possuíam duas possíveis causas para os erros humanos gerados nessa estação. A primeira possível causa

está relacionada a uma fraqueza de processo e a outra ao ambiente de trabalho.

Quadro 4 - Checklist de análise de causa raiz de erro humano - Operador B

Entrevistador:	Supervisor de linha	Data:	12/05/2022	Análise OFFLINE										
Entrevistado:	Operador B (Reserva)			Perguntas específicas	Contramedidas									
Cargo:	Líder de produção					Poka Yoke / Error Proofing	Kaizen	LPP	SOP/SMP	Ajuda visual	Workplace Organization	Entorno de Trabalho	Acompanhamento	
Categoria de causa raiz	Checklist de erro humano - Análise ONLINE			Respostas	Categoria de causa raiz	Respostas								
Fraqueza de processo	1. As diretrizes para a realização desta tarefa são concisas, de fácil compreensão e apresentadas de maneira visualmente clara?	Sim		O processo é robusto?	Não									
	2. A conclusão desta tarefa tem sido simples de realizar?	Sim												
	3. É possível realizar esta tarefa em um ritmo constante e sustentável, evitando fadiga excessiva?		Não			x	x					x		
Ferramentas e equipamentos	1. As ferramentas ou equipamentos para esta tarefa estão em boas condições?	Sim		Ausência de problemas em ferramentas e equipamentos?	Sim									
	2. Essas ferramentas são adequadas e pertinentes para a realização desta tarefa?	Sim												
	3. As ferramentas sempre estão disponíveis para esta atividade?	Sim												
Ambiente de trabalho	1. A ergonomia está boa para executar a atividade?		Não	O ambiente de trabalho é agradável?	Não		x					x		
	2. A disposição da área de trabalho está devidamente organizada?		Não										x	
	3. O ambiente proporciona condições adequadas para a execução da tarefa? Isso inclui aspectos como iluminação, temperatura, níveis de ruído, limpeza, entre outros.		Não										x	
Atitude e comportamento	1. Existe motivação por parte do operador para executar a tarefa?	Sim		Inexistência de problemas relacionados a atitude e comportamento?	Sim									
	2. A execução da tarefa seguiu o processo estabelecido, sem o uso de atalhos ou omissão de etapas?	Sim												
	3. O operador encontrava-se concentrado no momento em que ocorreu o erro?	Sim												
Desatenção e esquecimento	1. Esta tarefa pode ser realizada de forma a evitar que a repetição resulte em distração ou falta de atenção?	Sim		Não há problemas no cumprimento das instruções de trabalho?	Sim									
	2. O operador estava livre de distração ou interrupção quando o erro aconteceu?	Sim												
	3. O operador estava isento de fatores que pudessem, de alguma maneira, influenciar sua decisão?	Sim												
Problemas Pessoais	1. O operador estava se sentindo bem quando desempenhou a tarefa?	Sim		Ausência de problemas pessoais?	Sim									
	2. Ausência de problemas pessoais que possam impactar a tarefa?	Sim												
	3. A dinâmica da equipe está condizente com a tarefa?	Sim												

Fonte: Adaptado de Yamashina (2009)

O checklist presente no quadro 5 abaixo, de acordo com as respostas obtidas em entrevista com operador C na estação de trabalho P7 possuíam duas possíveis causas para os erros humanos gerados nessa estação. A primeira possível causa está relacionada a uma fraqueza de processo e a outra ao ambiente de trabalho. O operador C apresentou os resultados mais negativos para as perguntas relacionadas a esses dois tópicos, citando negativamente para todas as perguntas referentes a fraqueza de processo e ambiente de trabalho.

Quadro 5 - Checklist de análise de causa raiz de erro humano - Operador C

Entrevistador:		Supervisor de linha	Data: 12/05/2022		Análise OFFLINE								
Entrevistado:		Operador C (Reserva)			Perguntas específicas	Contramedidas							
Cargo:		Operador de produção I											
Categoria de causa raiz	Checklist de erro humano - Análise ONLINE	Respostas	Categoria de causa raiz	Respostas	Poka Yoke / Error Proofing	Kaizen	LPP	SOP/SMP	Ajuda visual	Workplace Organization	Eliminação de barreiras	Aplicação de melhorias	
Fraqueza de processo	1. As diretrizes para a realização desta tarefa são concisas, de fácil compreensão e apresentadas de maneira visualmente clara?	Não	O processo é robusto?	Não	x	x	x	x	x	x			
	2. A conclusão desta tarefa tem sido simples de realizar?	Não			x	x			x	x			
	3. É possível realizar esta tarefa em um ritmo constante e sustentável, evitando fadiga excessiva?	Não			x	x					x		
Ferramentas e equipamentos	1. As ferramentas ou equipamentos para esta tarefa estão em boas condições?	Sim	Ausência de problemas em ferramentas e equipamentos?	Sim									
	2. Essas ferramentas são adequadas e pertinentes para a realização desta tarefa?	Sim											
	3. As ferramentas sempre estão disponíveis para esta atividade?	Sim											
Ambiente de trabalho	1. A ergonomia está boa para executar a atividade?		O ambiente de trabalho é agradável?			x					x		
	2. A disposição da área de trabalho está devidamente organizada?	Não									x		
	3. O ambiente proporciona condições adequadas para a execução da tarefa? Isso inclui aspectos como iluminação, temperatura, níveis de ruído, limpeza, entre outros.	Não									x		
Atitude e comportamento	1. Existe motivação por parte do operador para executar a tarefa?	Sim	Inexistência de problemas relacionados a atitude e comportamento?	Sim								Aplicar Formulário de Herca Avançado	
	2. A execução da tarefa seguiu o processo estabelecido, sem o uso de atalhos ou omissão de etapas?	Sim											
	3. O operador encontrava-se concentrado no momento em que ocorreu o erro?	Sim											
Desatenção e esquecimento	1. Esta tarefa pode ser realizada de forma a evitar que a repetição resulte em distração ou falta de atenção?	Sim	Não há problemas no cumprimento das instruções de trabalho?	Sim								Aplicar Formulário de Herca Avançado	
	2. O operador estava livre de distração ou interrupção quando o erro aconteceu?	Sim											
	3. O operador estava isento de fatores que pudessem, de alguma maneira, influenciar sua decisão?	Sim											
Problemas Pessoais	1. O operador estava se sentindo bem quando desempenhou a tarefa?	Sim	Ausência de problemas pessoais?	Sim								Aplicar Formulário de Herca Avançado	
	2. Ausência de problemas pessoais que possam impactar a tarefa?	Sim											
	3. A dinâmica da equipe está condizente com a tarefa?	Sim											

