

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

RAPHAEL GONÇALVES ROQUE

**MELHORIA DA CONFIABILIDADE E DISPONIBILIDADE DE UM ROBÔ
PALETIZADOR DE UMA INDÚSTRIA DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS POR MEIO
DA ANÁLISE DE FALHAS**

LONDRINA

2023

RAPHAEL GONÇALVES ROQUE

**MELHORIA DA CONFIABILIDADE E DISPONIBILIDADE DE UM ROBÔ
PALETIZADOR DE UMA INDÚSTRIA DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS POR MEIO
DA ANÁLISE DE FALHAS**

**Improving the reliability and availability of a palletizer robot for an agricultural
fertilization industry through failure analysis**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientadora: Janaína Fracaro de Souza Gonçalves.

LONDRINA

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

RAPHAEL GONÇALVES ROQUE

**MELHORIA DA CONFIABILIDADE E DISPONIBILIDADE DE UM ROBÔ
PALETIZADOR DE UMA INDÚSTRIA DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS POR MEIO
DA ANÁLISE DE FALHAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 24/novembro/2023.

Janaína Fracaro de Souza Gonçalves
Doutorado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Cláudia Santos Fiuza Lima
Doutorado em Engenharia Mecânica
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Roger Nabeyama Michels
Doutorado em Agronomia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LONDRINA

2023

RESUMO

No atual cenário industrial global, a competitividade e a paridade entre empresas estão em crescente ascensão, o que leva as companhias a buscarem formas mais eficientes e seguras de executar seus processos produtivos, seja especializando a mão de obra envolvida ou aprimorando tais operações. Este trabalho aplicou técnicas de análise de falhas por uma equipe especialmente formada para essa tarefa, em uma empresa de defensivos agrícolas. Com a devida aplicação das ferramentas de melhoria da qualidade dentro de um ciclo PDCA, em conjunto com a metodologia que auxilia a classificar quais as falhas que deverão ser investigadas e como, é possível identificar quais são as causas potenciais e causa raiz que levaram o item a falhar, gerando um plano de ação a fim de reduzir a ocorrência dessas falhas no maquinário industrial. Sendo possível concluir que, após a implementação de tais técnicas, ocorreu o aumento da disponibilidade e confiabilidade desse aparelho, e provavelmente, resultou na redução dos custos com manutenção e aumento do tempo de produção.

Palavras-chave: gestão da manutenção; melhoria contínua; tempo médio para reparos; tempo médio entre falhas.

ABSTRACT

In the current global industrial scenario, competitiveness and parity between companies are on the rise, which leads companies to look for more efficient and safer ways of carrying out their production processes, either by specializing the workforce involved or by improving these operations. This work applied failure analysis techniques by a team specially formed for this task at a pesticide company. With the proper application of quality improvement tools within a PDCA cycle, together with the methodology that helps classify which faults should be investigated and how, it is possible to identify the potential causes and root causes that led the item to fail, generating an action plan to reduce the occurrence of these faults in industrial machinery. It can be concluded that the implementation of these techniques has increased the availability and reliability of this equipment, and has probably resulted in a reduction in maintenance costs and an increase in production time.

Keywords: maintenance management; continual improvement; mean time between failures; mean time to repair.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Produção agrícola nacional 2021	14
Figura 2 – Produção agrícola nacional 2012-2021	15
Figura 3 – Mapa de jornada de um produtor rural para fertilização da lavoura	17
Figura 4 – Falha potencial x falha funcional	21
Figura 5 – Confiabilidade x Custos	22
Figura 6 – Evolução da manutenção	25
Figura 7 – Preventiva x Preditiva x Corretiva	27
Figura 8 – Seleção dos tipos de manutenção a serem aplicados	28
Figura 9 – Ciclo PDCA	30
Figura 10 – Círculo vicioso das falhas	31
Figura 11 – Diagrama de causa e efeito (Ishikawa)	34
Figura 12 – 5W2H	35
Figura 13 - Imagem ilustrativa de um robô paletizador	36
Figura 14 - Fluxograma da linha de envase	37
Figura 15 – Matriz de decisão para análise de falhas	38
Figura 16 – Ciclo de melhoria contínua: TAF	41
Figura 17 - Imagem ilustrativa de uma enchedeira	43
Figura 18 - Imagem ilustrativa de uma aplicadora de rótulos	44
Figura 19 - <i>Downtime</i> manutenção fábrica de envase (2019)	49
Figura 20 - <i>Downtime</i> manutenção fábrica de envase (2019)	51
Figura 21 - <i>Downtime</i> manutenção fábrica de envase (2021)	53
Figura 22 - <i>Downtime</i> manutenção fábrica de envase (2022)	55
Figura 23 - Diagrama de Ishikawa (Desvio 2020-00618)	57
Figura 24 - 5 Porquês (Desvio 2021-00564)	59
Figura 25 - Diagrama de Ishikawa (Desvio 2021-00873)	60
Figura 26 - Diagrama de Ishikawa (Desvio 2022-00435)	63
Figura 27 - Diagrama de Ishikawa (Desvio 2022-01083)	65
Figura 28 - <i>Downtime</i> manutenção fábrica de envase (2023)	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Número total de pessoas ocupadas no setor	16
Quadro 2 - Evolução da manutenção	18
Quadro 3 - Deveres do PCM	29
Quadro 4 - Exemplo de RCFA	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tempo de parada dos equipamentos em minutos.....	43
Tabela 2 - Falhas relacionadas ao robô (2017)	46
Tabela 3 - Falhas relacionadas ao robô (2018)	46
Tabela 4 - Falhas relacionadas ao robô (2019)	49
Tabela 5 - Falhas relacionadas ao robô (2020)	51
Tabela 6 - Falhas no robô (2021).....	52
Tabela 7 - Falhas relacionadas robô (2022)	53
Tabela 8 - Indicadores relacionados as falhas do robô	67
Tabela 9 - Falhas relacionadas robô (2023)	71
Tabela 10 – Indicadores de manutenção de 2019 a 2023.....	72

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVO	12
2.1	Objetivo específico	12
3	JUSTIFICATIVA	13
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
4.1	Agronegócio e a indústria de defensivos agrícolas	14
4.2	Histórico da manutenção	17
4.3	Conceitos sobre manutenção	19
4.3.1	Definições.....	20
4.3.2	Conceitos ligados a indicadores	21
4.4	Tipos de manutenção	24
4.4.1	Manutenção corretiva não planejada.....	25
4.4.2	Manutenção corretiva planejada.....	25
4.4.3	Manutenção preventiva	26
4.4.4	Manutenção preditiva	26
4.4.5	Manutenção detectiva	27
4.4.6	Manutenção prescritiva	27
4.4.7	Engenharia de manutenção	28
4.4.8	Matriz de escolha do tipo manutenção	28
4.5	Planejamento e Controle da Manutenção (PCM)	29
4.6	Ciclo PDCA	29
4.7	Análise de falhas	30
4.8	Identificando as causas fundamentais da falha	32
4.8.1	<i>Root Cause Failure Analysis (RCFA)</i>	33
4.8.2	Diagrama de Ishikawa	33
4.8.3	5W2H	35
5	METODOLOGIA	36
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
6.1	Escolha do equipamento	43
6.2	Agrupamento de dados	44
6.2.1	Dados de 2017	45
6.2.2	Dados de 2018	46
6.2.3	Dados de 2019	48

6.2.4	Dados de 2020	50
6.2.5	Dados de 2021	52
6.2.6	Dados de 2022	53
6.3	Análise dos desvios	56
6.3.1	Desvios de 2020.....	56
<u>6.3.1.1</u>	<u>Desvio 2020-00618</u>	<u>56</u>
6.3.2	Desvios de 2021.....	58
<u>6.3.2.1</u>	<u>Desvio 2021-00564</u>	<u>58</u>
<u>6.3.2.2</u>	<u>Desvio 2021-00873</u>	<u>59</u>
<u>6.3.2.3</u>	<u>Desvios de 2022.....</u>	<u>61</u>
<u>6.3.2.4</u>	<u>Desvio 2022-00421</u>	<u>61</u>
<u>6.3.2.5</u>	<u>Desvio 2022-00435</u>	<u>62</u>
<u>6.3.2.6</u>	<u>Desvio 2022-00691</u>	<u>64</u>
<u>6.3.2.7</u>	<u>Desvio 2022-01083</u>	<u>65</u>
6.4	Indicadores relacionados as falhas do robô paletizador.....	67
6.5	Ações registradas no começo de 2023	69
6.6	Dados de 2023 (Até outubro).....	70
6.7	Ações futuras.....	73
6.8	Discussões gerais	73
7	CONCLUSÃO	75
	REFERÊNCIAS.....	77

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores de alimentos das últimas duas décadas, só no ano de 2020, o país foi o quarto maior produtor e o segundo maior exportador de grãos do mundo (EMBRAPA, 2020). Por ser um dos maiores exportadores de alimentos, o país também se tornou um dos maiores consumidores de defensivos agrícolas, estima-se que é utilizado, anualmente, uma quantidade superior a 300 mil toneladas desse tipo de produto, cerca de 12% da quantidade consumida no mundo (Campos *et al.*, 2021; EMBRAPA, 2021).

