

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA

GIANLUCA VALLE

ANÁLISE DE FALHAS DO SISTEMA DE TRANSPORTE DE CONDUTORES DE
COBRE PARA ROTOR DE MOTOR DE PARTIDA POR MEIO DE CICLO PDCA

Joinville

2024

GIANLUCA VALLE

ANÁLISE DE FALHAS DO SISTEMA DE TRANSPORTE DE CONDUTORES DE
COBRE PARA ROTOR DE MOTOR DE PARTIDA POR MEIO DE CICLO PDCA

Trabalho apresentado como requisito para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Automotiva, no Centro
Tecnológico de Joinville, da Universidade
Federal de Santa Catarina.

Orientador: Dr. Luis Fernando Peres Calil

Joinville

2024

GIANLUCA VALLE

ANÁLISE DE FALHAS DO SISTEMA DE TRANSPORTE DE CONDUTORES DE
COBRE PARA ROTOR DE MOTOR DE PARTIDA POR MEIO DE CICLO PDCA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Automotiva, no Centro Tecnológico de Joinville, da Universidade Federal de Santa Catarina.

Joinville (SC), 04 de julho de 2024.

Banca Examinadora:

Dr. Luís Fernando Peres Calil
Orientador / Presidente

Dra. Janaína Renata Garcia
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

Dr. Ricardo Aurélio Quinhões Pinto
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho a todos que tornaram ele capaz.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Marçal Aurélio e Sônia, por terem me apoiado e proporcionado as condições necessárias para que eu pudesse estudar e crescer pessoalmente e profissionalmente. Agradeço também a minha irmã Giany, assim como toda a minha família por sempre estar ao meu lado.

Agradeço a minha parceira Larissa que me apoiou e incentivou a finalizar este trabalho.

Agradeço a todos os meus amigos do Mirabolantes e especialmente aos amigos do grupo All-Stars, Gabriel, Giovanni e Daniel por tornarem a jornada acadêmica mais divertida e gratificante.

Agradecimento especial a empresa por ter cedido o espaço e as informações necessárias para a conclusão deste trabalho, assim como a todos os colaboradores que contribuíram de alguma forma, destacando Irivan e Marcus.

Agradeço ao meu professor orientador Sr. Luís Fernando Peres Calil por todo o auxílio, incentivo e compreensão durante o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim agradeço a todos os professores e coordenação da Universidade Federal de Santa Catarina por todo o conhecimento ensinado que contribuiu para a minha formação e para a realização deste trabalho.

“Não ter problemas é o maior problema de todos”.

Taiichi Ohno.

RESUMO

Este trabalho aborda a aplicação do ciclo PDCA para melhorar o desempenho do sistema de transporte de uma máquina conformadora de fio de cobre utilizado em rotores de motor de partida. São descritas as etapas do processo, desde a identificação do problema até a implementação das soluções propostas, com auxílio de técnicas como *brainstorming*, diagrama de Ishikawa e 5W2H. São analisados dados de desempenho da máquina, identificadas as principais causas de falhas e implementadas medidas corretivas para melhorar sua eficiência e confiabilidade. Os resultados obtidos demonstram a eficácia do ciclo PDCA na melhoria contínua de máquinas industriais e destacam a importância de uma abordagem proativa para manter a eficiência operacional e a confiabilidade das máquinas.

Palavras-chave: Ciclo PDCA; melhoria contínua; eficiência operacional; confiabilidade de máquina.

ABSTRACT

This work approaches the application of PDCA cycle to improve the performance of the transportation system of a copper wire forming machine used in starter armature. The steps of the process are described, from problem identification to the implementation of proposed solutions, with the use of tools like brainstorming, Ishikawa and 5W2H. Machine performance data is analyzed, main causes of failures are identified, and corrective measures are implemented to enhance its efficiency and reliability. The results demonstrate the effectiveness of analysis and problem-solving methods in the continuous improvement of industrial machines and underscore the importance of a proactive approach to maintaining operational efficiency and reliability.

Keywords: PDCA cycle, continuous improvement, operational efficiency, machine reliability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma	15
Figura 2 - Ilustração do motor de partida	16
Figura 3 - Visão geral do processo de produção de rotores	17
Figura 4 - Esquema da máquina básica de quatro <i>slides</i>	19
Figura 5 - Ciclo PDCA	20
Figura 6 - Ciclo PDCA aplicado à análise de problemas	21
Figura 7 - Exemplo de gráfico de Pareto	23
Figura 8 - Ilustração do diagrama de causa e efeito	25
Figura 9 - 5W2H	27
Figura 10 - Sistema de transporte de condutores	32
Figura 11 - Componentes do sistema	32
Figura 12 - Gráfico de pareto	33
Figura 13 - Diagrama de causa e efeito da calha	35
Figura 14 - Diagrama de causa e efeito do funil	36
Figura 15 - Diagrama de causa e efeito da corrente transportadora	36
Figura 16 - Ponteira da calha	38
Figura 17 - Bandeja para contenção de óleo	39
Figura 18 - Novo cone de sucção	39

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Plano de ação

37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estratificação dos dados das falhas	34
Tabela 2 - Comparação dos resultados	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

KPI – Key Performance Indicators (indicador-chave de desempenho)

MTBF – Mean Time Between Failures (tempo médio entre falhas)

MTTF – Mean Time To Failure (tempo médio para a falha)

MTTR – Mean Time To Repair (tempo médio para o reparo)

OEE – Overall Equipment Efficiency (eficiência global do equipamento)

PDCA – Plan, Do, Check, Act (planejar, fazer, verificar e agir)

TQC – Total Quality Control (controle da qualidade total)

TPM – Total Productive Maintenance (manutenção produtiva total)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. OBJETIVOS.....	14
1.1.1. Objetivo Geral.....	14
1.1.2. Objetivos Específicos.....	14
1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	14
2. PROCESSO DE CONFORMAÇÃO DE FILAMENTOS DE COBRE PARA ROTOR DE MOTOR DE PARTIDA.....	16
3. CICLO PDCA.....	20
3.1. PLAN.....	21
3.1.1. Identificação do Problema.....	22
3.1.2. Observação.....	24
3.1.3. Análise.....	24
3.1.4. Plano de Ação.....	26
3.2. DO.....	27
3.3. CHECK.....	27
3.4. ACT.....	30
4. ESTUDO DE CAMPO.....	31
4.1. PLAN.....	33
4.1.1. Identificação do Problema.....	33
4.1.2. Observação.....	34
4.1.3. Análise.....	35
4.1.4. Plano de Ação.....	37
4.2. DO.....	38
4.3. CHECK.....	38
4.4. ACT.....	40
5. CONCLUSÃO.....	42
REFERÊNCIAS.....	44

1. INTRODUÇÃO

Em uma era de economia global não é mais possível garantir a sobrevivência da empresa apenas exigindo que seus colaboradores façam o melhor que puderem ou cobrando apenas resultados. Diante da crescente competitividade são necessários métodos que possam ser utilizados por todos em direção aos objetivos de sobrevivência da empresa. (Campos, 2004)

Conforme Campos (2004) um problema é um resultado indesejável de um processo. De acordo com Xenos (2004), controlar um processo significa ter domínio sobre suas causas para manter e melhorar seus efeitos, garantindo a competitividade da organização. Ainda segundo o autor, obter resultados significa atingir metas, e um método indicado para melhorar os resultados e atingir metas é o ciclo PDCA.

O ciclo PDCA é amplamente utilizado para análise e solução de problemas, sendo essencial para o controle de qualidade em toda a empresa. É fundamental que todos na organização dominem este método gerencial, pois ele promove a padronização da melhoria contínua, o tratamento adequado de problemas e o desenvolvimento de oportunidades. (Marshall Junior et al., 2010)

Conforme a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea) o Brasil registrou a produção de 211 mil veículos no mês de Junho de 2024, sendo a maior parte movido a motores à combustão. Para cada uma das unidades produzidas, um motor de partida é montado para acionar o motor à combustão e, desta forma é necessário que as empresas de fornecimento atendam as demandas vindas das montadoras, e assim qualquer parada não programada na linha de fabricação dos motores de partida pode ter efeitos negativos na linha de montagem das montadoras.

O motor de partida é um motor elétrico e uma das soluções para fazer seu bobinamento e o uso de condutores no formato hairpin. O hairpin é produzido em uma máquina de conformação com alto volume de saída, sendo necessário um sistema para transportar os condutores até a próxima estação de trabalho.

Este trabalho é aplicado em uma empresa do setor automotivo localizada em Santa Catarina que tem como principal item de produção o motor de partida, focando na melhoria do processo de produção do condutor de cobre no formato

hairpin. O estudo explora a utilização dos métodos de análise de solução de problemas baseado no ciclo PDCA na melhoria contínua do processo de produção do rotor, entre os meses de agosto de 2023 e março de 2024. Por meio da análise de falhas, identificação de causas raiz, e implementação de soluções eficazes, buscou-se a melhora no desempenho e na confiabilidade do sistema de transporte de condutores de uma máquina conformadora de fio de cobre.

1.1. OBJETIVOS

Para resolver a problemática do sistema de transporte da máquina de produção dos condutores de cobre, propõe-se os seguintes objetivos.

1.1.1. Objetivo Geral

Analisar falhas do sistema de transporte de condutores de cobre para rotor de motor de partida por meio de ciclo PDCA.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Identificar qual sistema com maior frequência de paradas;
- Identificar causa das paradas;
- Analisar as causas/efeitos;
- Identificar melhorias (ações para reduzir frequência das paradas ou mitigar seus efeitos); e
- Verificar eficácia das melhorias.