Fonte: Adaptado de Yamashina (2009)

Conforme evidenciado nos quadros associadas aos operadores A, B e C, é factível discernir duas classes de razões para as falhas operacionais na linha A. Estas se categorizam como **Fraqueza de Processo e Ambiente de Trabalho**. O próprio formulário de Causa Raiz de Erro Humano (HERCA) já propõe algumas contramedidas a serem implementadas pela equipe de engenharia em relação à categoria de causa Fraqueza de Processo. A seguir, apresentam-se as principais contramedidas a serem adotadas:

1. Poka Yoke / Error Proofing;
2. Kaizen;
3. LPP (Lição ponto a ponto);
4. SOP/SMP (Procedimento operacional padrão/Procedimento de manutenção padrão);
5. Ajuda visual;
6. Workplace Organization (Organização de trabalho).

No que concerne à causa relacionada ao Ambiente de Trabalho, a medida principal deve ser implementada no que tange ao item organização do local de trabalho (workplace organization). O estudo não pretende aprofundar em melhorias de fluxos de trabalho, porém estudos de tempos e métodos e organização de trabalho devem ser considerados para uma melhor eficiência no processo produtivo.

5.2 DESENVOLVIMENTO DE OPERAÇÕES EM ESTÁGIOS

Uma característica a ser considerada é a peculiaridade do posto de trabalho

onde foi realizado o estudo. A atividade realizada no posto P.7, as etapas da atividade seguem a disposição do quadro abaixo:

Quadro 6 – Descrição das atividades do posto P.7

Elemento	Descrição
1	Posicionar item J1 na contra peça J
2	Pegar parafuso tipo Philips
3	Acoplar parafuso tipo Philips na parafusadeira linear 1
4	Realizar fixação dos parafusos tipo Philips (6 estágios de fixação)
5	Posicionar item J2 na contra peça J
6	Pegar parafuso tipo sextavado
7	Acoplar parafuso tipo sextavado na parafusadeira linear 2
8	Realizar fixação dos parafusos tipo sextavado (4 estágios de fixação)
9	Posicionar item J3 na contra peça J
10	Pegar parafusos tipo Philips
11	Acoplar parafuso tipo Philips na parafusadeira linear 3
12	Realizar fixação dos parafusos tipo Philips (4 estágios de fixação)
13	Conectar fixação do item J1
14	Disponibilizar conjunto J montado

Fonte: Elaborado pelo autor

Como evidenciado no quadro 6 acima, para a realização das fixações se utiliza três ferramentas de aperto com torques diferentes. Para fixação dos subitens J1, J2 e J3 são utilizadas três parafusadeiras do tipo linear pneumática (ver figura 7) com chaves do tipo ponta Philips e sextavada.

Figura 7 - Parafusadeira pneumática linear



Fonte: Puma Brasil S.A (2023)

Os parafusos utilizados para a fixação dos subitens J1, J2 e J3 são do tipo Philips e sextavado flangeado (ver figuras 8 e 9).

Figura 9 - Parafuso Philips



Fonte: Wurth 2023

Figura 8 - Parafuso Sextavado Flangeado



Fonte: Superdiesel 2023

Na montagem realizada no posto de trabalho P.7 para o item J são realizadas 14 fixações. O range de torque destas fixações é definido para cada parafusadeira conforme o quadro 7.

Quadro 7 - Parâmetros de Torque

Ferramenta	Parâmetro	Unidade
Parafusadeira linear 1	0,80 – 1,20	N.M
Parafusadeira linear 2	1,20 – 1,80	N.M
Parafusadeira linear 3	0,72 – 1,08	N.M

Fonte: Elaborado pelo autor

Uma estratégia para viabilizar a manipulação de mais de um tipo de torque em um processo é a utilização de parafusadeiras eletrônicas equipadas com mecanismo de configuração automática de torque. Esse tipo de ferramenta possui um mecanismo que limita o torque aplicado durante a fixação, a parafusadeira para automaticamente de girar assim que o parafuso atinge a quantidade de torque predefinida, evitando aperto excessivo. A eficácia do controle de torque repousa em

sensores internos que medem a resistência ao aperto do parafuso. Ao atingir o torque desejado, o motor da parafusadeira desliga automaticamente ou reduz a velocidade, prevenindo apertos excessivos que poderiam danificar a peça ou a rosca (DISFIL, 2023).

Para assegurar não apenas a alteração automática do torque durante a operação, mas também a execução da atividade de forma sequencial, é essencial que o processo seja conduzido em etapas distintas. Alguns modelos de Parafusadeiras eletrônicas incorporam um controlador que capacita o usuário da equipe especializada em engenharia a tornar a ferramenta à prova de erros. Um exemplo de controlador inteligente é o modelo INSIGHTqc™ (figura 10) desenvolvido pela empresa Ingersoll Rand.