A indústria de defensivos implantada no Brasil, vem crescendo de forma significativa desde a década de 1970, devido à alta no consumo desse tipo de insumo, estima-se um aumento de cerca de 700% nos últimos 40 anos. Em busca de uma maior industrialização, para substituir as importações, o estado, foi o principal agente que viabilizou tal mudança, por intermédio de incentivos fiscais e créditos consignados (Terra, 2008; EMBRAPA, 2021; Peres, 1999).

No meio industrial o aumento da confiabilidade e disponibilidade dos maquinários é diretamente proporcional ao aumento da rentabilidade, principalmente dos equipamentos que são potencialmente perigosos, por apresentar algum tipo de risco para os colaboradores a sua volta. O mecanismo que certifica o bom funcionamento dessas máquinas é a gestão de manutenção alinhada as técnicas de confiabilidade (Kardec e Nascif, 2019).

A gestão inteligente dos maquinários, permite evitar falhas em potencial ou defeitos, antes mesmo que eles ocorram. Além disso, as técnicas utilizadas para o aumento da confiabilidade garantem uma melhor gestão do ciclo de vida do item. Um maquinário mais confiável, eficiente e mais disponível para realizar suas funções requeridas, reduz os custos de produção e a probabilidade de ocorrer um acidente de trabalho o que leva a uma maior rentabilidade e maior remuneração dos colaboradores da empresa (Kardec e Nascif, 2019).

O presente trabalho foi desenvolvido por meio de um estudo de caso em um robô paletizador, em uma empresa do setor agropecuário, em específico, do segmento de defensivos agrícolas, que fica situada no sul do país e tem por característica elevada produção de acordo com as épocas de safra, estruturada em um processo contínuo de produção, que tem por principal aspecto, a não dependência direta entre o ritmo de trabalho e a produtividade. Depende mais do bom

funcionamento dos equipamentos como um todo, ao invés do ritmo de trabalho dos operadores (Toledo, Ferro e Truzzi, 1986).

Desta forma, o setor de manutenção pode ser considerado o principal responsável, para que o chão de fábrica não pare de atuar e entregar a produção programada.

Este trabalho propõe que com uma boa análise de falhas, leva a uma gestão mais inteligente da produção e maior lucratividade para a empresa. Dessa forma, o objetivo geral do projeto é melhorar a confiabilidade e disponibilidade de um equipamento industrial por meio da análise de falhas. Já os objetivos específicos buscam descrever a metodologia utilizada e os ganhos a se obter com ela.

Com a aplicação das técnicas abordadas em conjunto com as ferramentas mencionadas, ocorreu uma redução nas paradas no maquinário, resultando em um menor risco aos colaboradores envolvidos no processo, diminuição dos custos com manutenção e produção, aumento da produtividade e um crescente valor agregado ao produto.

2 OBJETIVO

Aplicar técnicas de análise de falhas em um robô paletizador, com foco em reduzir a quantidade de falhas e suas reincidências, aumentando assim sua disponibilidade e confiabilidade.

Os objetivos específicos são metas detalhadas e mensuráveis que contribuem para alcançar o objetivo geral de forma clara e direcionada. Devem ser mensuráveis, alcançáveis, relevantes, temporais e claros, proporcionando uma base estruturada para avaliação de progresso.

2.1 Objetivo específico

- Montar um Time de Análise de Falhas (TAF);
- Apresentar um modelo para a análise de falhas;
- Aplicar técnicas de análise de falhas;
- Monitorar as falhas que ocorrem no robô.

3 JUSTIFICATIVA

O atual cenário mundial no ramo industrial está apontando cada vez mais para a indústria 4.0, ou seja, maneiras mais tecnológicas e eficientes na gestão de todos os processos dentro e fora das fábricas, visando sempre o aumento de produção em paralelo com a diminuição dos custos.

Uma boa gestão da manutenção vem de encontro com tal movimento, pois um bom planejamento e controle da manutenção (PCM), gera o aumento da disponibilidade das máquinas, o que leva em uma maior produção, com os menores custos envolvidos.

O presente trabalho tem por objetivo mostrar como uma boa análise de falhas, pode tornar-se um dos principais fatores para aumento da disponibilidade dos maquinários do ambiente fabril, o que significa em um aumento da produtividade com a diminuição de custos, tendo em vista que os materiais e recursos serão melhor utilizados.

Com a boa prática de análise de falhas é possível estabelecer a causa raiz das falhas e identificar as contramedidas adequadas, com o devido armazenamento desses dados, pode-se identificar de forma mais eficiente futuras falhas e as devidas tratativas a serem tomadas, tornando o serviço mais competente (Xenos, 2014).

Desta forma, o departamento de manutenção está sempre no caminho da melhoria contínua de seus equipamentos e serviços.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será abordado o trabalho de outros autores, a fim de enriquecer as discussões abordadas posteriormente. Trabalhos que dissertam sobre o panorama geral do agronegócio no Brasil e no mundo, a indústria de defensivos agrícolas no Brasil, um breve histórico sobre a evolução da manutenção e suas técnicas, com é estruturada a gestão da manutenção e um ciclo de melhoria contínua, finalizando com a análise de falhas e suas técnicas.

4.1 Agronegócio e a indústria de defensivos agrícolas

A década de 1950 caracterizou-se por grandes mudanças no processo tradicional da produção agrícola, marcada pela utilização de novas tecnologias, principalmente, de agentes químicos, que aumentaram substancialmente a produtividade no campo. Estes compostos químicos, também conhecidos como defensivos agrícolas, atuam no controle de pragas e doenças. Esta década também ficou conhecida como “Revolução verde” (Ribas e Maturama, 2009).

No Brasil, esse processo iniciou-se na década de 1960-1970, com o incentivo governamental conhecido como Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR), com a condição de que parte do valor financiado pelo produtor deveria ser utilizado na compra de defensivos agrícolas, que na época, era sinônimo da modernização na lavoura (Peres, 1999).

No ano de 2020, o Brasil foi o quarto maior produtor mundial de grãos e o segundo maior exportador. Em 2021, a produção agrícola nacional bateu mais um recorde em receita, somando o valor da produção das principais culturas do país, atingiu R\$743,3 bilhões, um crescimento de 58,6%, em comparação a 2020, Figura 1.

Figura 1 – Produção agrícola nacional 2021

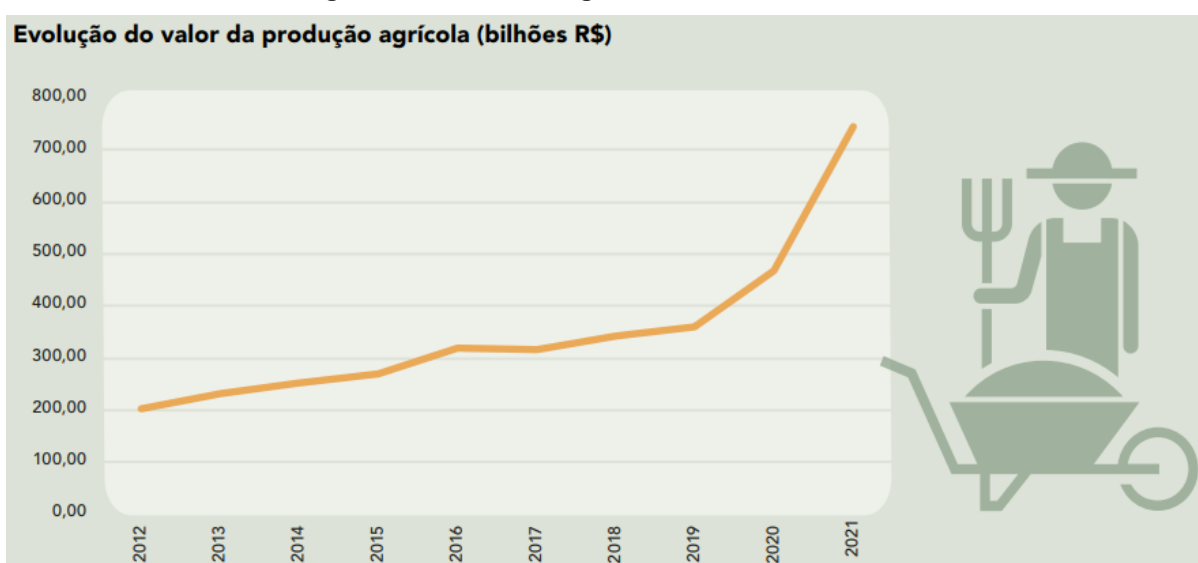


Fonte: IBGE (2021)