1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO

Na Figura 1 é possível observar um fluxograma que descreve os passos seguidos neste trabalho.

Destaca-se que o trabalho focou na melhoria do sistema com maior frequência de paradas; mas, outros processos também podem ser relevantes para a melhoria da produtividade e, eventualmente, até atender a regra de 80/20 de Pareto.

Outra limitação do trabalho está na adoção das técnicas de análise empregadas, pois foram adotadas as que já eram utilizadas pela empresa do estudo de campo a fim de não gerar a necessidade de capacitação do corpo técnico ou até que fosse exigida uma mudança na cultura da empresa.

Figura 1 - Fluxograma

1º Passo - Descrito na Seção 2
Entender o funcionamento e as variáveis do processo de fabricação de condutores por meio de filamento de cobre.
2º Passo - Descrito na Seção 3
Entender o ciclo PDCA e as ferramentas de apoio que serão utilizadas durante sua aplicação.
3º Passo - Descrito na Seção 4
Aplicar o ciclo PDCA no estudo de caso, definindo o problema com o auxílio de análise de Pareto; analisando o problema com o auxílio de brainstorming e diagrama de causa e efeito; gerando um plano de ação baseado no 5W2H propondo melhorias; verificando a implementação das ações propostas e verificando a eficácia das melhorias.

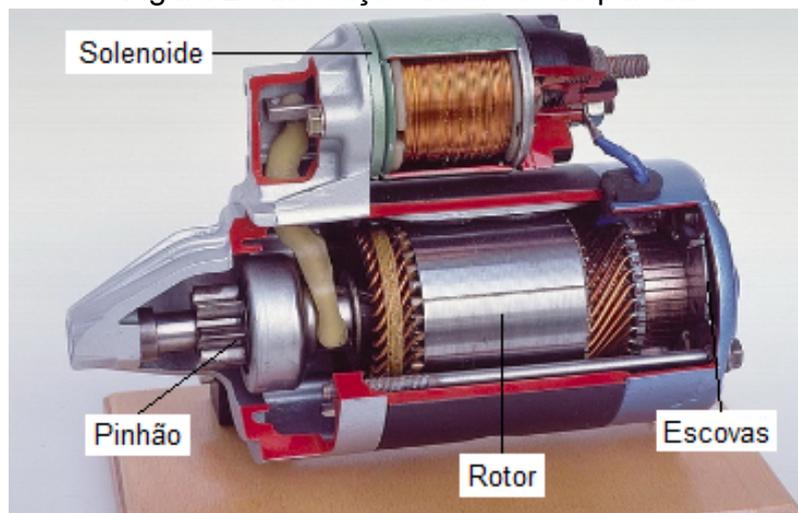
Fonte: Elaborado para o trabalho.

2. PROCESSO DE CONFORMAÇÃO DE FILAMENTOS DE COBRE PARA ROTOR DE MOTOR DE PARTIDA

De acordo com Alves e Santos (2009) a função do motor de partida consiste em acionar o motor a combustão do veículo até que tenham início às explosões e este possa se manter em funcionamento. Ainda segundo o autor, o motor de partida engloba muitos elementos dentre eles se destacam: rotor (armature), escovas, solenoide e pinhão.

O rotor, por sua vez, é composto basicamente por um núcleo, condutores de cobre, um comutador e um eixo central. Conforme Alves e Santos (2009) o núcleo do rotor (armature core) é feito pela união de muitas lâminas de ferro (armature lamination) sobrepostas e isoladas eletricamente entre si, com a presença de ranhuras na parte externa para segurar os condutores de fio de cobre. Os condutores dão a volta ao núcleo e ligam aos segmentos do comutador. Cada segmento do comutador está isolado dos segmentos adjacentes através de um isolamento de mica. A Figura 2 mostra uma ilustração em corte do motor de partida. (Alves; Santos, 2009)

Figura 2 - Ilustração do motor de partida



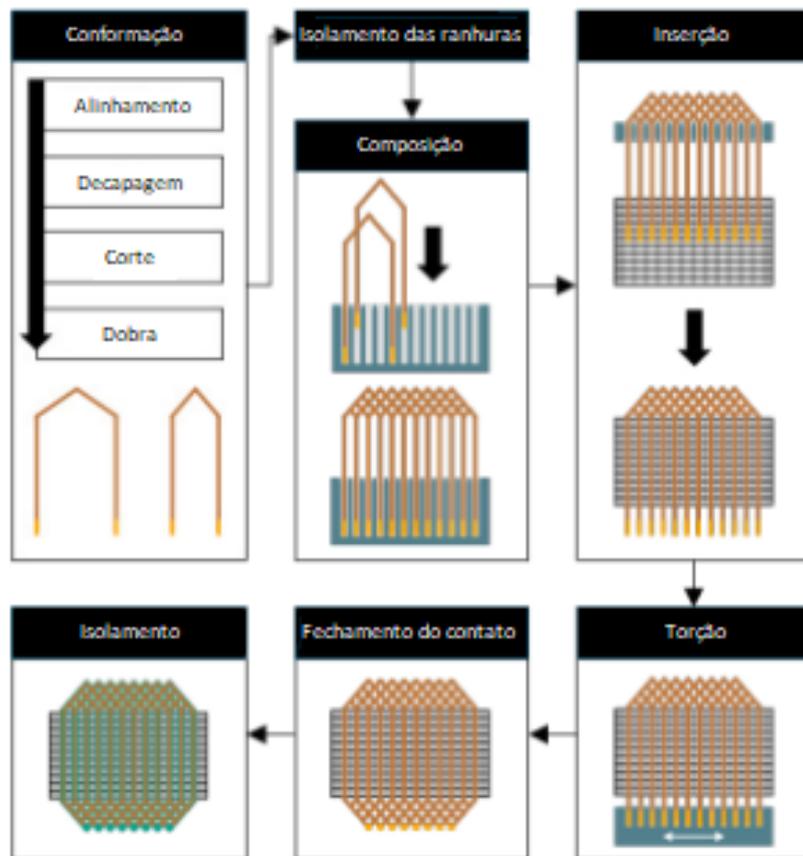
Fonte: Hako-Lehrmittel Produktkatalog (2024, p. 1)

A tecnologia de condutores no formato *hairpin*, termo que se refere ao formato em grampo que o condutor possui, é uma abordagem promissora para a fabricação em larga escala de rotores, garantindo alta qualidade e tempos de ciclo

reduzidos. O processo inclui cinco etapas principais: conformação (alinhamento, decapagem, corte e dobra de fios de cobre esmaltados), isolamento nas ranhuras do rotor, composição e inserção dos condutores *hairpin*, torção, fechamento do contato e isolamento. Uma visão geral do processo pode ser vista na Figura 3. (Wirth et al., 2020)

Na primeira etapa do processo o fio de cobre passa por um processo de alinhamento, decapagem, corte e dobra; na sequência as ranhuras do núcleo são isoladas; na etapa de composição os condutores são montados nas ranhuras; na etapa de inserção os condutores são inseridos no núcleo; na fase de torção os condutores são torcidos gerando uma defasagem; na fase de fechamento de contato é fechado o contato entre os condutores e o comutador; na etapa final os condutores e o núcleo passam por um processo de isolamento.

Figura 3 - Visão geral do processo de produção de rotores



Fonte: Wirth et al. (2020, p. 679, tradução nossa)

Como etapa inicial da cadeia de processos, a conformação dos condutores tem uma influência significativa nos processos de fabricação subsequentes. A precisão do contorno dos condutores após a modelagem é especialmente importante, pois impacta diretamente a confiabilidade das etapas subsequentes de composição, inserção, torção e fechamento do contato. (Wirth et al., 2020)

Conforme Wirth et al. (2020) os processos de conformação por ferramentas apresentam vantagens em relação ao tempo de ciclo e à confiabilidade do processo, mas também apresentam desvantagens significativas em termos de flexibilidade e carga sobre o revestimento de isolamento. Os processos de conformação por ferramentas, que geralmente consistem em uma conformação planar de três pontos ou rotativa, seguida de uma conformação de matriz espacial subsequente, são principalmente aplicados na produção de contornos de *hairpin* necessários em grande escala.

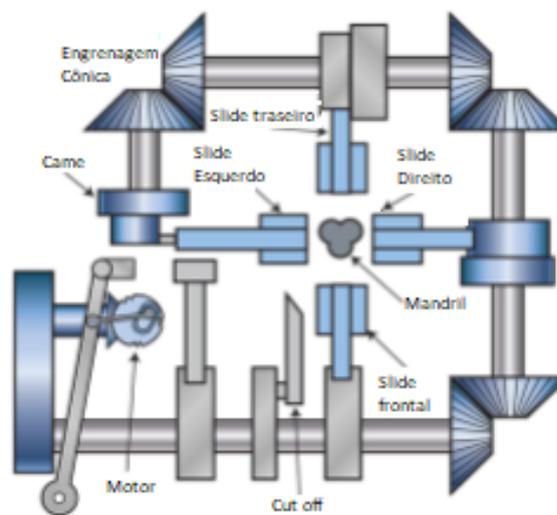
Para Staff (2023) a estampagem em quatro *slides*, também conhecida como estampagem de múltiplos *slides*, é um processo de conformação de metal usado para fabricar componentes de metal com formas complexas e tolerâncias apertadas. É um método de fabricação versátil e altamente eficiente, especialmente adequado para produzir peças a partir de fios de metal. A estampagem em quatro *slides* pode produzir formas complexas, apresentando múltiplas curvas e raios superiores a 90 graus.