Figura 10 - Parafusadeira eletrônica com controlador (INSIGHTqc™)

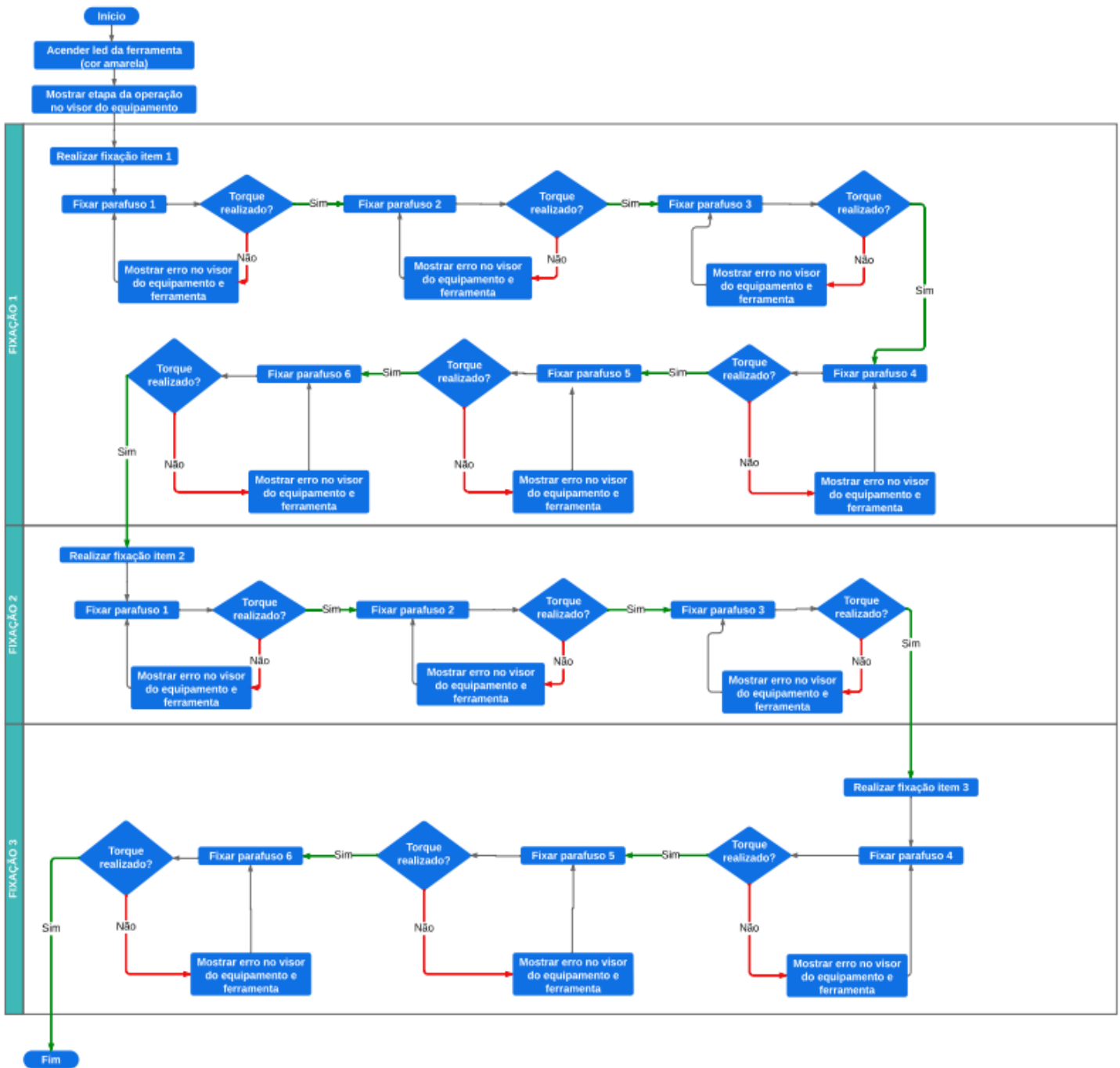


Fonte: Ingersoll Rand®.

Este tipo de controlador proporciona um controle avançado no aperto. Pode ser aplicada ao conceito da ferramenta o método “motion step”. O Método das Etapas envolve a execução de uma operação por meio de movimentos sincronizados, prevenindo que o operador inadvertidamente realize uma etapa que não faz parte da operação (CONSUL, 2015).

Com base no método das etapas, elaborou-se a programação destinada à operação da ferramenta a fim de tornar o dispositivo uma ferramenta a prova de erros. O diagrama a seguir (figura 11) ilustra a lógica aplicada na parafusadeira eletrônica a ser empregada no processo de manufatura.

Figura 11 - Diagrama lógico - Poka Yoke por etapas



Fonte: Elaborado pelo autor

Com o objetivo de minimizar as falhas operacionais descritas no item anterior de fixação de parafusos, um dispositivo Poka Yoke foi implementado na linha de produção.

5.3 APLICAÇÃO E VALIDAÇÃO

Conforme a apresentado no tópico 6.2 a alternativa para minimizar os defeitos de **falta de parafuso** no posto de trabalho **P7** é aplicar a metodologia de Poka Yoke por etapas na ferramenta de fixação eletrônica, conforme mostrado na figura 11.

Após a configuração do controlador as operações de fixação serão executadas da conforme apresentado no quadro 8.

Quadro 8. Atividades de fixação - Poka Yoke por etapas

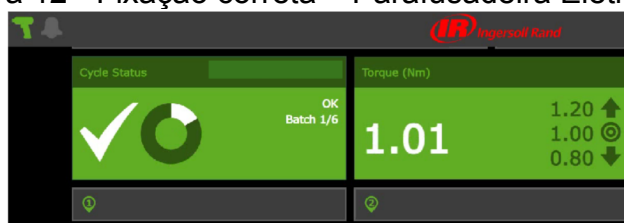
Elemento	Descrição
1	Realizar fixação 1
1.1	Aperto parafuso 1
1.2	Torque de aperto realizado? Se sim seguir para a etapa 1.3 senão repetir etapa 1.1
1.3	Aperto parafuso 2
1.4	Torque de aperto realizado? Se sim seguir para a etapa 1.5 senão repetir etapa 1.3
1.5	Aperto parafuso 3
1.6	Torque de aperto realizado? Se sim seguir para a etapa 1.7 senão repetir etapa 1.5
1.7	Aperto parafuso 4
1.8	Torque de aperto realizado? Se sim seguir para a etapa 1.9 senão repetir etapa 1.7
1.9	Aperto parafuso 5
1.10	Torque de aperto realizado? Se sim seguir para a etapa 1.11 senão repetir etapa 1.9
1.11	Aperto parafuso 6
1.12	Torque de aperto realizado? Se sim seguir para a etapa 1.5 senão repetir etapa 2
2	Realizar fixação 2
2.1	Aperto parafuso 1
2.2	Torque de aperto realizado? Se sim seguir para a etapa 2.3 senão repetir etapa 2.1
2.3	Aperto parafuso 2
2.4	Torque de aperto realizado? Se sim seguir para a etapa 2.5 senão repetir etapa 2.3
2.5	Aperto parafuso 3
2.6	Torque de aperto realizado? Se sim seguir para a etapa 2.7 senão repetir etapa 2.5
2.7	Aperto parafuso 4
2.8	Torque de aperto realizado? Se sim seguir para a etapa 3 senão repetir etapa 2.7