Observa-se que mesmo com a queda de 0,4% na produção de cereais, leguminosas e oleaginosas, em milhões de toneladas, em relação a 2020, houve um crescimento exponencial do valor de produção. Isto se deu pela alta demanda interna e externa das *commodities* agrícolas, em conjunto com a valorização do dólar, somado ao aumento dos valores dos combustíveis (IBGE, 2021).

A receita referente a produção agrícola nacional está em uma crescente desde 2012, com exceção de 2017, que obteve uma pequena queda em relação a 2016, Figura 2.

Figura 2 – Produção agrícola nacional 2012-2021



Fonte: IBGE (2021)

O setor de agronegócio pode ser separado em quatro seguimentos: insumos, primário, indústria e serviços. O ramo de defensivos agrícolas, encontra-se no segmento de insumos, em conjunto com: fertilizantes e corretivos para o solo, máquinas agrícolas, rações e medicamentos para animais (CNA, 2022).

Segundo CNA (2022), estima-se que o Produto Interno Bruto (PIB) do agronegócio brasileiro, para o ano de 2022, fique em torno de 25,5%. O que representa uma queda de 2,48% em relação ao ano de 2021 (27,5%), patamar recorde de PIB do agro no Brasil.

Esta queda se deu pela alta dos custos com insumos para a produção agrícola, ou seja, houve uma melhora no segmento de insumos, que obteve um crescimento de 22,53% em seu PIB para o primeiro semestre de 2022 (CNA, 2022).

A indústria de defensivos, que só perde para a indústria de fertilizantes e corretivos de solo em porcentagem de ganhos para o segmento de insumos, apresentou uma alta de 26,11% dos preços reais, no ano de 2022, somado a uma

estimativa de aumento de produção de 24,6%, para o mesmo período, em relação a 2021, resultando em uma estimativa de crescimento de 57,14% do faturamento anual da indústria de defensivos para o ano de 2022 (CNA, 2022).

No Quadro 1, observa-se que o segmento de insumos soma 235 mil trabalhadores em um total de 18.7 milhões de colaboradores no setor do agronegócio, o que corresponde a 0,25% do mercado de trabalho do Brasil.

Quadro 1 - Número total de pessoas ocupadas no setor

Segmentos	2021		2022
	1º trimestre	4º trimestre	1º trimestre
Insumos	218.212	233.997	235.654
Primário	8.309.760	8.622.056	8.471.114
Indústria	3.613.634	4.067.978	3.953.068
Serviços	5.497.360	6.083.885	6.076.947
Agronegócio	17.638.965	19.077.916	18.736.782
Brasil	87.082.019	95.747.458	95.275.256
Agro BR / Brasil total	20,26%	19,85%	19,67%

Fonte: Adaptado de CEPEA (2022)

No ano de 2010, o mercado mundial de defensivos movimentou por volta de 52 bilhões de dólares, só o Brasil foi responsável por 7,3 bilhões. As seis maiores empresas da época, representavam 66% desse valor de mercado, já no Brasil, as 10 maiores do setor, representavam 75% da venda nacional (EPSJV, 2012).

A partir do século XX, o aumento da necessidade global de alimentos obrigou o aumento da produtividade. Sabendo que as perdas de produção por pragas e doenças varia de 30% a 40%, houve a necessidade de combatê-las, a fim de aumentar a produção de alimentos (Yudelman *et al.*, 1998).

Na Figura 3, é apresentado um modelo para o processo de aquisição de um defensivo agrícola, que vai desde o estudo do solo, para identificar qual produto a ser utilizado naquela lavoura, até a aquisição e aplicação do componente químico.

Figura 3 – Mapa de jornada de um produtor rural para fertilização da lavoura



Fonte: NEVES et al. (2021)

Para Oliveira e Costa (2012), os defensores agrícolas, podem ser separados em: herbicidas, inseticidas, fungicidas, acaricidas, agentes biológicos de controle, defensivos à base de semioquímicos e produtos domissanitários.

4.2 Histórico da manutenção

A palavra manutenção é derivada do latim, significa “manter o que se tem”. Já o conceito de manutenção industrial teve origem por volta do século XVI, com a queda da manufatura para a produção industrial com o objetivo de manter as máquinas funcionando 24 horas por dia, sete dias na semana. Com o início da Segunda Guerra Mundial, a manutenção industrial tornou-se ainda mais essencial, com o tempo foram desenvolvidas diversas técnicas de organização, controle e planejamento das manutenções (Gregório e Silveira, 2018).

Manutenção pode ser definida como um conjunto de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida. A manutenção pode incluir uma modificação de um item (ABNT NBR 5462, 1994).

A manutenção passou por diversas transformações nas últimas décadas. Segundo Kardec e Nascif (2019), a introdução de equipamentos eletrônicos permitiu o avanço da automatização e o crescimento da demanda dos itens fabris.

Com o avanço dos estudos e suas aplicabilidades, a manutenção obteve um papel de extrema importância nos resultados de produtividade e lucratividade das empresas. Nessa evolução, as técnicas de gestão da manutenção tornaram-se uma ciência de alto grau técnico vinculada à confiabilidade.

No Quadro 2, observa-se que a evolução da manutenção pode ser dividida em seis gerações.

Quadro 2 - Evolução da manutenção

Ano	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2015	2020	2025
Gerações	1ª Geração											
		2ª Geração										
			3ª Geração									
				4ª Geração								
						5ª Geração						
									6ª Geração			

Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif (2019)

Os principais pontos a se destacar de cada geração são (Gregório e Silveira, 2018; Kardec e Nascif, 2019):

- 1ª Geração:

Os consertos dos ativos ocorriam após a falha, tinham uma visão de que os equipamentos se desgastavam com a idade e por isso falhavam e as técnicas de manutenção eram voltadas para o reparo.

- 2ª Geração:

Foi tomado como verdade que todos os equipamentos se comportavam de acordo com as mesmas características, uma alta mortalidade infantil, seguido de um período estável, com falhas aleatórias e o aumento das falhas por já estar no fim de vida, e para prevenir futuras falhas, foi adotado o planejamento manual da manutenção e a técnica de manutenção preventiva, aumentando a vida útil da máquina assim como a sua disponibilidade.

- 3ª Geração:

Com o avanço da tecnologia dos computadores, foi possível desenvolver softwares potentes que auxiliavam o planejamento, controle e gerenciamento das atividades de manutenção. A técnica de manutenção preditiva surgiu nesta época em conjunto com o monitoramento das condições dos itens, melhorando a relação custo-benefício.

- 4ª Geração:

A disponibilidade foi tornando-se a medida mais importante de desempenho com o passar do tempo, acompanhada da confiabilidade e manutenibilidade. Com o aumento das práticas de manutenção preditiva e monitoramento das condições dos equipamentos, a manutenção minimizou as intervenções na planta, pois diminuíram os números de manutenções corretivas e programadas.

Novos projetos passaram a priorizar propriedades voltadas para a confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade, além de incluírem as áreas de Engenharia, Manutenção e Operação. Geração em que surgiu a visão de Custo de Ciclo de vida da instalação.

- 5ª Geração:

Cada vez mais o foco das empresas apontava para os resultados, a fim de conseguir competitividade. O papel da manutenção era garantir que os ativos iriam operar dentro da sua máxima eficiência, ou seja, produzir na sua máxima capacidade e sem falhas não previstas.