Uma máquina de estampagem em quatro *slides* é equipada com múltiplas ferramentas, ou *slides*, que se movem ao longo de diferentes eixos da peça de trabalho. Esses *slides* podem realizar uma variedade de operações, incluindo dobragem, perfuração, corte e conformação, tudo em uma única passagem através do conjunto de matrizes. O processo começa alimentando um fio de metal na máquina, que então passa por uma série de operações à medida que os *slides* se movem e modelam o material de acordo com as especificações desejadas. A versatilidade da estampagem em quatro *slides* permite a criação de componentes altamente precisos e de alto volume. (Staff, 2023)

A máquina básica de estampagem de quatro slides é composta por um dispositivo de alimentação, quatro slides de formação de posição fixa e um mandril de formação (ferramenta central) suspenso por um suporte de ponte que atravessa o slide de ferramenta traseiro. Os slides são acionados por quatro eixos localizados ao

redor da máquina, conectados entre si por engrenagens cônicas. Essa disposição permite que um dos eixos seja impulsionado por um motor elétrico, o qual por sua vez aciona os outros três eixos. Cada eixo possui cames que movem os slides, os quais carregam ferramentas para cortar, em seguida, conformar o fio de metal ao redor do mandril. A geometria das ferramentas e do mandril determina a forma final da peça. Um esquema da máquina básica de quatro *slides* pode ser visto na Figura 4. (Ulintz, 2019)

Figura 4 - Esquema da máquina básica de quatro *slides*



Fonte: Metal Forming Magazine (2019, p.1, tradução nossa)

A cada ciclo da máquina, um condutor é produzido e o volume de produção das conformadoras de quatro *slides* é elevado, portanto há muitas peças saindo da máquina em um curto espaço de tempo. Para facilitar a montagem dos condutores na lâmina é necessário que estes cheguem à próxima estação de trabalho corretamente, dessa forma deve haver um sistema de transporte que garanta a chegada e o posicionamento dos condutores.

Para o bom funcionamento do sistema de transporte é importante conhecer e entender o processo de conformação pois variações como o corte incompleto das hastes, resultando em rebarbas, a má conformação e o fio de cobre deformado podem acarretar travamentos e entupimentos no sistema de transporte, assim é ideal que o condutor saia da máquina com o formato de *hairpin*.

3. CICLO PDCA

O processo de transporte do condutor de cobre após sua conformação envolve uma diversidade de fatores e podem acontecer problemas de diversas naturezas. Assim, optou-se por utilizar o ciclo PDCA (também conhecido como ciclo de Shewhart, seu idealizador, ou como ciclo de Deming, o responsável por seu desenvolvimento e reconhecimento) para dar suporte à melhoria do sistema.

De acordo com Carvalho e Paladini (2012) o ciclo PDCA consiste em quatro fases: P (Plan) é a fase de planejamento onde os problemas e as metas são definidos; D (Do) é a fase de testar as ações corretivas propostas; C (Check) é a fase para estudar se os procedimentos realmente funcionam; e A (Act) é colocar em prática ações específicas e contínuas para prevenir falhas e melhorar a qualidade. A Figura 5 ilustra o ciclo PDCA.

Figura 5 - Ciclo PDCA



Fonte: Marshall Junior et al. (2010, p. 78)

O ciclo PDCA é tipicamente utilizado no contexto do *kaizen* (a filosofia do melhoramento contínuo), que está associada à Manufatura Enxuta (Lean Manufacturing) e, por consequência, à Manutenção Produtiva Total (TPM – Total Productive Maintenance). O ciclo PDCA também pode estar inserido no Controle da Qualidade Total (TQC – Total Quality Control) ou em iniciativas isoladas de melhoria da qualidade.

Ao aplicar o ciclo PDCA na análise de problemas, a equipe de melhoria adota uma abordagem metodológica que evita decisões precipitadas sobre o problema. Isso possibilita um entendimento claro da situação, permitindo escolher o caminho mais eficiente em termos de tempo e custo, explorando todas as soluções potenciais disponíveis. (Marshall Junior et al., 2010)

Campos (2004) apresenta o ciclo PDCA aplicado à solução de problemas dividido em oito etapas conforme mostra a Figura 6.

Figura 6 - Ciclo PDCA aplicado à análise de problemas

PDCA	FLUXO-GRAMA	FASE	OBJETIVO
P	①	Identificação do problema	Definir claramente o problema e reconhecer sua importância.
	②	Observação	Investigar as características específicas do problema com uma visão ampla e sob vários pontos de vista.
	③	Análise	Descobrir as causas fundamentais.
	④	Plano de ação	Conceber um plano para bloquear as causas fundamentais.
D	⑤	Ação	Bloquear as causas fundamentais.
C	⑥	Verificação	Verificar se o bloqueio foi efetivo.
	⑦	(Bloqueio foi efetivo?)	
A	⑧ ^S	Padronização	Prevenir contra o reaparecimento do problema.
	⑨	Conclusão	Recapitular todo o processo de solução do problema para trabalho futuro.

Fonte: Campos (2004, p. 239)

Ao longo dos passos deste método utilizam-se várias técnicas e ferramentas, como: diagrama de causa e efeito, lista de verificação, estratificação, diagrama de Pareto, *brainstorming*, entre outras; conforme apresentado nas próximas seções. (Marshall Junior et al., 2010)

3.1. PLAN

Refere-se ao planejamento detalhado da ação que se pretende implantar, guiada por objetivos bem definidos. No desenvolvimento de uma ferramenta, muitas vezes estes objetivos são fixados sob forma de padrões que se pretende atingir. De

todo modo, o planejamento se guia por objetivos quantificados, o que garante sua plena definição e gera meios para a avaliação de seu alcance, a ser feita posteriormente. (Carvalho; Paladini, 2012)

Geralmente, as metas são derivadas do planejamento estratégico e refletem requisitos dos clientes, parâmetros ou características de produtos, serviços ou processos. Os métodos incluem os procedimentos e as orientações técnicas essenciais para alcançar essas metas. (Marshall Junior et al., 2010)

No âmbito da solução de problema essa fase do ciclo PDCA engloba a identificação do problema, a observação, a análise e o plano de ação, conforme mostrado na Figura 6.

3.1.1. Identificação do Problema

Definimos um problema como um resultado indesejável de um processo, que representa a diferença entre a situação atual de um item de controle e a meta. Assim, cada problema se apresenta como um desafio a ser superado para alcançarmos nossos objetivos. É importante saber identificar claramente nossos problemas e distingui-los das dificuldades cotidianas que encontramos. (Xenos, 2004)

Conforme Xenos (2004) devemos escolher, como problemas, parâmetros que podem ser itens de controle da manutenção e que apresentam resultados atuais diferentes dos valores desejados (metas); por exemplo: (1) alto índice de falhas dos equipamentos; (2) elevado custo de manutenção; (3) elevado estoque de peças de reposição.

É importante separar efeito de causa, pois um mesmo problema (efeito) pode ter várias causas, cuja eliminação ou controle, resolverá ou mitigará o problema. (Marshall Junior et al., 2010)

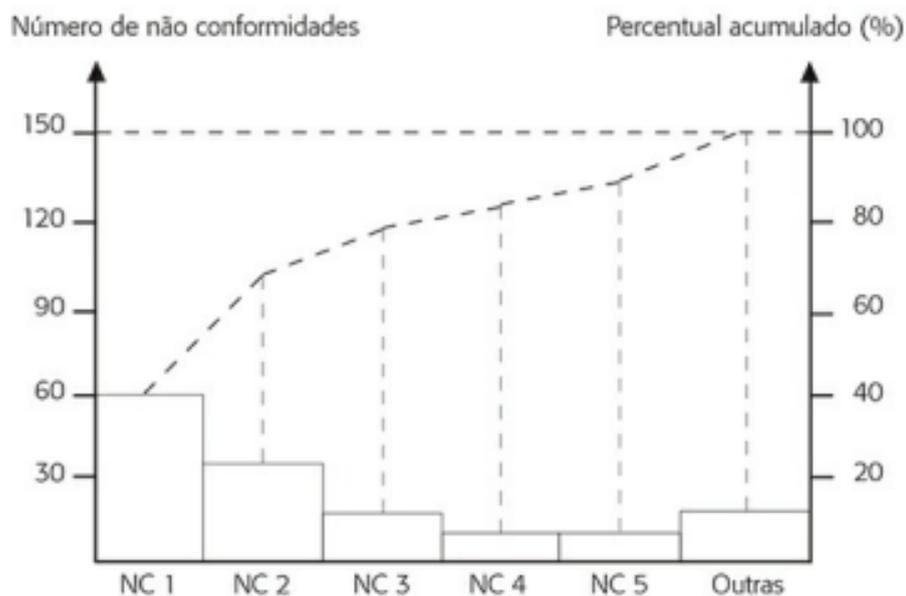
Para essa fase Campos (2004) sugere como ferramenta a ser empregada a análise de Pareto, pois segundo o autor a análise de Pareto permite priorizar temas e estabelecer metas numéricas viáveis.

A ideia inicial surgiu do princípio de Pareto, desenvolvido a partir do estudo sobre a desigualdade na distribuição de riquezas realizado por Vilfredo Pareto, um economista italiano do século XIX. Ele concluiu que aproximadamente 20% da

população (os poucos e vitais) possuíam cerca de 80% da riqueza total, enquanto os outros 80% da população (os muitos e triviais) detinham apenas cerca de 20%. Essa relação é comumente conhecida como a regra dos 80/20 (Marshall Junior et al., 2010). O princípio de Pareto basicamente afirma que um pequeno número de características do processo de fabricação (os vitais) causa a maioria dos problemas de qualidade na linha de produção, enquanto um grande número de características do processo de fabricação (os triviais) causa apenas uma pequena parte dos problemas de qualidade (Breyfogle, 2003).