3	Realizar fixação 2
3.1	Aperto parafuso 1
3.2	Torque de aperto realizado? Se sim seguir para a etapa 3.3 senão repetir etapa 3.1
3.3	Aperto parafuso 2
3.4	Torque de aperto realizado? Se sim seguir para a etapa 3.5 senão repetir etapa 3.3
3.5	Aperto parafuso 3
3.6	Torque de aperto realizado? Se sim seguir para a etapa 3.7 senão repetir etapa 3.5
3.7	Aperto parafuso 4
3.8	Torque de aperto realizado? Se sim seguir para a etapa 4 senão repetir etapa 3.7
4	Fim processo de fixação

Fonte: Elaborado pelo autor

Como podemos observar na figura 12 abaixo, em caso de boa execução da atividade e alcance do torque desejado a ferramenta informará no visor.

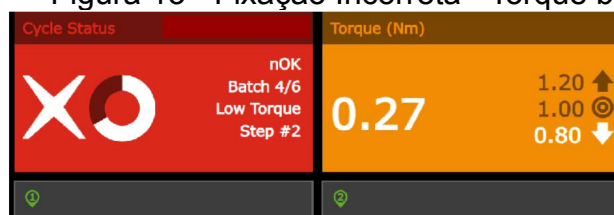
Figura 12 - Fixação correta – Parafusadeira Eletrônica



Fonte: Adaptado Ingersoll Rand (2022)

Na figura apresentada anteriormente demonstra o correto aperto do parafuso 1 da fixação 1 do processo anteriormente mostrado. Em casos de fixação incorreta a ferramenta informará no visor o erro e o provável defeito, conforme figura 13 abaixo:

Figura 13 - Fixação Incorreta - Torque baixo



Fonte: Adaptado Ingersoll Rand (2022)

No exemplo evidenciado na figura 13 demonstra um caso de fixação incorreta onde a ferramenta detecta o torque abaixo da especificação, evidenciado pela mensagem “Low Torque”. Como resposta ao operador o mesmo pode visualizar no visor um sinal visual na cor vermelha com o símbolo de um X da mesma cor.

As atividades somente poderão prosseguir para os próximos estágios de

fixação se cada passo for realizado corretamente, conforme a figura 14.

Figura 14 - Passos de fixação - Fixação 1



Fonte: Adaptado Ingersoll Rand (2022)

Conforme evidenciado na figura anterior a etapa de fixação somente é concluída se todos os passos da fixação vigente forem executados corretamente (mostrado pelo sinal de duplo “check”), habilitando ao operador seguir para a etapa seguinte de fixação. A parafusadeira também emite sinais visuais ou status de operação, exemplificado no quadro 9 abaixo:

Quadro 9 - Sinalização parafusadeira eletrônica

Elemento	Cor LED	Descrição
1	Amarela	Atividade em operação
2	Vermelha	Atividade executada de forma incorreta
3	Verde	Atividade correta

Fonte: Elaborado pelo autor

A imagem a seguir exemplifica o acionamento do led verde informando que a operação está correta.

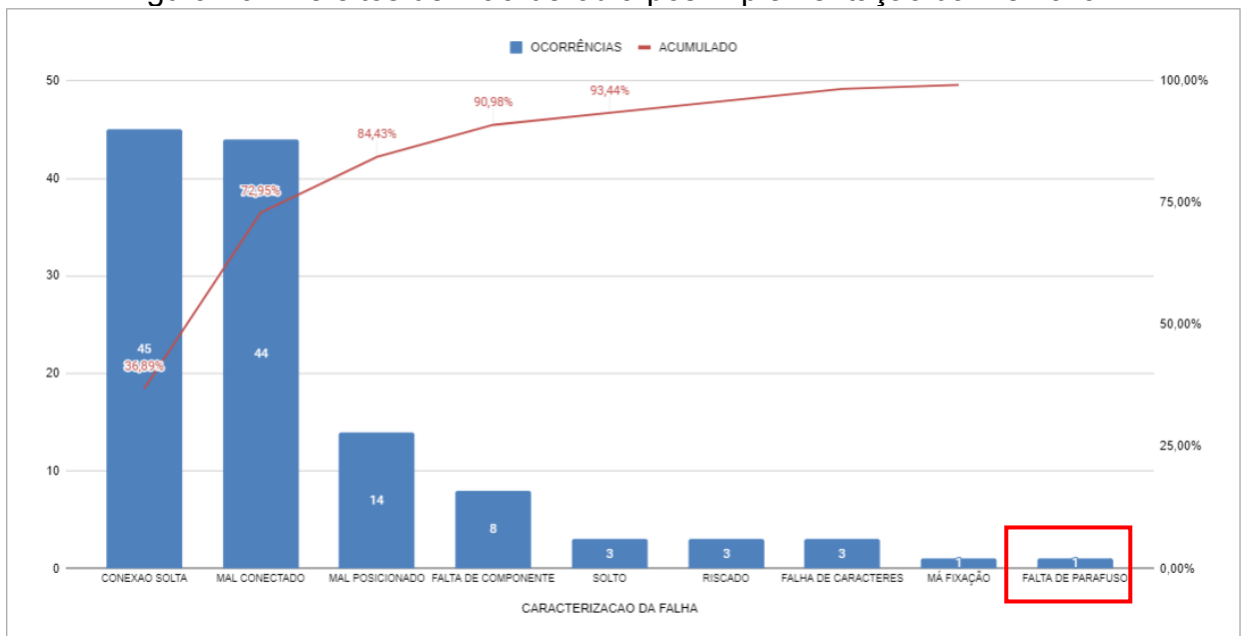
Figura 15. Acionamento de led da parafusadeira eletrônica