Para isso, a manutenção preditiva e monitoramento das condições dos equipamentos passaram a ser *on-line* e *off-line*, além de o planejamento da vida do ativo ser feito desde o projeto, para reduzir falhas.

- 6ª Geração:

Com o início do conceito de indústria 4.0, o chão de fábrica ficou cada vez mais tecnológico e conectado. A utilização de *softwares* Ciber Físicos permitiu a modelagem, virtualização e simulação de produtos e processos.

A manutenção ficou cada vez mais inteligente, com, por exemplo, o monitoramento de parâmetros por sensores, computação em nuvem, inteligência artificial, captura e análise de dados, o que levou a uma elevada confiabilidade e disponibilidade dos ativos.

Geração em que surgiu a manutenção prescritiva, que além de prever, pode ofertar um meio para solução do problema. O aprendizado das máquinas é o principal recurso usado para as análises prescritivas.

4.3 Conceitos sobre manutenção

Para Xenos (2014), é preciso aprender alguns termos básicos sobre o gerenciamento da manutenção, com a finalidade de estabelecer uma melhor clareza sobre suas inter-relações e não apenas recitá-las de memória. Logo, nos itens 4.3.1

e 4.3.2 será explorado alguns dos principais fundamentos ligados às atividades de manutenção.

4.3.1 Definições

Neste capítulo, será abordado um pouco sobre as principais definições de termos ligados a engenharia da manutenção, como:

- Item:

Qualquer componente, subsistema, parte, equipamento, componente ou sistema que possa ser considerado individualmente (ABNT, 1994).

- Função:

Função ou combinação de funções para a qual o item foi desenhado, projetado ou montado (Neto, 2022).

- Falha em potencial:

Alteração das condições de um item em relação aos seus requisitos, de forma que a sua função normal, não seja atendida. Uma falha em potencial não torna o equipamento indisponível, mas a negligência dessa falha, como a postergação de seu conserto, pode levar o item a entrar em falha funcional, conseqüentemente a indisponibilidade (Filho, 2006).

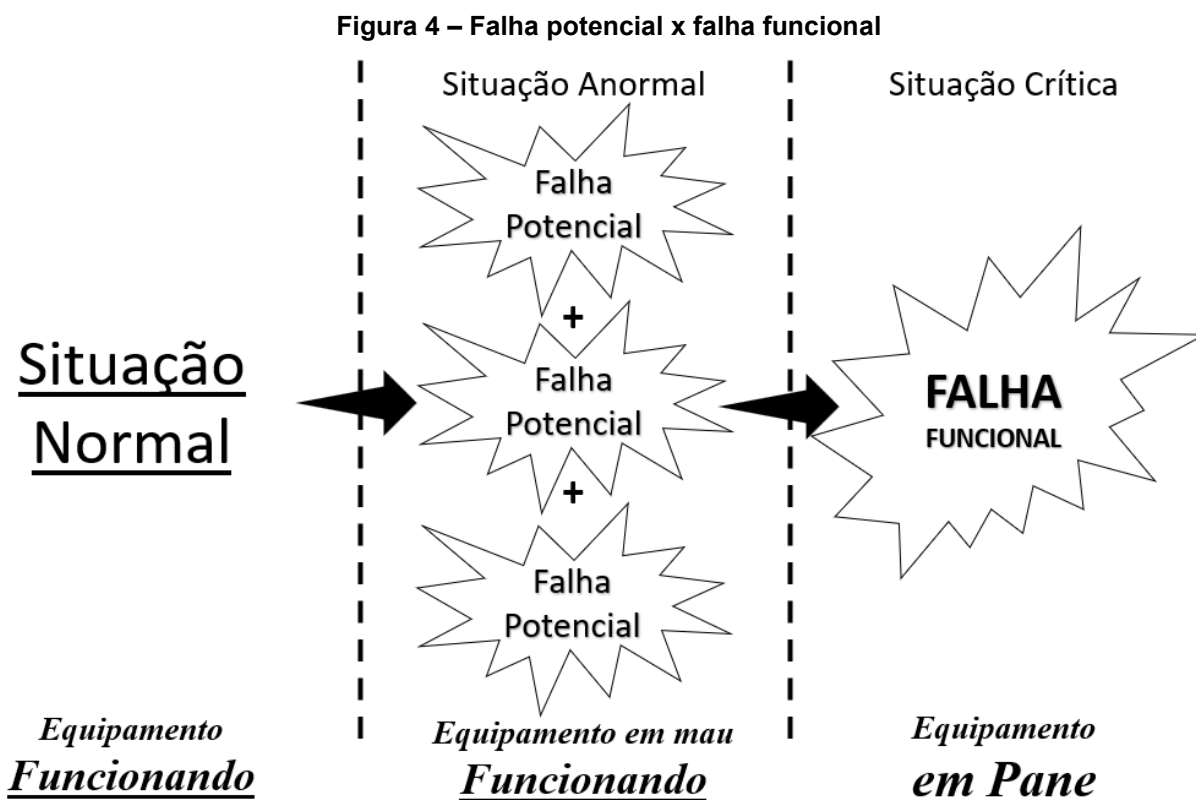
- Falha funcional:

Evento que determina o fim da capacidade de um item desempenhar sua função (ABNT, 1994).

- Pane:

Estado que caracteriza a incapacibilidade de um item exercer sua função. Normalmente, ocorre após uma falha, embora possa existir sem um defeito ou falha anterior, neste caso, seria uma pane repentina, sem aviso prévio (Gregório e Silveira, 2018).

Na Figura 4, é exemplificado como um item em estado normal de operação pode passar a apresentar falhas em potencial, e quando não são tomadas as devidas tratativas, podem gerar uma falha funcional, tirando o equipamento de operação, um estado de pane. Lembrando que o maquinário pode saltar de uma situação normal de trabalho para um estado de pane, neste caso é conhecido como “mortalidade infantil” (Gregório e Silveira, 2018; Kardec e Nascif, 2019).



Fonte: Autoria própria (2022)

- Indicadores:

Os indicadores ou métricas, são utilizados para avaliar a performance do processo, da máquina ou do produto fabricado. E eles devem ter as seguintes características: deve-se adotar poucos indicadores, devem ser acompanhados de perto, devem ser objetivos e claros, devem influenciar as decisões tomadas e devem refletir a estratégia organizacional (Gregório e Silveira, 2018).

4.3.2 Conceitos ligados a indicadores

Este tópico apresentará quais os principais conceitos de engenharia de manutenção que podem ser atrelados a indicadores, que podem ou não serem utilizados, e como calcular alguns deles, como:

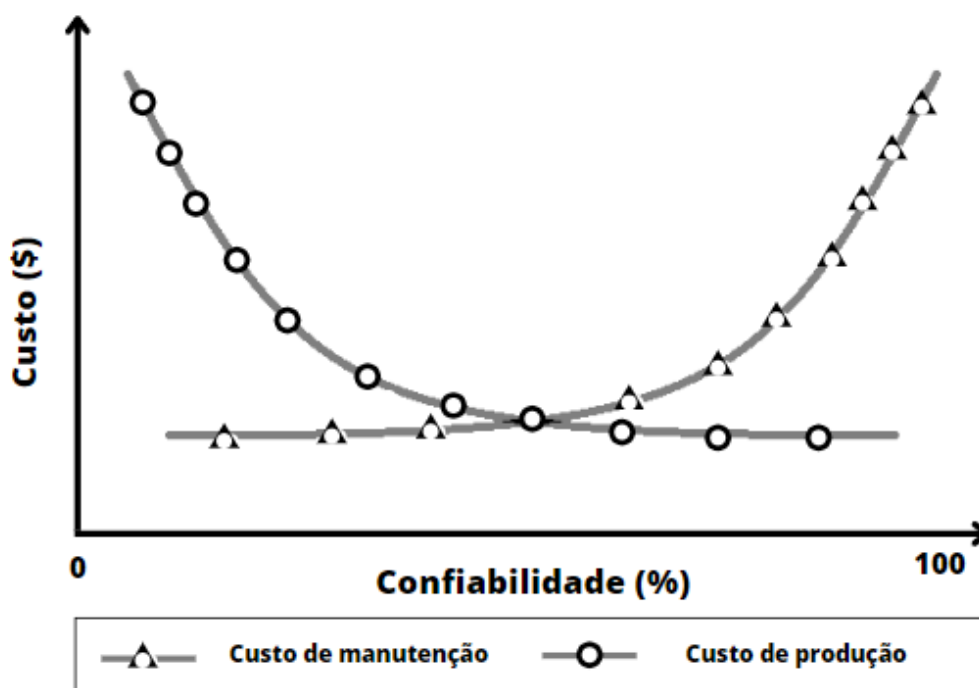
- Confiabilidade:

Para Eldayed (1996), a confiabilidade é a capacidade de um item ou serviço desempenhar sua função requerida, sem falhas sob as condições definidas de uso, em um dado intervalo de tempo, a vida de projeto, ou seja, é uma probabilidade.