O diagrama de Pareto sugere que certos elementos são críticos e devem receber prioridade na análise. Utiliza-se um modelo gráfico que classifica esses elementos em ordem crescente de importância, da esquerda para a direita. Na linha horizontal do diagrama estão os elementos sob estudo, associados a uma escala vertical que pode representar medidas em unidades financeiras, frequências de ocorrência, percentuais, número de itens, entre outros. (Carvalho; Paladini, 2012)

Figura 7 - Exemplo de gráfico de Pareto



Fonte: Marshall Junior et al. (2010, p. 94)

No gráfico representado na Figura 7 a linha pontilhada, conhecida como linha percentual cumulativa, representa a contribuição de cada categoria para o total, ela inicia de zero na parte esquerda do gráfico e vai aumentando até chegar em 100%

na parte direita. No ponto em que a linha cruza com as barras individuais é o ponto em que a contribuição atinge determinado limite.

3.1.2. Observação

Segundo Campos (2004) na fase de observação, deverão ser descobertas as características do problema por meio da coleta de dados e da observação no local. O autor cita que o problema deve ser observado sob vários pontos de vista, como: tempo, local, tipo, sintoma, indivíduo e da investigação de alguns aspectos específicos. Além disso, conforme Campos (2004) deve ser feita também uma análise no local da ocorrência do problema para a coleta de informações suplementares que não podem ser obtidas na forma de dados numéricos.

3.1.3. Análise

Conforme Campos (2004) durante a análise deve ser formado um grupo de trabalho envolvendo todas as pessoas que possam contribuir para a identificação do problema. Segundo o autor, as técnicas mais empregadas nessa fase são a tempestade de ideias e o diagrama de causa e efeito.

Inicialmente, por meio de reuniões, é realizada uma tempestade de ideias (*brainstorming*) e anota-se o maior número possível de causas. A partir disto deve ser estabelecido a relação entre causa e efeito para as causas levantadas, construindo assim um diagrama. Na sequência as causas devem ser reduzidas por meio de eliminação das causas menos prováveis com base nos dados levantados no processo de observação e na experiência do grupo envolvido, priorizando apenas as causas mais prováveis (hipóteses), que devem ser verificadas por meio de estratificação e visitas no local. Com base nos resultados das experiências será confirmada ou não a existência de uma relação entre o problema (efeito) e as causas mais prováveis (hipóteses). (Campos, 2004)

O *brainstorming* (tempestade de ideias) é um processo de grupo em que os participantes emitem ideias de forma livre, sem críticas. A finalidade do *brainstorming* é detalhar as ideias originais e em um ambiente sem inibições. Por

meio desta ferramenta busca-se a diversidade de opiniões a partir de um processo de criatividade grupal. (Marshall Junior et al., 2010)

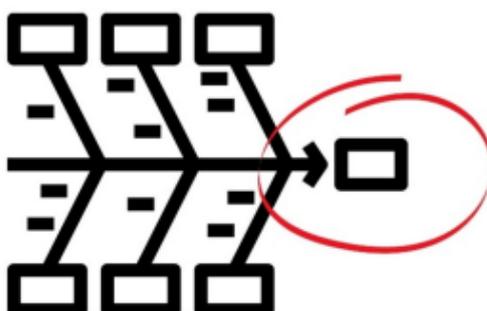
O *brainstorming* reverso opera com uma lógica similar ao *brainstorming* tradicional, mas com uma abordagem distinta. Em vez de iniciar com um tema ou desafio específico, a técnica começa com uma sessão onde o grupo de pessoas é orientado a listar o maior número possível de problemas relacionados a um tema, produto, serviço, entre outros. Essa fase inicial foca exclusivamente na identificação e mapeamento dos problemas. Posteriormente, após essa etapa de levantamento de problemas, o grupo passa a buscar soluções para cada um dos problemas identificados. (Barbosa, 2023)

A seguir, essas ideias serão dispostas na forma de um diagrama de causa e efeito (Diagrama de Ishikawa). O diagrama ilustra as causas principais de uma ação, resultado ou situação específica, com causas menos importantes convergindo para elas. Esse fluxo culmina no sintoma, resultado ou efeito final resultante de todas essas interações das causas. Ele proporciona uma visualização clara da relação entre as causas e os efeitos decorrentes delas. (Carvalho; Paladini, 2012)

As causas são agrupadas de acordo com categorias e semelhanças previamente estabelecidas ou percebidas no decorrer do processo de classificação. Dessa forma é possível atuar de modo mais específico e direcionado no detalhamento das causas elencadas. (Marshall Junior et al., 2010)

A Figura 8 mostra uma ilustração do diagrama de causa e efeito onde, de acordo com Souza (2021) é possível visualizar as espinhas principais, as secundárias (causas do problema elencadas) e a cabeça representa o problema analisado.

Figura 8 - Ilustração do diagrama de causa e efeito



Fonte: Souza (2021, p.23)

As espinhas dorsais representam as causas primárias. As causas primárias são provenientes de algum modelo utilizado. Não obstante, existem vários modelos que podem preencher essa parte. O modelo mais tradicional agrega as causas primárias em 6 grupos, também chamado de 6M ou método 6M, a saber: (M1) Meio Ambiente; (M2) Medida; (M3) Matéria-prima; (M4) Mão-de-obra; (M5) Método; e (M6) Máquina. (Souza, 2021)

3.1.4. Plano de Ação

Após identificadas as causas do problema será formado um plano de ação, que buscará estruturar as ações e as estratégias a serem tomadas para a correção dos defeitos.

O plano de ação pode ser entendido como um detalhamento dos objetivos, demonstrando de que forma a empresa os atingirá. O plano de ação atua como um direcionador e um facilitador para quem executa e gerencia a execução das ações. Um plano de ação pode incluir a definição de um problema, o prazo para cumprimento da ação, a instituição da ação corretiva ou de melhoria e a determinação do responsável pela ação. Além disso, deve apresentar uma sistemática de acompanhamento das ações que estão em fase de implementação ou das que já estão implementadas. (Costa Junior, 2008)

Para dar suporte à elaboração do plano de ação, é possível usar uma técnica (originária dos estudos da retórica) chamada de 5W2H. De acordo com Marshall Junior et al. (2010), o 5W2H é uma técnica utilizada principalmente no mapeamento e padronização de processos, na elaboração de planos de ação e no estabelecimento de procedimentos associados a indicadores. É de cunho basicamente gerencial e busca o fácil entendimento através da definição de responsabilidades, métodos, prazos, objetivos e recursos associados.

O método 5W2H é projetado para facilitar o planejamento de ações ao esclarecer questões, resolver dúvidas e auxiliar na tomada de decisões. Seu uso traz benefícios significativos, como a facilitação na compreensão dos fatos e uma melhor utilização das informações disponíveis. A ferramenta opera como um checklist composto por sete perguntas específicas, cujas iniciais em inglês

representam suas palavras-chave: *why* (por que), *what* (o que), *where* (onde), *when* (quando), *who* (quem), *how* (como) e *how much* (quanto custa). (Napoleão, 2018)

Figura 9 - 5W2H

Metodologia 5W2H	
What?	O que será realizado? Qual o assunto? Etapas de ação, descrição.
Who?	Quem são os responsáveis pela realização?
Where?	Onde será realizado? Localização, área.
When?	Quando será realizado? Tempo, datas, prazos.
Why?	Por que será realizado? Justificação, razão.
How?	Como será realizado? Método, processo.
How Much?	Quanto custa para realizar? Custos ou despesas envolvidas.

Fonte: IMBS (2018, p.2)

3.2. DO

Nesta etapa de implementação do planejamento, é essencial oferecer educação e treinamento para a aplicação dos métodos desenvolvidos no decorrer da fase de planejamento. Durante a execução, é importante coletar dados que serão utilizados na fase de verificação. (Marshall Junior et al., 2010)

A implementação das ações do plano deve ser acompanhada periodicamente por meio de reuniões de acompanhamento do plano de ação. Se o plano não for acompanhado, as ações corretivas não serão tomadas e as falhas voltarão a ocorrer. (Xenos, 2004)

3.3. CHECK

Esta fase é a avaliação, na qual os resultados da implementação do plano são comparados com os objetivos inicialmente definidos. É a essência do controle: comparar o que foi planejado com o que foi realizado. Durante esta etapa, analisa-se o alcance dos resultados que deveriam estar relacionados às ações propostas. Isso destaca o aspecto quantitativo das melhorias. É importante definir quais medidas serão utilizadas para avaliar a comparação entre os objetivos estabelecidos e os efeitos das ações implementadas. (Carvalho; Paladini, 2012)

De acordo com Xenos (2004) o objetivo do item de controle é expressar o resultado do processo de manutenção de maneira numérica. Se os resultados não são monitorados, não há gerenciamento. Por isso, os itens de controle são essenciais para um gerenciamento eficiente da manutenção.

Segundo Gonzalez et al. (2017) um indicador-chave de desempenho (KPI – Key Performance Indicators) é uma métrica que mede o quão bem uma organização ou um indivíduo executa uma atividade operacional que é crítica para o sucesso da organização. Usar indicadores-chave de desempenho (KPIs) permite que os interessados meçam o progresso em direção a um objetivo declarado.