Fonte: Elaborado pelo autor

Após a implementação no processo produtivo, foi realizado um acompanhamento de três meses durante o período de setembro a dezembro de 2022 para validar os resultados obtidos no processo com instalação da nova ferramenta associada a aplicação da metodologia poka yoke por etapas. Os resultados obtidos podem ser observados no gráfico abaixo (figura 16):

Figura 16 - Defeitos de mão-de-obra pós implementação da melhoria

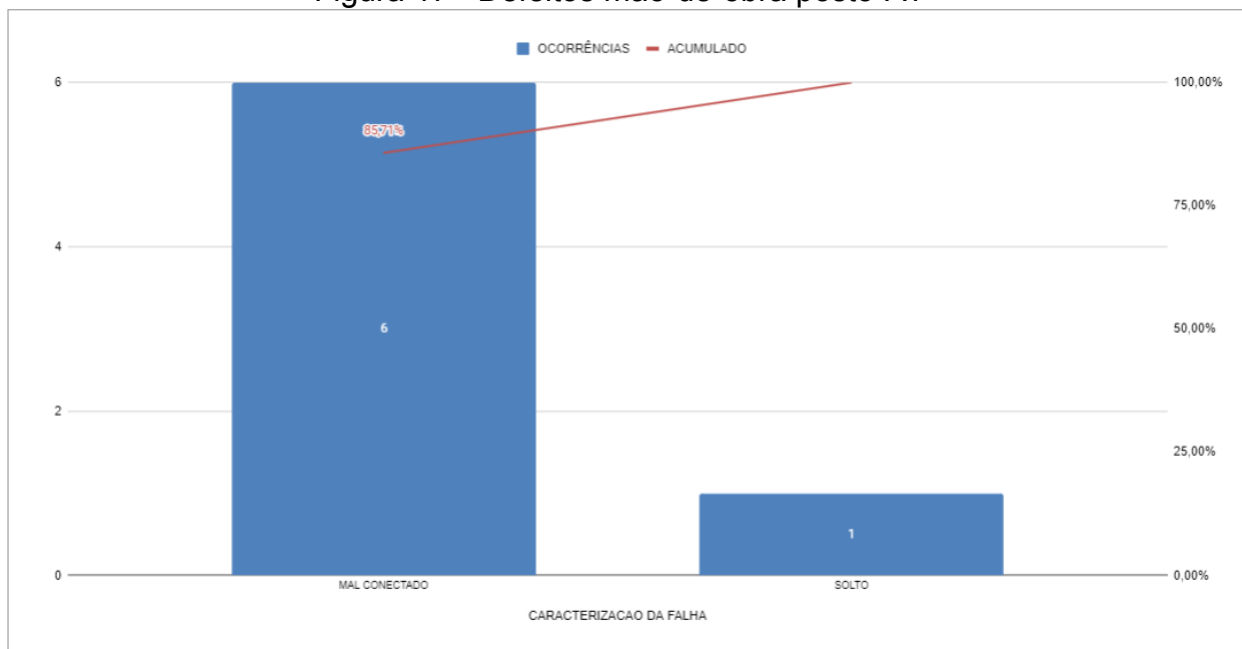


Fonte: Elaborado pelo autor

Como observado no gráfico anterior houve uma redução drástica do defeito **falta de parafuso** no processo produtivo da linha A, reduzindo a praticamente zero

defeito. Foi observado que nos defeitos associados ao posto P.7 para o defeito **falta de parafuso** com a implementação da melhoria a ocorrência de surgimento deste defeito alcançou o zero defeito (figura 17).

Figura 17 - Defeitos mão-de-obra posto P.7



Fonte: Elaborado pelo autor

O uso do Método Poka Yoke nesta pesquisa visou aprimorar a qualidade da fabricação, onde a qualidade do produto é determinada pela conformidade de um conjunto de especificações pré-definidas. Nesse contexto, a qualidade é avaliada com base na correspondência entre as especificações reais do produto e as especificações do projeto. (ALMEIDA & TOLEDO, 1992)

A busca por uma produção livre de defeitos é reconhecida como uma ferramenta poderosa capaz de gerar resultados financeiros e operacionais excelentes. Contudo, gestores têm hesitado em aplicar as ferramentas de manufatura enxuta na indústria de processos devido às características singulares desse setor. (TEIXEIRA, 2015)

Uma vez realizada a implementação da nova ferramenta no processo produtivo é importante compreender a percepção da operação em relação a nova ferramenta. Como evidenciado no tópico 6.1 o posto P.7 de acordo com o checklist de análise de causa raiz de erro humano apontava para duas causas principais **Fraqueza de Processo e Ambiente de Trabalho**. Novamente o checklist foi aplicado aos operadores conforme podem ser visualizados nos quadros 10, 11 e 12.