Conforme o processo torna-se mais confiável, os resultados gerados por ele serão melhores, mas a confiabilidade começa a fazer mais sentido quando relacionada ao lado financeiro (Kardec e Nascif, 2019).

Como é observado na Figura 5, conforme aumentamos a confiabilidade de um equipamento, automaticamente aumentamos os custos envolvidos em manutenção, mas abaixamos os custos relacionados a produção.

Figura 5 – Confiabilidade x Custos



Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif (2019)

O termo também é utilizado como uma métrica de desempenho de confiabilidade, representado por $R(t)$, e é calculado de acordo com a seguinte expressão (Gregório e Silveira, 2018; Kardec e Nascif, 2019):

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (1)$$

Onde:

$R(t)$ = confiabilidade a qualquer t .

e = base dos logaritmos neperianos ($e = 2,718$).

λ = taxa de falhas.

t = tempo previsto de operação.

- Taxa de falhas (λ):

A taxa de falhas é a frequência com que as falhas ocorrem em um determinado período de operação, representada pela seguinte função (Gregório e Silveira, 2018; Kardec e Nascif, 2019):

$$\lambda = \frac{\text{Número de falhas}}{\text{Número de horas de operação}} = \frac{1}{MTBF} \quad (2)$$

Onde:

MTBF = tempo médio entre falhas (TMEF).

- MTBF:

O MTBF (do inglês, *Mean Time Between Failures*), é a média dos tempos entre os reparos feitos em um equipamento, retratado por (Gregório e Silveira, 2018; Kardec e Nascif, 2019):

$$MTBF = \frac{\text{Somatório das horas de trabalho em bom funcionamento}}{\text{Número de paradas para manutenção corretiva}} \quad (3)$$

- Produtividade:

Para Gregório e Silveira (2018), produtividade, ou fator de produtividade na manutenção, é a parcela de tempo que o funcionário destina para realizar as tarefas pelas quais foi contratado.

- Eficiência:

Na manutenção a eficiência é a capacidade de um item executar seu trabalho de modo eficiente e com o menor desperdício possível. (DICIO, 2022).

A evolução das técnicas de manutenção, assim como o surgimento de novos métodos ainda mais tecnológicos, auxilia no aumento da eficiência dos equipamentos com baixo custo envolvido.

- Disponibilidade:

A disponibilidade é um dos principais pilares indicadores de uma boa gestão da manutenção, pois indica que o item ou serviço, realiza suas atribuições determinadas em um instante de tempo definido ou em um período estabelecido, ou seja, quanto maior a disponibilidade de um equipamento, menor serão os períodos de manutenção do mesmo (Kardec e Nascif, 2019).

É a relação entre o tempo produzindo e o tempo programado, calculado por (Gregório e Silveira, 2018; Kardec e Nascif, 2019):

$$\text{Disponibilidade} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100\% \quad (4)$$

Onde:

MTTR = tempo médio para reparos (TMPR).

MTBF = tempo médio entre falhas (TMEF).

- MTTR:

O MTTR (do inglês, *Mean Time To Repair*), é a média aritmética dos tempos de concerto de um item, representado por (Gregório e Silveira, 2018; Kardec e Nascif, 2019):

$$MTTR = \frac{\text{Somatório de tempos de reparo}}{\text{Número de intervenções realizadas}} \quad (5)$$

- Qualidade:

Qualidade engloba todas as características e aspectos que é esperado ou exigido de um produto ou serviço (Gregório e Silveira, 2018). A falta de qualidade de uma manutenção favorece que produtos sem qualidade sejam fabricados, gerando o retrabalho (Kardec e Nascif, 2019).

- Performance:

Performance é a capacidade de alcançar o resultado desejado com eficiência, ou seja, é a capacidade de produção de um equipamento em relação à produção teórica (Gregório e Silveira, 2018).

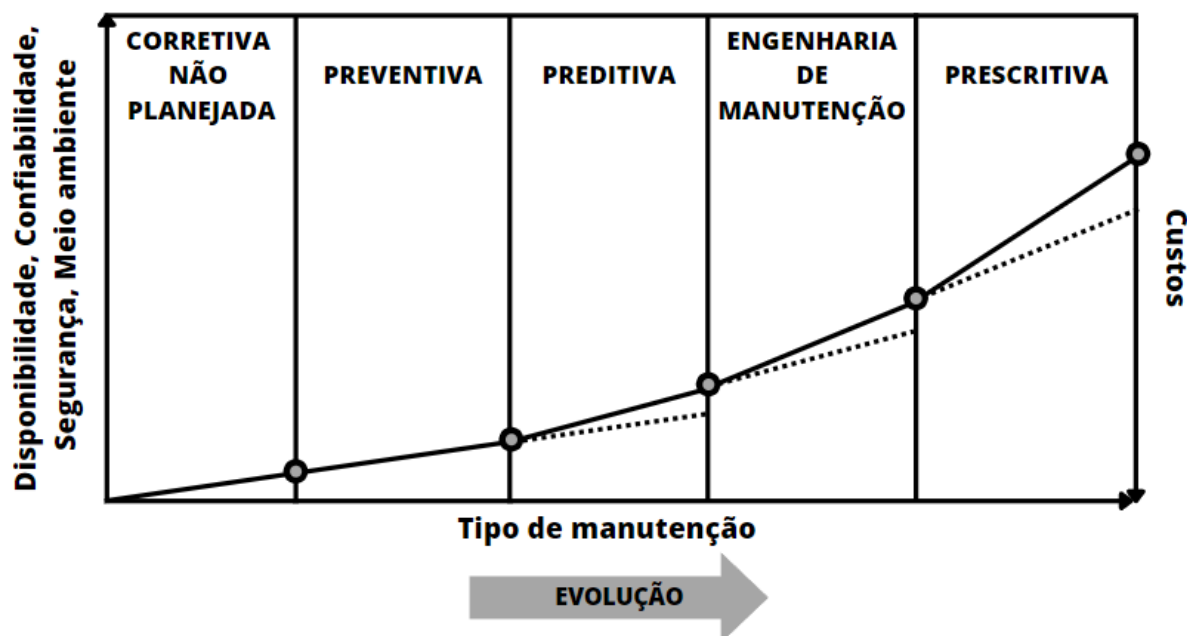
4.4 Tipos de manutenção

A manutenção pode ser separada em 7 tipos (Kardec e Nascif, 2019):

- Manutenção corretiva não planejada;
- Manutenção corretiva planejada;
- Manutenção preventiva;
- Manutenção preditiva;
- Manutenção detectiva;
- Manutenção prescritiva;
- Engenharia da manutenção.

A Figura 6, mostra que com a evolução das técnicas de manutenção citadas acima, foi possível reduzir os custos envolvidos ao mesmo tempo que aumentou a disponibilidade, confiabilidade, meio ambiente e segurança das máquinas.

Figura 6 – Evolução da manutenção



Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif (2019)

4.4.1 Manutenção corretiva não planejada

Também é conhecida como “emergencial” ou “reativa”. Este tipo de manutenção ocorre depois do equipamento entrar em pane ou apresentar performance menor que o esperado. Geralmente é a forma escolhida de lidar com equipamentos que não impactam diretamente a produção e suas demandas (Braidotti e Junior, 2021).

4.4.2 Manutenção corretiva planejada

Segundo Braidotti e Junior (2021), também é denominada de “urgente”. A manutenção planejada corrige um defeito, falha ou quando se tem uma outra alternativa para o cumprimento da função do item (Gregório e Silveira, 2018).

É planejada de acordo com os indicadores de condições ou baseada nos dados levantados da Preditiva, Detectiva, Inspeção de Manutenção ou Prescritiva (Kardec e Nascif, 2019).