Conforme Berrabah, Belkacemic e Zommouchi-Ghomari (2022) indicadores-chave de desempenho, ou KPIs, são medidas cruciais de avaliação de necessidades de manutenção para qualquer empresa industrial. Eles também permitem identificar as causas de falhas de equipamentos, direcionar como a manutenção utiliza seu tempo e recursos, identificar se a manutenção remove causas de falha e ajudar a impulsionar os benefícios comerciais fornecidos pela manutenção. Os autores ainda citam que entre os KPIs essenciais para a gestão de manutenção, temos o tempo médio para o reparo (MTTR – Mean Time To Repair), o tempo médio para a falha (MTTF – Mean Time To Failure), o tempo médio entre falhas (MTBF – Mean Time Between Failures) e eficiência global dos equipamentos (OEE – Overall Equipment Efficiency).

De acordo com Borris (2005) o tempo médio para reparo (MTTR) é uma medida dos sistemas de suporte: a habilidade da equipe técnica, a complexidade das falhas e a disponibilidade de peças de reposição. Segundo Berrabah, Belkacemic e Zommouchi-Ghomari (2022) pode ser definido como o tempo médio para devolver o equipamento ao seu estado funcional, seja aplicando um reparo ou substituindo completamente o componente defeituoso. Este indicador pode ser medido dividindo o tempo total de reparo pelo número de falhas do equipamento e sua forma matemática é mostrada na Equação 1.

$$MTTR = \frac{\text{Tempo total de reparo}}{\text{Número de falhas}} \quad (1)$$

O tempo médio para a falha (MTTF) é uma medida da confiabilidade do equipamento. O MTTF expressa o tempo de operação dividido pelo número de

falhas para um componente ou equipamento específico. A fórmula matemática para o cálculo do MTTF é mostrada na Equação 2.

$$MTTF = \frac{\text{Tempo de operação}}{\text{Número de falhas}} \quad (2)$$

Já o tempo médio entre falhas (MTBF – Mean Time Between Failures) inclui os tempos até a falha e os tempos até o reparo; portanto, o MTBF é a soma do MTTF com o MTTR.

De acordo com Pyzdek e Keller (2009) a eficiência global dos equipamentos (OEE) incorpora disponibilidade do processo, desempenho e qualidade em uma única métrica. O valor resultante do OEE pode ser usado para comparar e priorizar processos para melhoria. Segundo o autor, também é recomendado acompanhar e priorizar com base nos componentes individuais de Disponibilidade (A), Desempenho (P) e Qualidade (Q), uma vez que seus valores relativos podem fornecer benefícios de custo variados.

Conforme Pyzdek e Keller (2009) a Disponibilidade (A) do OEE é calculada como o tempo real em que o processo está produzindo o produto (ou serviço) dividido pelo tempo planejado para a produção. O tempo planejado, por definição, exclui todas as paradas programadas em que o equipamento não está operacional, o que pode incluir intervalos para almoço, pausas, entre outros. A porção restante do tempo planejado inclui o tempo disponível para produção e o tempo de inatividade. O tempo de inatividade é a perda de tempo de produção devido a trocas de turno, trocas de peças, espera por material ou falhas de equipamento.

Dessa forma, Nakajima (1988) cita que a disponibilidade de um equipamento pode ser calculada como a razão entre o tempo de operação e o tempo disponível no período e o modelo matemático para o cálculo da disponibilidade pode ser visto na Equação 3.

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{Tempo de operação}}{\text{Tempo disponível}} = \frac{MTTF}{MTTF+MTTR} \quad (3)$$

A indisponibilidade do equipamento, por sua vez, corresponde ao tempo em que ele está incapacitado de desempenhar sua função requerida. Este índice é

decorrente da disponibilidade e sua forma matemática pode ser representada conforme a Equação 4.

$$\textit{Indisponibilidade} = 1 - \textit{Disponibilidade} \quad (4)$$

3.4. ACT

Nessa fase, caso as metas planejadas não sejam alcançadas é necessário buscar as causas fundamentais a fim de evitar a repetição dos efeitos indesejados. Já no caso do alcance das metas planejadas é necessário adotar como padrão o planejado na primeira fase. (Marshall Junior et al., 2010)

Nesta fase, as melhorias começam a se manifestar e estabelece-se o ciclo da melhoria contínua, onde os resultados alcançados são analisados com atenção. Primeiramente, consolidam-se os ganhos da fase anterior por meio de uma avaliação criteriosa do que foi obtido. Em seguida, inicia-se um ciclo positivo ao determinar o que ainda pode ser desenvolvido com base nos progressos alcançados até então. (Carvalho; Paladini, 2012)

Como seria de se esperar, o ciclo é completado quando ocorre o retorno da última etapa (Act) para a etapa inicial de planejamento (Plan), evidenciando o esforço pela melhoria contínua. (Carvalho; Paladini, 2012)

4. ESTUDO DE CAMPO

O estudo de campo foi realizado em uma empresa do ramo automotivo fabricante de motores de partida, buscando a melhoria do sistema de transporte de condutores de fio de cobre, reduzindo a quantidade de paradas não programadas do equipamento, através do ciclo PDCA aplicado à análise e solução de problemas. O estudo aconteceu entre os meses de agosto de 2023 e março de 2024, sendo a implementação do estudo em agosto de 2023, a avaliação da eficácia da medida em novembro de 2023 e a avaliação da consolidação em março de 2024.

O equipamento que será analisado é uma máquina conformadora de fio de cobre do modelo quatro *slides*. No processo em questão a cada rotação 360° dos eixos da máquina o fio de cobre é puxado pelo carrinho, o esmalte é removido pelo cilindro decapador, na sequência conforme exemplificado na Figura 2, o fio é cortado pela faca indicada como “*cut off*”, depois é pressionado contra o mandril pelo movimento da ferramenta do *slide* frontal, então as ferramentas do *slide* esquerdo e do *slide* direito mantêm o fio pressionado para conformar enquanto a ferramenta do *slide* traseiro realiza o corte da ponta das hastes do condutor, resultando no produto em sua forma final. O volume de produção é elevado e a máquina opera em um ritmo médio de 100 rotações por minutos, ou seja 100 condutores saindo da máquina a cada 60 segundos, aproximadamente um condutor a cada 0,6 segundos.

Após um giro de 360° dos eixos da máquina o ciclo está concluído e o condutor segue por um sistema de transporte até a próxima estação de trabalho. O sistema de transporte consiste de um funil, um suporte, uma calha e uma corrente transportadora. A Figura 10 mostra o sistema de transporte e a Figura 11 mostra um desenho esquemático dele, indicando seus componentes.

O funil está posicionado logo abaixo do bloco de corte e conformação e é o canal de entrada para o condutor no sistema de transporte. Tem como função garantir que o condutor seja direcionado para a calha na posição correta, sem que ocorra o travamento ou o giro do condutor.

O suporte é fixado na base da máquina por meio de dois parafusos e fica logo abaixo do funil. É uma peça central de sustentação do sistema, serve como base para encaixe do funil e também como suporte para a fixação da parte superior da calha.

A calha é uma peça curva posicionada entre o suporte e a corrente transportadora e é por ela que o condutor percorre o maior caminho do sistema. A calha é direcionadora em formato curvo fixada em declive, essa peça garante que o condutor deslize até a corrente transportadora.

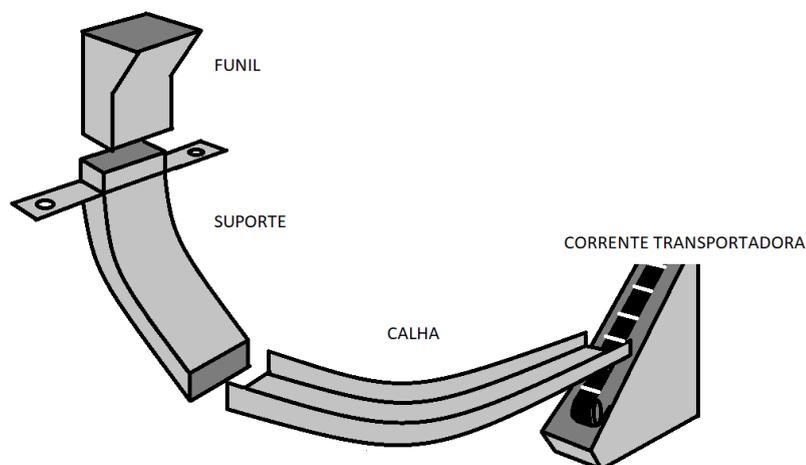
Figura 10 - Sistema de transporte de condutores



Fonte: Foto obtida para o trabalho

A corrente transportadora é o componente final do sistema de transporte, é impulsionada por um motor elétrico. Tem como função pescar o condutor na saída da calha e levar até o varal de condutores na próxima estação de trabalho. Além disso, suas paredes de proteção servem como fixação inferior para a calha.

Figura 11 - Componentes do sistema de transporte



Fonte: Figura elaborada para o trabalho

A proposta deste trabalho é de seguir os passos do ciclo PDCA aplicado à solução de problemas, inicialmente identificando o problema no sistema de transporte, na sequência analisando as possíveis causas e gerando um plano de ação e por fim colocando as ações em prática e verificando a eficácia.