Quadro 10 - Checklist de análise de causa raiz erro humano após implementação da melhoria - Operador A

Entrevistador:	Supervisor de linha	Data:29/08/2022	Análise OFFLINE									
Entrevistado:	Operador A (Titular)		Perguntas específicas	Contramedidas								
Cargo:	Operador de produção I		Respostas	Respostas	Poka Yoke / Error Proofing	Kaizen	LPP	SOP/SMP	Ajuda visual	Workplace Organization	Envolvimento de pessoa / Acompanhamento	
Categoria de causa raiz	Checklist de erro humano - Análise ONLINE		Respostas	Categoria de causa raiz	Respostas							
Fraqueza de processo	1. As diretrizes para a realização desta tarefa são concisas, de fácil compreensão e apresentadas de maneira visualmente clara?	Sim	O processo é robusto?	Sim								
	2. A conclusão desta tarefa tem sido simples de realizar?	Sim										
	3. É possível realizar esta tarefa em um ritmo constante e sustentável, evitando fadiga excessiva?	Sim										
Ferramentas e equipamentos	1. As ferramentas ou equipamentos para esta tarefa estão em boas condições?	Sim	Ausência de problemas em ferramentas e equipamentos?	Sim								
	2. Essas ferramentas são adequadas e pertinentes para a realização desta tarefa?	Sim										
	3. As ferramentas sempre estão disponíveis para esta atividade?	Sim										
Ambiente de trabalho	1. A ergonomia está boa para executar a atividade?	Sim	O ambiente de trabalho é agradável?	Sim								
	2. A disposição da área de trabalho está devidamente organizada?	Sim										
	3. O ambiente proporciona condições adequadas para a execução da tarefa? Isso inclui aspectos como iluminação, temperatura, níveis de ruído, limpeza, entre outros.	Sim										
Atitude e comportamento	1. Existe motivação por parte do operador para executar a tarefa?	Sim	Inexistência de problemas relacionados a atitude e comportamento?	Sim	Aplicar Formulário de Herca Avançado							
	2. A execução da tarefa seguiu o processo estabelecido, sem o uso de atalhos ou omissão de etapas?	Sim										
	3. O operador encontrava-se concentrado no momento em que ocorreu o erro?	Sim										
Desatenção e esquecimento	1. Esta tarefa pode ser realizada de forma a evitar que a repetição resulte em distração ou falta de atenção?	Sim	Não há problemas no cumprimento das instruções de trabalho?	Sim	Aplicar Formulário de Herca Avançado							
	2. O operador estava livre de distração ou interrupção quando o erro aconteceu?	Sim										
	3. O operador estava isento de fatores que pudessem, de alguma maneira, influenciar sua decisão?	Sim										
Problemas Pessoais	1. O operador estava se sentindo bem quando desempenhou a tarefa?	Sim	Ausência de problemas pessoais?	Sim	Aplicar Formulário de Herca Avançado							
	2. Ausência de problemas pessoais que possam impactar a tarefa?	Sim										
	3. A dinâmica da equipe está condizente com a tarefa?	Sim										

Fonte: Adaptado de Yamashina (2009)

Quadro 11 - Checklist da análise de causa raiz de erro humano após implementação da melhoria - Operador B

Entrevistador:	Supervisor de linha	Data:29/08/2022	Análise OFFLINE									
Entrevistado:	Operador B (Reserva)		Perguntas específicas	Contramedidas								
Cargo:	Líder de produção		Respostas	Respostas	Poka Yoke / Error Proofing	Kaizen	LPP	SOP/SMP	Ajuda visual	Workplace Organization	Envolvimento de pessoa / Acompanhamento	
Categoria de causa raiz	Checklist de erro humano - Análise ONLINE		Respostas	Categoria de causa raiz	Respostas							
Fraqueza de processo	1. As diretrizes para a realização desta tarefa são concisas, de fácil compreensão e apresentadas de maneira visualmente clara?	Sim	O processo é robusto?	Sim								
	2. A conclusão desta tarefa tem sido simples de realizar?	Sim										
	3. É possível realizar esta tarefa em um ritmo constante e sustentável, evitando fadiga excessiva?	Sim										
Ferramentas e equipamentos	1. As ferramentas ou equipamentos para esta tarefa estão em boas condições?	Sim	Ausência de problemas em ferramentas e equipamentos?	Sim								
	2. Essas ferramentas são adequadas e pertinentes para a realização desta tarefa?	Sim										
	3. As ferramentas sempre estão disponíveis para esta atividade?	Sim										
Ambiente de trabalho	1. A ergonomia está boa para executar a atividade?	Sim	O ambiente de trabalho é agradável?	Sim								
	2. A disposição da área de trabalho está devidamente organizada?	Sim										
	3. O ambiente proporciona condições adequadas para a execução da tarefa? Isso inclui aspectos como iluminação, temperatura, níveis de ruído, limpeza, entre outros.	Sim										
Atitude e comportamento	1. Existe motivação por parte do operador para executar a tarefa?	Sim	Inexistência de problemas relacionados a atitude e comportamento?	Sim	Aplicar Formulário de Herca Avançado							
	2. A execução da tarefa seguiu o processo estabelecido, sem o uso de atalhos ou omissão de etapas?	Sim										
	3. O operador encontrava-se concentrado no momento em que ocorreu o erro?	Sim										
Desatenção e esquecimento	1. Esta tarefa pode ser realizada de forma a evitar que a repetição resulte em distração ou falta de atenção?	Sim	Não há problemas no cumprimento das instruções de trabalho?	Sim	Aplicar Formulário de Herca Avançado							
	2. O operador estava livre de distração ou interrupção quando o erro aconteceu?	Sim										
	3. O operador estava isento de fatores que pudessem, de alguma maneira, influenciar sua decisão?	Sim										
Problemas Pessoais	1. O operador estava se sentindo bem quando desempenhou a tarefa?	Sim	Ausência de problemas pessoais?	Sim	Aplicar Formulário de Herca Avançado							
	2. Ausência de problemas pessoais que possam impactar a tarefa?	Sim										
	3. A dinâmica da equipe está condizente com a tarefa?	Sim										

Fonte: Adaptado de Yamashina (2009)

Quadro 12 - Checklist de análise de causa raiz de erro humano após implementação da melhoria - Operador C