4.4.3 Manutenção preventiva

De acordo com Almeida (2016), a manutenção preventiva foi criada pra reduzir os custos referentes as paradas geradas por conta de falha ou pane do item e evitar que tais ocorrências, mesmo que de pequeno impacto, gerem danos ainda maiores as máquinas. Esta técnica de manutenção visa diminuir a possibilidade de o equipamento falhar.

Para a implementação de tal método, é necessário um estudo prévio do equipamento, verificar as indicações do próprio fabricante, levantar os últimos dados de manutenções corretivas além de basear-se na vida útil de suas peças, para então formar uma rotina de manutenção para ser cumprida em intervalos regulares como quilômetros rodados, horas de funcionamento, ciclos de produção, entre outros (Kardec e Nascif, 2019; Almeida, 2015).

Este tipo de manutenção não gera impacto de produção, pois o trabalho é alinhado diretamente com o planejamento e controle da produção (PCP).

4.4.4 Manutenção preditiva

Segundo Gregório e Silveira (2018), é feita por meio de técnicas de análise, de forma sistemática e planejada, com o intuito de minimizar as manutenções corretivas e preventivas.

Técnicas como: análise de vibrações, análise de óleo, análise termográfica, alteração de parâmetros monitorados, entre outros.

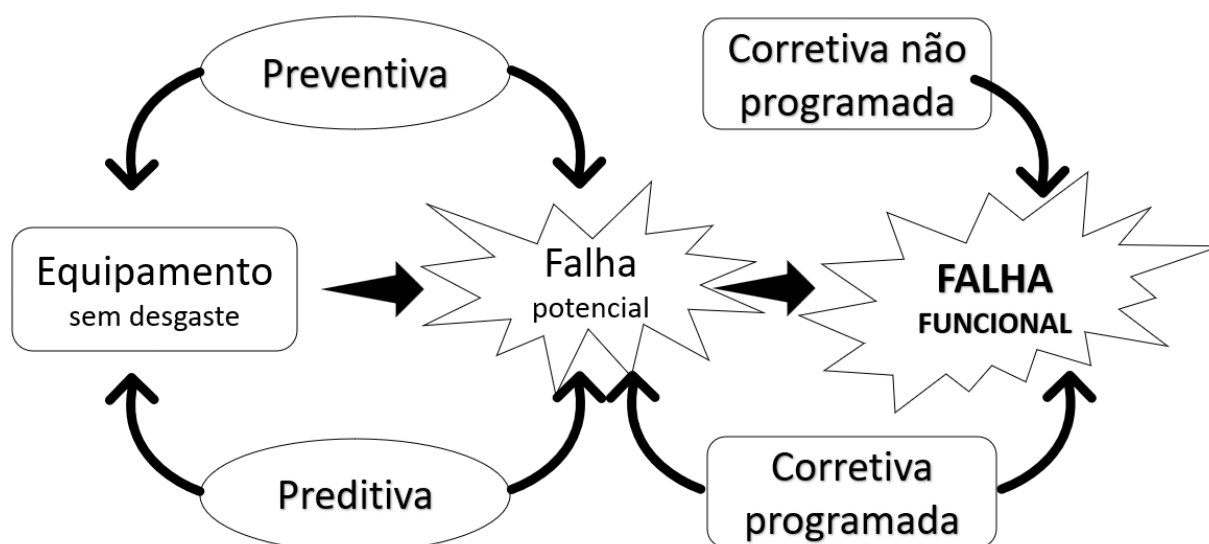
Após o diagnóstico gerado por tais análises, é agendado uma manutenção corretiva planejada, para a troca dos itens que estão apresentando defeito ou estão na iminência de falhar.

Porém, os custos desta manutenção são elevados, logo, deve-se escolher bem quais equipamentos entrarão nas rotas de análise, comumente, os equipamentos que mais impactam nos custos de produção e manutenção.

Para Braidotti e Junior (2021), a manutenção preditiva, também pode ser fragmentada na manutenção preditiva sensitiva, que tem por objetivo identificar uma possível falha do equipamento, com a análise sensitiva, ou seja, utilizando os quatro sentidos do colaborador (visão, audição, olfato e tato).

É observado na Figura 7, que as manutenções do tipo preventiva e preditiva são realizadas em equipamentos com e sem falhas em potencial, já a corretiva programada pode ser realizada em equipamentos que já falharam ou que já apresentaram algum tipo de falha em potencial e a manutenção corretiva não programada é realizada apenas em itens que já apresentaram falha funcional.

Figura 7 – Preventiva x Preditiva x Corretiva



Fonte: Autoria própria (2022)

4.4.5 Manutenção detectiva

De acordo com Kardec e Nascif (2019), a manutenção detectiva busca identificar falhas ocultas ou que não estejam nítidas para a manutenção ou operação. Falhas relacionadas a sistema de proteção, comando e controle.

4.4.6 Manutenção prescritiva

Manutenção presente na indústria 4.0, baseada na utilização de inteligência artificial atrelada há um grande conjunto de dados, ou seja, o próprio equipamento “pensa” sobre os possíveis problemas que estão para ocorrer ou nas falhas que já existem e “falam” com o operador/manutenção, se não conseguir se autorreparar (Kardec e Nascif, 2019).

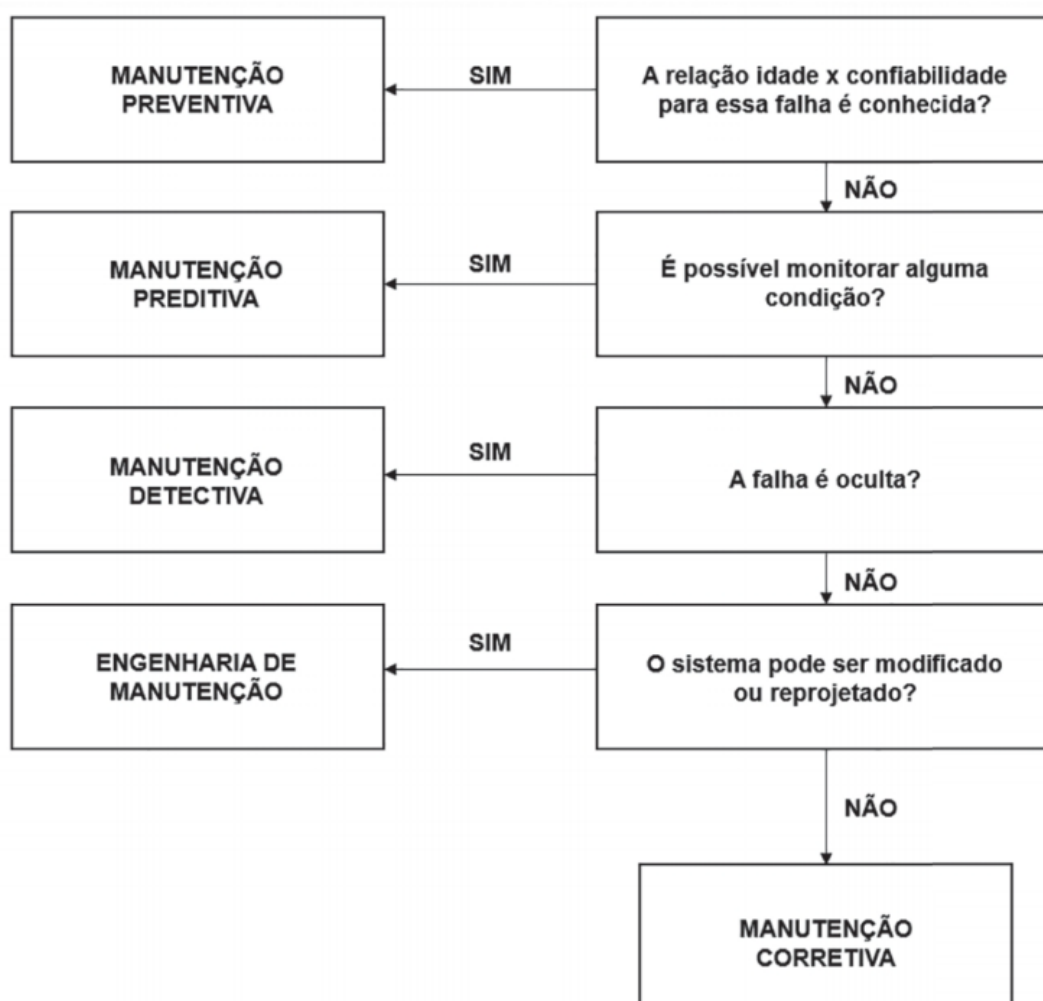
4.4.7 Engenharia de manutenção

Engenharia de manutenção é uma técnica que se expande além do setor da manutenção, é um conceito que está presente desde a criação do esboço de um equipamento, maneira de como será construído, materiais de construção, com e onde será instalado, até a forma com que a operação e a manutenção vão lidar com aquele item no seu dia a dia. (Kardec e Nascif, 2019; Gregório, Santos e Prata, 2018).