4.1. PLAN

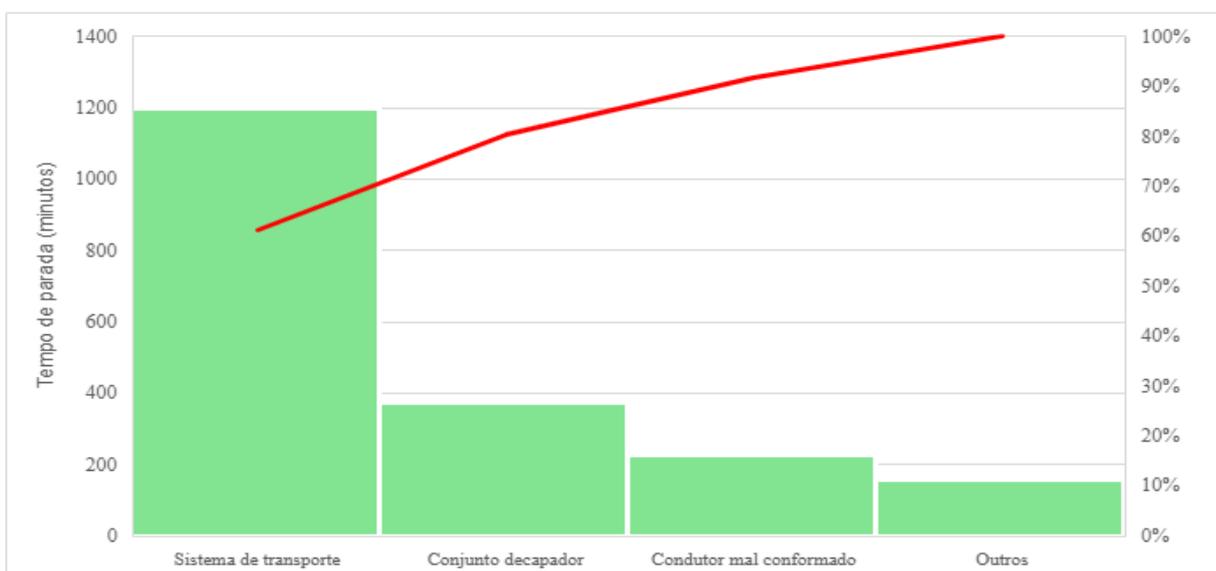
Na fase de planejamento foi identificado e observado o problema com o auxílio de estratificação de dados e gráfico de Pareto, seguido por uma análise por meio de técnicas como *brainstorming* e diagrama de causa e efeito (diagrama de Ishikawa), conforme apresentado a seguir.

4.1.1. Identificação do Problema

No estudo em questão será analisada a elevada indisponibilidade do equipamento devido às paradas não programadas para manutenção no mês de agosto de 2023 na linha de montagem.

Por meio do levantamento de dados de manutenção é possível traçar o gráfico de Pareto para as falhas do equipamento no mês em questão, conforme mostra a Figura 12.

Figura 12 - Gráfico de Pareto



Fonte: Gráfico elaborado para o trabalho

A partir da análise de Pareto pode-se perceber que o sistema de transporte possui o maior percentual sobre as falhas, com um valor acumulado de 65%, enquanto o conjunto decapador possui um valor acumulado de 15%, completando o valor de 80% acumulado sobre o valor total, fechando a regra dos 80/20 proposta por Pareto. Para esse estudo, devido a complexidade do sistema decapador e pelo fato de o sistema de transporte possuir maior parcela sobre o valor total, o foco da análise será o sistema de transporte, com o conjunto decapador discutido em uma futura análise. Dessa forma o problema definido é a indisponibilidade no equipamento causada pelas falhas no sistema de transporte dos condutores, com a meta de reduzir o indicador de indisponibilidade pela metade.

4.1.2. Observação

Após a definição do problema foram estratificados os dados das falhas referentes ao sistema de transporte no período citado com base nos apontamentos de manutenção. Os dados são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Estratificação dos dados das falhas

Sistema	Quantidade de paradas	Tempo de parada (minutos)
Calha	78	631
Corrente transportadora	38	353
Funil	25	213
TOTAL	141	1197

Fonte: Tabela elaborada para o trabalho

A partir disso é possível observar a influência de cada um dos sistemas em relação às paradas do equipamento.

Além disso, com o tempo total e a quantidade de paradas referentes às falhas no sistema de transporte foram levantados os resultados de indisponibilidade e tempo médio para a falha (MTTF) do equipamento para o mês de agosto de 2023, conforme mostrado na Tabela 2 (vide página 40).

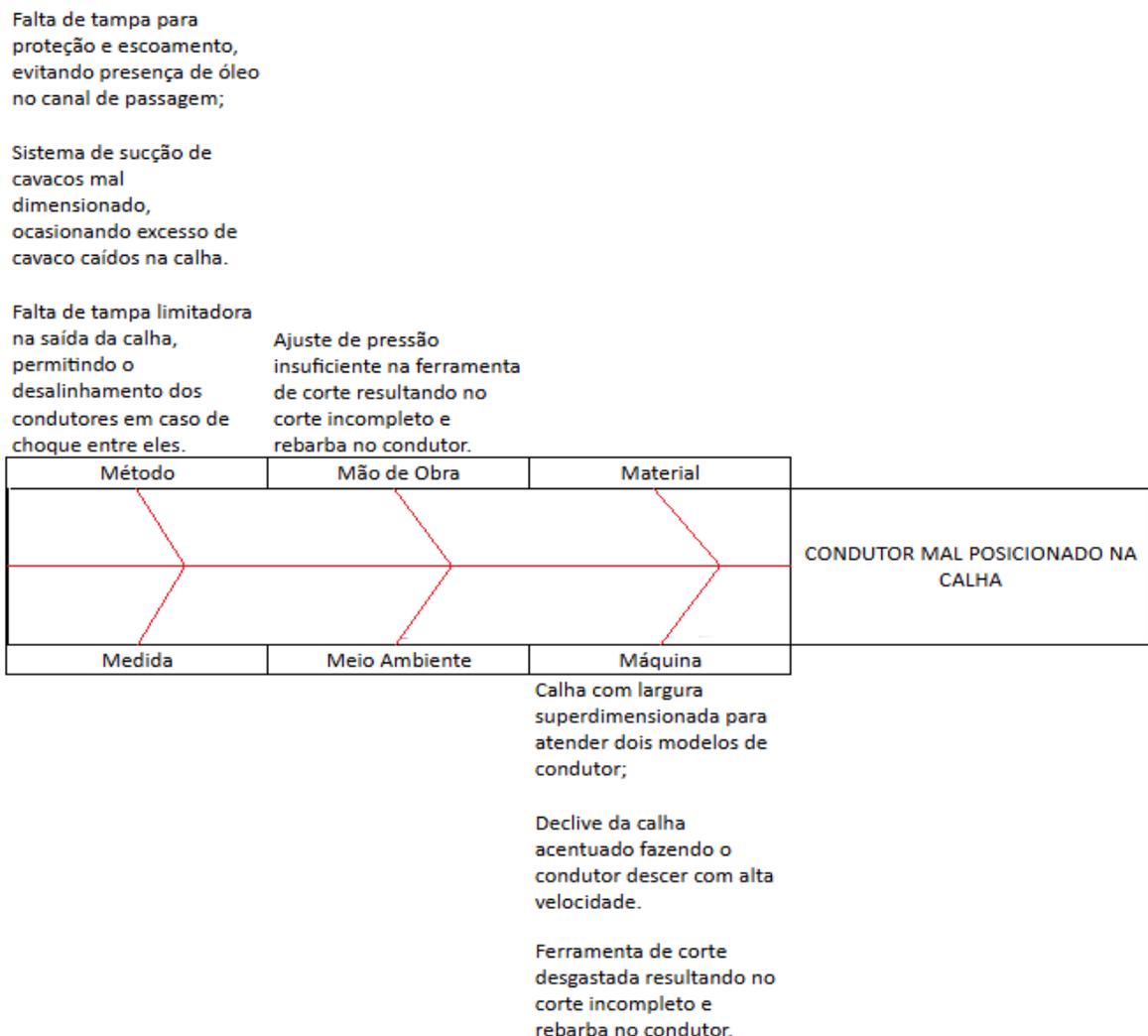
4.1.3. Análise

Para a análise do problema reúne-se um grupo multidisciplinar envolvendo manutenção, engenharia de manufatura, produção e qualidade.

No primeiro encontro foi realizado um *brainstorming* reverso e várias ideias surgiram como possíveis problemas do sistema. A partir das ideias iniciais foi realizado uma investigação e uma validação “in loco” contando com a experiência dos operadores e técnicos manutentores.