Entrevistador:	Supervisor de linha	Data:29/08/2022	Análise OFFLINE											
Entrevistado:	Operador C (Reserva)		Perguntas específicas		Contramedidas									
Cargo:	Operador de produção I		Respostas											
Categoria de causa raiz	Checklist de erro humano - Análise ONLINE		Respostas		Categoria de causa raiz	Respostas	Poka Yoke / Error Proofing	Kaizen	LPP	SOP/SMP	Ajuda visual	Workplace Organization	Envolvimento de pessoa / Acoplamento	
Fraqueza de processo	1. As diretrizes para a realização desta tarefa são concisas, de fácil compreensão e apresentadas de maneira visualmente clara?	Sim	O processo é robusto?	Sim										
	2. A conclusão desta tarefa tem sido simples de realizar?	Sim												
	3. É possível realizar esta tarefa em um ritmo constante e sustentável, evitando fadiga excessiva?	Sim												
Ferramentas e equipamentos	1. As ferramentas ou equipamentos para esta tarefa estão em boas condições?	Sim	Ausência de problemas em ferramentas e equipamentos?	Sim										
	2. Essas ferramentas são adequadas e pertinentes para a realização desta tarefa?	Sim												
	3. As ferramentas sempre estão disponíveis para esta atividade?	Sim												
Ambiente de trabalho	1. A ergonomia está boa para executar a atividade?	Sim	O ambiente de trabalho é agradável?	Sim										
	2. A disposição da área de trabalho está devidamente organizada?	Sim												
	3. O ambiente proporciona condições adequadas para a execução da tarefa? Isso inclui aspectos como iluminação, temperatura, níveis de ruído, limpeza, entre outros.	Sim												
Atitude e comportamento	1. Existe motivação por parte do operador para executar a tarefa?	Sim	Inexistência de problemas relacionados a atitude e comportamento?	Sim	Aplicar Formulário de Herca Avançado									
	2. A execução da tarefa seguiu o processo estabelecido, sem o uso de atalhos ou omissão de etapas?	Sim												
	3. O operador encontrava-se concentrado no momento em que ocorreu o erro?	Sim												
Desatenção e esquecimento	1. Esta tarefa pode ser realizada de forma a evitar que a repetição resulte em distração ou falta de atenção?	Sim	Não há problemas no cumprimento das instruções de trabalho?	Sim	Aplicar Formulário de Herca Avançado									
	2. O operador estava livre de distração ou interrupção quando o erro aconteceu?	Sim												
	3. O operador estava isento de fatores que pudessem, de alguma maneira, influenciar sua decisão?	Sim												
Problemas Pessoais	1. O operador estava se sentindo bem quando desempenhou a tarefa?	Sim	Ausência de problemas pessoais?	Sim	Aplicar Formulário de Herca Avançado									
	2. Ausência de problemas pessoais que possam impactar a tarefa?	Sim												
	3. A dinâmica da equipe está condizente com a tarefa?	Sim												

Fonte: Adaptado de Yamashina (2009)

Conforme evidenciado nos quadros 10, 11 e 12 associados aos operadores A, B e C, foi evidenciado a conformidade em todos os itens do questionário realizado a operação. Inclusive ao operador C que possuía menos contato com a atividade no seu dia-a-dia não obteve dificuldades em se adaptar à nova ferramenta e fluxo de trabalho.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na pesquisa realizada, constatou-se a importância dos métodos de qualidade na indústria, onde a confiabilidade e conformidade do produto são essenciais, aliadas a um tempo de entrega satisfatório para agregar valor ao cliente. Destacou-se a vitalidade da inovação na qualidade para enfrentar as mudanças no ambiente e nas necessidades dos clientes, sendo necessário introduzir novas ideias para redução de custos, economia de tempo e aumento da produção. A promoção de uma cultura de inovação demanda medidas concretas, como a implementação da qualidade total e a criação de grupos de resolução de problemas.

Os ensinamentos de Shingo no Poka Yoke, reforçam a importância da qualidade como base industrial contemporânea. As empresas enfrentam o desafio de buscar novas ferramentas para se manterem competitivas em um mercado global. A análise do sistema Poka Yoke evidenciou sua relevância na redução de perdas nos processos de fabricação de eletrodomésticos, resultando na diminuição dos custos de retrabalho.

A utilização do Poka Yoke, em conjunto com ferramentas de aperto eletrônicas, atingiu os objetivos do trabalho, contribuindo para evitar erros e falhas em processos de fixação, especialmente associados a falhas operacionais. Os resultados demonstraram um aumento significativo na qualidade e conformidade do produto, com a maioria dos colaboradores avaliando positivamente o método. Isso proporcionou maior confiabilidade à empresa, eliminando perdas durante o processo produtivo.

REFERÊNCIAS

ADAMS, M. Tools and Their Uses. Goodheart-Willcox Publisher, 2021.

AMARAL, F., MACHADO, L., RIBEIRO, A., & TEIXEIRA, J. Comparative Study of Handheld Tools for Assembly Operations: A Technological Review. In Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM 2021) (pp. 111-122). Springer, 2021.

ARAMCHAROEN, A., WONGSIRI, T., & PHRUANGSANG, N. Assembly line balancing and simulation of an electric appliance production. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 6(2), 199-214, 2015.

BANDYOPADHYAY, D., & SEN, J. Internet of Things: Applications and challenges in technology and standardization. *Wireless Personal Communications*, 58(1), 49-69, 2011.

CALLEJA, J. G., ALEGRE, J. M., ROVIRA, J., BOSCH, D., & MARCOS, M. Quality improvement of an electric impact wrench by using DOE. *Procedia Manufacturing*, 38, 1377-1384, 2019.

CARA, L. Abordagem em metodologia de gestão (WCM) para investigação de erro humano, 2019.

CARVALHO, C.M; MEDEIROS, J.N.; CARVALHO, E.N. Sistema de Aparafusamento Linear em Série Automática de Baixo Custo. Out, 2018.

CARVALHO, L. F. O Polo Industrial de Manaus e sua atual configuração regional: uma análise a partir do desenvolvimento econômico. *Revista Agenda Amazonia*, 6(12), 85-109, 2017.