4.4.8 Matriz de escolha do tipo manutenção

Para o Kardec e Nascif (2019) o diagrama apresentado na Figura 8, auxilia qual o tipo de manutenção deve ser utilizado, quando identificado uma falha ou falha em potencial.

Figura 8 – Seleção dos tipos de manutenção a serem aplicados



Fonte: Kardec e Nascif (2019)

4.5 Planejamento e Controle da Manutenção (PCM)

Para Braidotti e Junior (2021), o planejamento e controle da manutenção é uma atividade simples, mas difícil de ser aprendida e praticada.

É dever do PCM harmonizar os procedimentos que interagem na manutenção, adotando mecanismos de identificação e controle, que permitam identificar e avaliar, como é apresentado no Quadro 3 (Kardec e Nascif, 2019).

Quadro 3 - Deveres do PCM

Passos	Deveres do PCM
1º Passo	Planejar, com a produção, um programa coerente de manutenção e reparos.
2º Passo	Conservar toda a instalação em condições tão perfeitas quanto possível, visando a minimização de custos.
3º Passo	Executar e controlar reparos e consertos, tanto eventuais quanto emergenciais, no menor prazo possível.
4º Passo	Obedecer aos intervalos de conservação rotineira para limpezas, ajustes, lubrificação, buscando que as interrupções na produção sejam mínimas.
5º Passo	Manter reuniões constantes com a produção para troca de informações e diagnósticos de problemas.
6º Passo	Verificar o motivo para que algumas máquinas e alguns equipamentos apresentem elevado índice de interrupções, buscando eliminar as causas.
7º Passo	Executar treinamentos para os funcionários da produção sobre procedimentos emergenciais recomendados em caso de necessidade.

Fonte: Adaptado de Gregório e Silveira (2018)

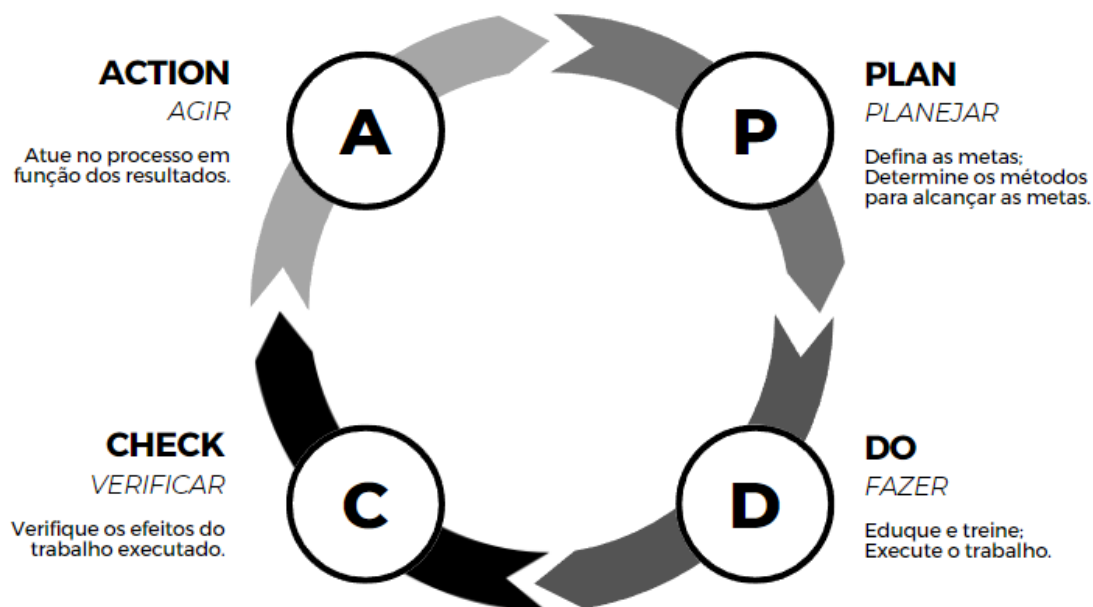
O PCM é o principal motor no controle e gerenciamento dos gastos de manutenção, pois na visão atual das indústrias, o setor de manutenção é um fator determinante na melhoria de produção, redução de despesas e responsável pela diminuição da perda de matéria-prima como refugo (Filho, 2008).

4.6 Ciclo PDCA

Para Oliveira e Xenos (2020; 2014), o Ciclo PDCA, Figura 9, também conhecido como ciclo de melhoria contínua, é utilizado de maneira cíclica afim de

atingir uma meta, seja ela reduzir o número de falhas de um equipamento, reduzir os custos de uma atividade, a melhoria de um processo, serviço ou produto, entre outros.

Figura 9 – Ciclo PDCA



Fonte: Adaptado de Xenos (2014)

O ciclo é composto por quatro etapas:

1. *Plan* (Planejar): Planejamento de metas e especificar os métodos para alcançá-las.
2. *Do* (fazer): Treinar os colaboradores envolvidos nos métodos a serem utilizados e então executar o trabalho.
3. *Check* (verificar): Verificar os resultados dos trabalhos realizados e identificar se estão indo de acordo com as metas estabelecidas.
4. *Action* (agir): Ação corretiva para melhoria dos métodos que não estão gerando progresso e manutenção dos processos que estão gerando bons resultados.

Com o ciclo PDCA sendo bem executado, é possível aumentar, consideravelmente, o Tempo Médio entre Falhas (TMEF ou MTBF), ou evitar que uma falha ocorra, melhorando assim a eficácia do equipamento (Kardec e Nascif, 2019).

4.7 Análise de falhas

A falha retira o equipamento de sua função de projeto, atrapalhando a produção, impactando diretamente nos custos de manutenção, no faturamento da

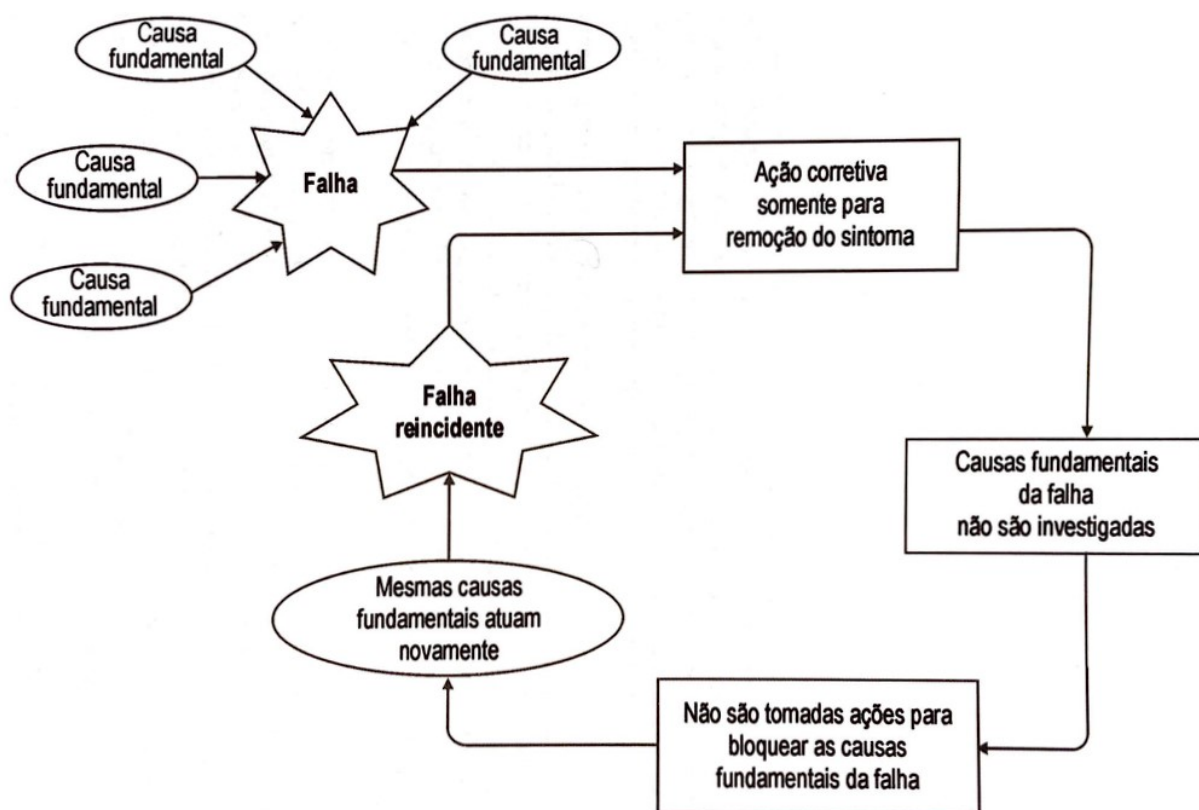
empresa, segurança, meio ambiente, entre outros, por isso realizar uma boa análise para prevenir que ela não ocorra novamente é de suma importância (Gregório e Silveira, 2018; Fogliatto e Ribeiro, 2009).