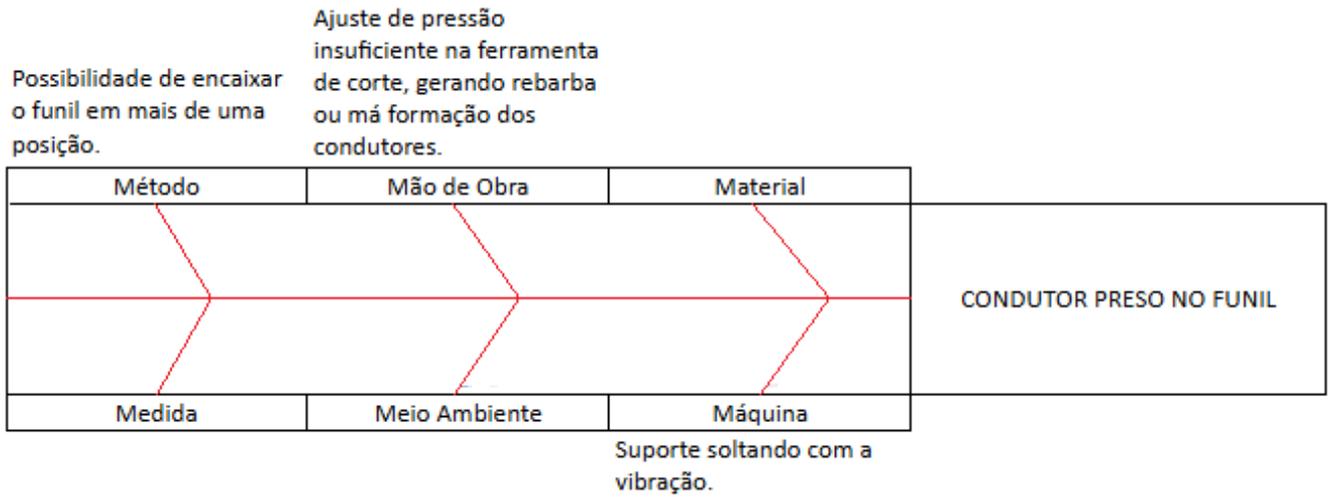
Por fim, o grupo optou por tratar cada componente do sistema de forma individual. Assim, foram elaborados diagramas de causa e efeito para cada um dos componentes, conforme mostram as Figuras 13,14 e 15.

Figura 13 - Diagrama de causa e efeito da calha



Fonte: Elaborado para o trabalho

Figura 14 - Diagrama de causa e efeito do funil

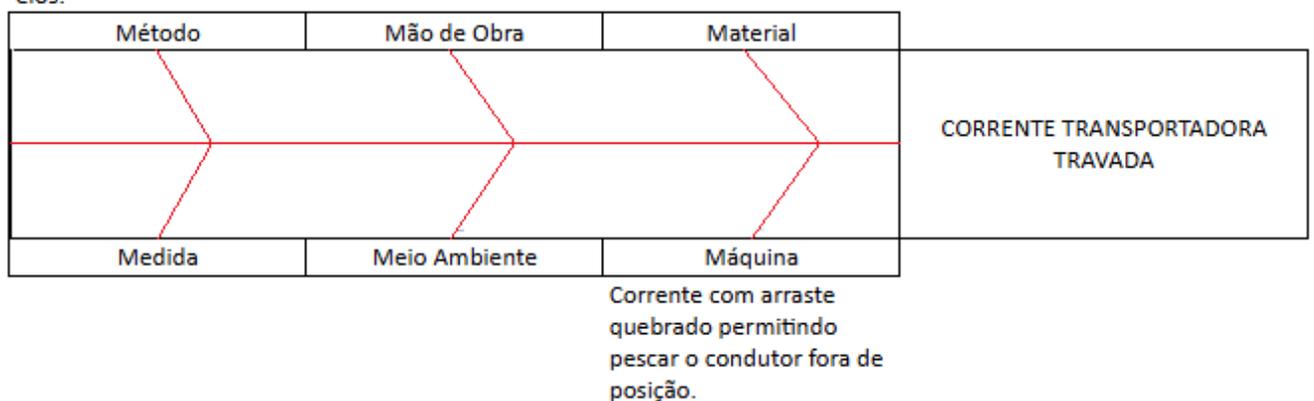


Fonte: Elaborado para o trabalho

Figura 15 - Diagrama de causa e efeito da corrente transportadora

Presença de vão entre a corrente e a parede de proteção permitindo o atravessamento de condutores;

Sistema de sucção de cavacos mal dimensionado, ocasionando excesso de cavaco caídos na calha, que conseqüentemente chegam até a corrente e acabam caindo entre os elos.



Fonte: Elaborado para o trabalho

4.1.4. Plano de Ação

Com as principais causas mapeadas e validadas, um plano de ação foi gerado baseado no 5W2H, onde a coluna referente ao onde (*Where?*) em todos os casos se aplica ao mesmo local, que é a linha de montagem, e as colunas referente aos custo (*How much?*) será omitida deste trabalho por questão de confidencialidade. As ações voltadas a calha foram tratadas com maior criticidade visto que é o componente com maior influência nas paradas do equipamento por falha no sistema de transporte. O plano de ação é mostrado no Quadro 1.

Quadro 1 - Plano de ação

O que (What?)	Quem (Who?) / Quando (When?)	Por que (Why?)	Como (How?)
Projetar e fabricar nova ponteira para a calha	Setor de engenharia/ Até 15/09/23	Para garantir que o condutor chegue mais alinhado à corrente, estreitando as paredes, incluindo tampa limitadora, diminuindo o declive e fechando o vão entre a corrente transportadora e a parede de proteção.	Serão realizadas as medições na calha para dimensionamento da ponteira e criado um projeto para enviar para fabricação.
Projetar e fabricar bandeja para escoamento do óleo de lubrificação	Setor de engenharia/ Até 15/09/23	Para evitar que o óleo proveniente da lubrificação caia no canal de passagem do condutor	Será realizado medições do espaço na máquina para dimensionamento da bandeja e criado projeto para enviar para fabricação.
Substituir a corrente transportadora	Setor de manutenção/ Até 22/09/23	Para restabelecer todos os arrastes à condição original	Retirar a corrente antiga e passar a nova corrente pelas engrenagens.
Projetar e fabricar novo cone de sucção com dimensões maiores	Setor de engenharia/ Até 29/09/23	Para evitar o acúmulo de cavacos, aumentando a área de entrada e melhorando a conexão com o aspirador	Será realizado medições do espaço na máquina para dimensionamento do cone e criado projeto para enviar para fabricação
Comprar parafusos para o suporte	Setor de compras e manutenção/ Até 29/09/23	Para melhorar a fixação na base da máquina	Consultar modelo no manual do equipamento e enviar pedido de compra.
Ajustar e desamassar o topo do suporte	Setor de manutenção/ Até 29/09/23	Para garantir o posicionamento correto do funil	Desamassar o topo do suporte com auxílio de gabarito para encaixe do cone.
Passar um treinamento para os técnicos de processo referente a importância do corte das hastes e a influência no sistema de transporte	Setor de engenharia/ Até 06/10/23	Para garantir que os técnicos tenham o conhecimento necessário para ajustar a pressão e substituir a ferramenta do bloco de corte	Montar treinamento e reunir técnicos para assistir.

Fonte: Quadro elaborado para o trabalho

4.2. DO

Com o plano de ações definido foram marcados dois encontros para acompanhamento do desenvolvimento das ações com o time, a fim de garantir o cumprimento dos prazos. Ao fim do período estipulado, todas as ações foram implementadas.

4.3. CHECK

Com a conclusão de todas as ações de melhoria propostas no plano de ação é necessário acompanhar o comportamento do equipamento e verificar o desempenho das ações tomadas.

A alteração mais crítica foi realizada na ponteira da calha, onde uma nova peça foi desenvolvida atendendo a todos os critérios levantados na primeira ação conforme mostra a Figura 16.

Figura 16 - Ponteira da calha



Fonte: Foto obtida para o trabalho

Foi desenvolvida uma bandeja para escoamento do óleo, atendendo aos critérios da segunda ação do plano, conforme mostra a Figura 17.

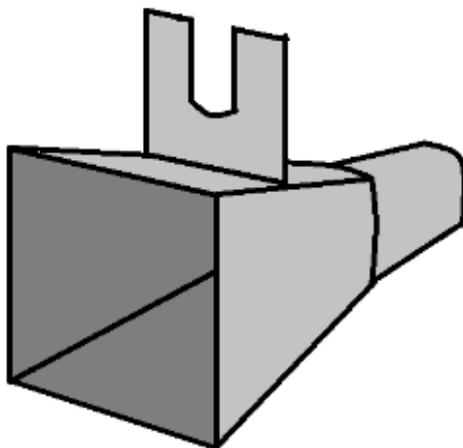
Figura 17 - Bandeja para contenção do óleo



Fonte: Foto obtida para o trabalho

Um novo cone para a sucção de cavacos foi projetado atendendo os requisitos levantados na quarta ação, conforme mostra a Figura 18.

Figura 18 - Novo cone de sucção



Fonte: Foto obtida para o trabalho

As demais ações foram concluídas atendendo aos critérios estipulados pelo plano de ação.

Como os dados dos indicadores estratégicos são calculados e discutidos de forma mensal, aguardou-se o período de um mês após o mês da conclusão da

última ação para obter e calcular o desempenho do equipamento após as melhorias, sendo assim o cálculo foi baseado no mês de novembro. Os resultados obtidos são mostrados na Tabela 2.

4.4. ACT

Após o acompanhamento do desempenho das ações tomadas, comparou-se os resultados do equipamento antes e depois para validar a eficácia ou a necessidade de reavaliar as melhorias implementadas. Através da Tabela 2 é possível observar os dados do equipamento no mês de agosto de 2023, mês de análise da falha, no mês de novembro de 2023, após as ações tomadas e no mês de março de 2024.

Os dados de tempo de operação programado mostrados na tabela (Item A) são referentes aos tempos disponíveis para produção em cada um dos meses, desconsiderando os tempos para paradas programadas, como refeição e limpeza. Esse tempo de operação programado varia de mês a mês dependendo da quantidade de dias úteis no mês e da demanda de produção.