CARVALHO, R., ARAÚJO, L., MORAES, L., & BARROS, G. Development of a Low-Cost Direct Current Electric Screwdriver. In Proceedings of the 12th. International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (pp. 280-290). Springer, 2020.

CHASE, R., STEWART, D. Make your servisse fall-safe. *Sloan Management Review*, vol. 35, p. 35–44, 1994.

CONSUL, J. T. Aplicação de Poka Yoke em processos de caldeiraria. *Production*, v. 25, n. 3, p. 678–690, 18 ago. 2015.

COSTA, C., CORRÊA, D., LIMA, R., & SILVA, L. Comparative Analysis of Electric and Battery Powered Screwdrivers Applied to Assembly Line. *Procedia Manufacturing*, 39, 90-97, 2019.

DANTAS, F.M. DIAGRAMA DE ISHIKAWA: a importância da ferramenta na identificação e controle dos impactos negativos dos processos gerenciais de uma organização, 2022.

DE LEMOS, Lucas Martins; SOUZA, Marcelo Frigo; DEVAI, Flávia Maria Bonetti Zanini. Utilização de ferramentas da qualidade para identificação de oportunidades de melhorias na indústria gráfica: um estudo de caso, 2019.

DISFIL. Parafusadeira com controle de torque. Disponível em: <<https://www.disfil.com.br/parafusadeira-controle-torque>>. Acesso em: 10 Set. 2023.

FERREIRA, G. C., FIGUEIREDO, P., MEIRELES, A., LEITE, V., & DA SILVA, E. A. Evaluation of Power Tools for Assembly Processes Using Multicriteria Decision, 2020.

FIGUEIREDO, A. C., BEZERRA, A. S., ALMEIDA, T. C., & SANTOS, F. C. Análise dos impactos socioeconômicos e ambientais decorrentes da atividade industrial no Polo Industrial de Manaus (PIM). Research, Society and Development, 10(1), e48710111848, 2021.

GROVER, MIKELL P. Introdução aos processos de fabricação. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

HAAGENSEN, S. The Manual of Tools: Essential Guide for Every Tradesman. Hachette UK, 2018.

HINCKLEY, C.M., BARKAN, P. Selecting the best defect reduction methodology. Quality and Reliability Engineering International, vol. 12, no. 6, p. 411–420, 1996. DOI:10.1002/(SICI)1099-1638(199611)12:63.0.CO;2-9

INSIGHTqc Controller | Ingersoll Rand Power Tools. Disponível em: <<https://powertools.ingersollrand.com/en-us/dc-electric-fastening-systems/insightqc-controller>>. Acesso em: 4 abr. 2023.

JUNIOR A., WILSON E., DALLALIBERA L. Torqueamento para garantia de integridade no sistema industrial (critérios na utilização e escolha de ferramentas com controle de torque). Abraman, 2018.

KANTOWITZ, B.H.; SORKIN, R.D. Human Factors: understanding people-system relationship. New York: Wiley, 1983, p. 699.

LAZAREVIC, M. et al. A Systematic Literature Review of Poka-Yoke and Novel

Approach to Theoretical Aspects. Jul, 2019.

MAIA, L., DA SILVA, F., & ROCHA, A. The Role of Electric Screwdrivers in the Automotive Industry. *Procedia Manufacturing*, 13, 1118-1125, 2017.

MOORE, A. *The Woodworker's Guide to Tools*. Guild of Master Craftsman Publications, 2017.

OLIVEIRA, R., SOUSA, F., & GAMA, F. Study of Electric Screwdrivers for Assembly Operations. In *Proceedings of the 6th International Conference on Operations Research and Enterprise Systems* (pp. 46-55). SciTePress, 2018.

REASON, J. *Human Error*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

SANTOS, A., PEREIRA, J., SILVA, L., & ROCHA, A. Comparative Analysis of Electric Screwdrivers Applied in the Assembly of Electronic Products. *Procedia Manufacturing*, 39, 184-191, 2019.

SANTOS, R. G., MENDONÇA, A. G., FREITAS, A. C., & TEIXEIRA, A. C. Características do polo industrial de Manaus: impactos socioeconômicos e ambientais. *Revista de Economia da Unifacs*, 1(1), 19-37, 2018.

SHINGO, S. *A study of the Toyota production system: From an Industrial Engineering Viewpoint*. Productivity Press, Cambridge, MA, 1989.

SILVA, A. L. da; OLIVEIRA, E. da S.; BORGES, J. A.; MAIA, P. H. M.; FRUCTUOZO, R. A.; TORRICELLI, T. A.; PEREIRA, L. C. Implantação do diagrama de ishikawa no sistema de gestão da qualidade de uma empresa de fabricação termoplástica, para resolução e devolutiva de relatórios de não conformidade enviados pelo cliente. *Revista Gestão em Foco*, 2018, p. 387-397.

SILVA, B. G. J, LISBOA, A. P, SANTOS, A. H. A, SANTANA, K. S, SILVA, I. P. *Confiabilidade Humana: Uma Abordagem Atual Do Erro Humano*. Nov 2017.

SILVA, M., SOUZA, J., & ROCHA, A. Análise das ferramentas manuais para fixação de pregos em madeiras. *Revista Brasileira de Engenharia Florestal*, 8(3), 189-198, 2019.

SILVA, R., SANTOS, F., & GAMA, F. Comparative Analysis of Pneumatic and Electric Screwdrivers in the Assembly of Structures. *Procedia Manufacturing*, 43, 284-291, 2020.

SOUSA, A., BARBOSA, J., & GOMES, A. Comparative Study of Straight and Angular Screwdrivers in Assembly Operations. In Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM 2021) (pp. 175-186). Springer, 2021.

THOMSEN, A. Illustrated Guide to Home Forensic Science Experiments. O'Reilly Media, 2020.

VIALTA L.G.C. Estudo da aplicação de torque em elemento de fixação por parafusos. Dez, 2018.

YAMASHINA, H. World Class Manufacturing: Métodos e instrumentos. Material interno de aplicação WCM da empresa em estudo, 2009.