Tabela 2 - Comparação dos resultados

Item	Mês	Agosto 2023	Novembro 2023	Março 2024
A	Tempo de operação programado (minutos)	23.745	20.874	23.153
B	Tempo de parada (minutos)	1.197	308	267
C = A - B	Tempo de operação (minutos)	22.548	20.566	22.886
D	Quantidade de paradas	141	49	26
E = B / D	MTTR (minutos)	8,49	6,28	10,26
F = C / D	MTTF (minutos)	159,91	419,16	880,23
G = F / (F + E)	Indisponibilidade (%)	5,30	1,50	1,15

Fonte: Tabela elaborada para o trabalho

Ao comparar os dados da Tabela 2 percebe-se uma grande melhora, reduzindo o tempo de parada não programada (Item B) devido a falhas no sistema de transporte e conseqüentemente reduzindo o indicador de indisponibilidade (Item G) e aumentando o indicador de tempo médio para a falha (MTTF), além disso o resultado de melhora permanece nos meses seguintes (vide resultado de março de 2024) e assim é possível afirmar que as ações tomadas foram eficazes. Porém ainda há registros de paradas por falhas no sistema de transporte evidenciando espaço para mais melhorias.

Para o valor do indicador de indisponibilidade é possível observar sua melhora, reduzindo de 5,30% para 1,50% de agosto para novembro de 2023, o que proporciona um aumento na produtividade do equipamento e o atendimento da meta, que era a redução do indicador de indisponibilidade pela metade. Para o indicador de MTTF é possível observar um aumento de 159,91 para 419,16 minutos, evidenciando uma melhora na confiabilidade do equipamento. Já para o indicador de MTTR, observou-se uma variação normal devido ao tempo de atuação dos técnicos de manutenção.

Pela Tabela 2, é possível observar ainda que os indicadores não pioraram de novembro de 2023 para março de 2024, o que demonstra que as melhorias no processo estão consolidadas. De fato, os indicadores neste período mostraram uma pequena melhora, o que pode ser explicada por ajustes feitos após a implementação das melhorias

5. CONCLUSÃO

Com base no desenvolvimento deste trabalho é possível afirmar que a utilização do ciclo PDCA se mostrou eficaz na análise das falhas do sistema de transporte de condutores, uma vez que foi possível observar uma redução significativa no tempo de paradas não programadas do equipamento, atingindo assim o objetivo proposto.

A implementação do ciclo PDCA permitiu uma abordagem estruturada para a resolução do problema proposto, permitindo identificar, analisar, agir e verificar de forma a garantir o cumprimento dos objetivos estabelecidos. Na fase de identificação foi definido o problema de forma clara e mensurável (estipulando a meta de redução da indisponibilidade). Na fase de análise fez-se o uso de ferramentas como o diagrama de causa e efeito para auxiliar na identificação das causas raízes do problema. Após a análise, na fase de planejamento foi desenvolvido um plano de ação estabelecendo assim um roteiro para as ações de melhoria. Na fase de implementação as ações planejadas foram implementadas de forma eficiente, com ajustes e adaptações conforme necessário para otimizar o processo de transporte. Por fim, na fase de validação foram comparados os dados obtidos antes da fase de implementação com os dados após a implementação, evidenciando a redução no tempo de indisponibilidade do equipamento e a conclusão do objetivo proposto.

Os resultados obtidos com este trabalho demonstram não apenas a eficácia do ciclo PDCA como técnica de suporte para a melhoria contínua; mas, também sua aplicação na análise e solução de problemas. A redução no tempo de paradas não programadas e a melhoria nos indicadores de indisponibilidade e tempo médio para a falha (MTTF) do equipamento, além de aumentar a eficiência operacional, também contribui para a redução de custos e o aumento da competitividade da empresa no mercado.

É importante reconhecer que o êxito desta ferramenta deve-se ao comprometimento e envolvimento da equipe multidisciplinar, desde a identificação do problema até a implementação das ações propostas. Vale ressaltar a essencialidade do momento de formação da equipe, onde deve haver a escolha de integrantes com conhecimento sobre o processo produtivo e sobre o produto, que

possam contribuir com a solução do problema proposto, além da participação e da abertura nas reuniões, principalmente na fase de definição das causas.

Conforme visto no estudo de campo ainda há espaço para ações de melhoria no sistema de transporte, reforçando a importância das fases iniciais de planejamento, onde a identificação do problema e de suas causas deve ser bem estruturada, além da necessidade, mesmo após a implementação das melhorias, de continuar analisando o sistema buscando alternativas para alcançar um nível máximo de eficiência.

Por fim, este trabalho confirmou a importância da utilização de métodos estruturados na análise e solução de problemas, e que a aplicação do ciclo PDCA voltada ao sistema de transporte de condutores trouxe resultados benéficos para a organização. Mantendo a adoção de uma abordagem proativa e voltada à melhoria contínua, a empresa estará bem posicionada para lidar com as adversidades e alcançar um bom desempenho em todas as áreas de operação.

Como sugestões para trabalhos futuros indica-se o estudo para explorar a forma como a cultura organizacional pode influenciar a aplicação e o êxito do ciclo PDCA. Indica-se ainda conduzir um estudo para acompanhar as melhorias implementadas ao longo do tempo, observando pontos críticos de sucesso e desafios que ainda persistem. Além disso, indica-se um estudo futuro realizando uma análise no conjunto decaçador com a finalidade de reduzir o número de paradas não programadas para manutenção. Por fim, indica-se realizar um estudo comparativo entre diferentes métodos de melhoria contínua, além do PDCA, para identificar vantagens e desvantagens em contextos específicos.

REFERÊNCIAS

- ALVES, M. F. A.; SANTOS, A. **Sistemas Automóveis: Sistema de Arranque**. 2009. Estudo disponibilizado para a disciplina de Sistemas Automóveis, do 1º ano, do Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores - Departamento de Engenharia Electrotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2009.
- BARBOSA, J. Brainstorming Reverso: O que é e como colocar em prática. **LinkedIn**, 2023. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/brainstorming-reverso-o-que-%C3%A9-e-como-colocar-em-pr%C3%A1tica-barbosa>. Acesso em: 05 jul. 2024.
- BERRABAH, F. Z.; BELKACEMIC, C.; ZEMMOUCHI-GHOMARI, L. Essential and new maintenance KPIs explained. **International Journal of Education and Management Engineering**, v. 12, n. 6, p. 11–20, 2022.
- BORRIS, S. **Total Productive Maintenance: Proven strategies and techniques to keep equipments running at peak efficiency**. Nova York: McGraw Hill, 2005.
- BREYFOGLE, F. W. **Implementing Six Sigma: smarter solutions using statistical methods**. Nova Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2003.
- CAMPOS, V. F. **TQC - Controle da qualidade total (no estilo japonês)**. 8. ed. Nova Lima: INDG, 2004.
- CARVALHO, M. M.; PALADINI, E. P. **Gestão da qualidade: teoria e casos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- COSTA JUNIOR, E. L. **Gestão em processos produtivos**. Curitiba: Ibpex, 2008.
- GONZALEZ, E. et al. Key performance indicators for wind farm operation and maintenance. *In: Energy Proceedings of the 14th DEEP SEA OFFSHORE WIND R&D CONFERENCE (EERA DEEP WIND 2017)*, 18-20 jan. 2017, Trondheim, NOR. 2017. p. 559-570. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217353705>. Acesso em: 28 mai. 2024
- HAKO-LEHRMITTEL Produktkatalog. **Hako-Lehrmittel**, 2024. Disponível em: <https://hako-lehrmittel.de/de/produktkatalog/anlasser/>. Acesso em: 25 jun. 2024.
- IMBS. **Metodologia dos 5W2H**. Lisboa: IMBS, 2018.
- MARSHALL JUNIOR, I. et al. **Gestão da qualidade**. 10. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2010.
- NAKAJIMA, S. **Introduction to TPM: Total productive maintenance**. Portland: Productivity Press, 1988.
- NAPOLEÃO, B. M. 5W2H. **Ferramentas da Qualidade**, 2018. Disponível em: <https://ferramentasdaqualidade.org/5w2h/>. Acesso em: 05 jul. 2024.

PYZDEK, T.; KELLER, P. **The Six Sigma handbook: a complete guide for green belts, black belts and managers at all levels**. 3. ed. Nova York: McGraw Hill, 2009.

REUTERS, Produção e vendas de veículos avançam em junho no Brasil, mostram dados da Anfavea. **Infomoney**, 2024. Disponível em: <https://www.infomoney.com.br/economia/producao-e-vendas-de-veiculos-avancam-em-junho-no-brasil-mostram-dados-da-anfavea/>. Acesso em: 05 jul. 2024.

SOUZA, J. O. L. **Diagrama de Ishikawa: Diagnosticar e resolver problemas**. Série ferramentas de gestão. 1. ed. São Paulo, 2021.

STAFF, T. Fourslide Stamping: Process, Uses, Advantages, and Disadvantages. **Thomasnet**, 2023. Disponível em: <https://www.thomasnet.com/articles/custom-manufacturing-fabricating/fourslide-stamping/>. Acesso em: 14 abr. 2024.

ULINTZ, P. Slide Forming Processes. **Metal Forming Magazine**, 2019. Disponível em: <https://www.metalfformingmagazine.com/article/?/other-processes/slide-forming/slide-forming-processes>. Acesso em: 14 abr. 2024.

WIRTH, F. et al. Characterization of rectangular copper wire forming properties and derivation of control concepts for the kinematic bending of hairpin coils. *In: Procedia Manufacturing of the 23rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATERIAL FORMING (ESAFORM 2020)*, 4-9 may. 2020, Cottbus, GER. 2020. p. 678-685. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978920312750>. Acesso em: 17 abr. 2024

XENOS, H. G. D. **Gerenciando a manutenção produtiva: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade**. Belo Horizonte: EDG, 2004.