Para Kardec e Nascif e Gregório e Silveira (2019, 2018), uma análise de falhas conduzida da forma correta, pode expor erros de projeto, montagem, processo, operação, serviço, manutenção inadequada, imperfeição de material, etc.

Os manutentores têm relação direta com as falhas ocorridas em campo, assim como, os impactos causados por ela, tais colaboradores devem estar presente na análise dessas falhas, a fim de entendê-las melhor para assim evitá-las (Almeida, 2016).

Quando a causa raiz ou as causas potenciais para a ocorrência de uma falha, não são devidamente identificadas e cessadas, a falha pode tornar-se recorrente, entrando assim em um círculo vicioso de falhas, Figura 10 (Xenos, 2014).

Figura 10 – Círculo vicioso das falhas



Fonte: Xenos (2014)

Segundo Xenos (2014), o tratamento de falhas pode ser separado em 7 etapas:

1. Identificação e descrição da falha;
2. Ação corretiva para remover a falha;

3. Registro e análise das falhas para identificar sua causa raiz e causas potenciais;
4. Planejamento e execução das contramedidas para bloquear as causas fundamentais;
5. Acompanhamento da execução das contramedidas;
6. Análise periódica dos registros de falhas para identificar falhas crônicas e prioritários e definir projetos com metas.
7. Execução dos projetos por meio do Ciclo PDCA de soluções de problemas.

Ao identificar a falha, sua causa raiz e causas em potencial é possível detalhar seus efeitos e consequências, assim como, identificar a criticidade da falha e possíveis problemas que interfiram na disponibilidade do item, na segurança do setor que o equipamento está inserido e nos custos de produção ou manutenção. Esta metodologia auxilia a eleger as melhores técnicas de manutenção para lidar com a falha identificada (Tavor, 2017).

4.8 Identificando as causas fundamentais da falha

Uma boa investigação determina a causa raiz e as causas em potencial de uma falha, a fim de cessá-las. Para detectá-las, o melhor é observar a falha em seu local de ocorrência, com intenção de coletar os vestígios, se possível. Esta técnica, é conhecida no Japão, como “Princípio dos 3 Gen: *Genba*, *Genbutsu* e *Gensho*” (Xenos, 2014). Sendo:

- *Genba*: Ir ao local da ocorrência;
- *Genbutsu*: Observar o item que sofreu a falha;
- *Gensho*: Observar o fenômeno ocorrido.

Portanto, quando ocorrer uma falha, os principais colaboradores envolvidos no processo de análise da falha, devem ir ao local, recolher os dados relacionados a ela, para levá-los a investigação.

Durante a investigação, são utilizadas algumas ferramentas para facilitar na assertividade da causa raiz e das causas em potencial, sendo elas:

- RCFA (Do inglês, *Root Cause Failure Analysis*);
- Diagrama de Ishikawa;
- 5w2h.

4.8.1 Root Cause Failure Analysis (RCFA)

Também conhecida como Análise da(s) Causa(s) Raiz(es) de Falha, é originária dos “5 Porquês” e tem por objetivo identificar as causas do problema. Sua metodologia, baseia-se em perguntar o “POR QUÊ?”, até que não faça mais sentido, como mostra o Quadro 4 (Kardec e Nascif, 2019).

Quadro 4 - Exemplo de RCFA

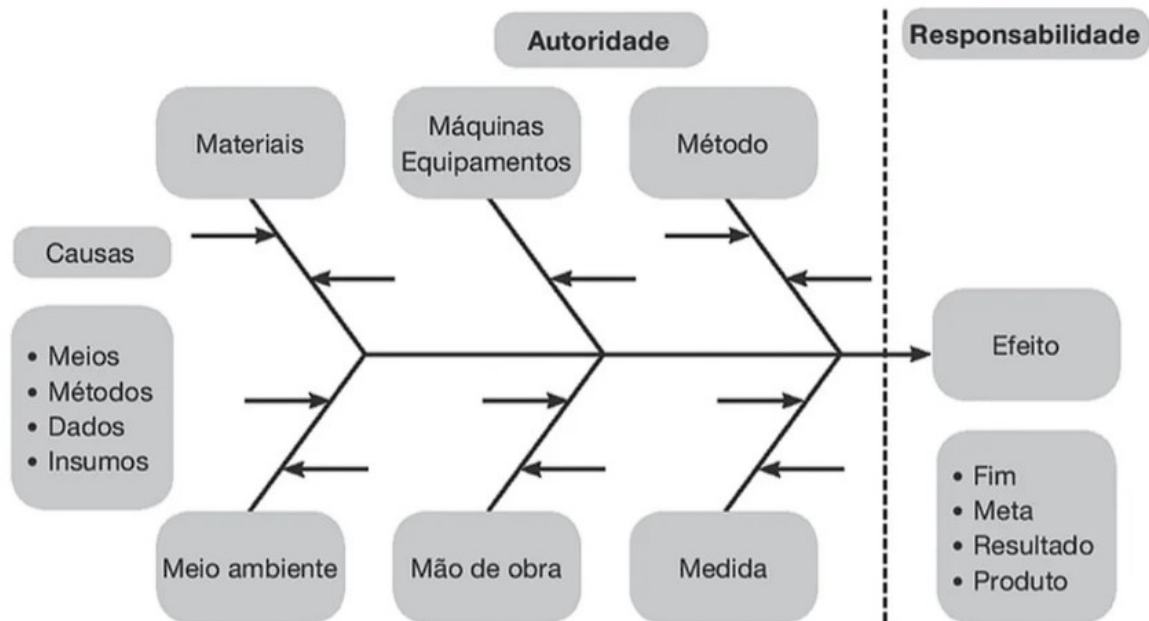
Por que	Pergunta	Resposta
1	Por que a bomba falhou?	O selo falhou
2	Por que o selo falhou?	Desgaste excessivo das faces de vedação
3	Por que ocorreu o desgaste?	Houve superaquecimento
4	Por que houve superaquecimento?	O flushing não estava alinhado
5	Por que o flushing não estava alinhado?	O operador se esqueceu de abrir a válvula
6	Por que ele esqueceu?	Ele é novo na área e não tinha operado, ainda, uma bomba desse tipo
7	Por que ele não tinha operado esse tipo particular de bomba?	O seu treinamento não contemplou esse tipo de bomba

Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif (2019)

4.8.2 Diagrama de Ishikawa

Criado por Kaoru Ishikawa na década de 1960, o Diagrama de Ishikawa, também conhecido como Diagrama de Causa e Efeito, é uma ferramenta de qualidade utilizada para chegar nas causas fundamentais da falha, levando diferentes fatores que influenciam no processo, em consideração, desde a mão de obra até as condições do meio ambiente em que a máquina está inserida, conhecido como espinha de peixe ou os 6 M's, Figura 11 (Gregório, Santos e Prata, 2018; Almeida, 2016).

Figura 11 – Diagrama de causa e efeito (Ishikawa)



Fonte: Gregório e Silveira (2018)

Para Almeida (2016):

- Material:

São perturbações relacionadas aos materiais envolvidos no produto, processo ou serviços realizados, desde a matéria prima até o fluído de corte ou lubrificante utilizado.

- Máquina/Equipamento:

Questiona o estado de conservação do equipamento e se seu plano de manutenção está sendo efetivo.

- Método:

Analisa as causas que podem ser provenientes de um mal planejamento do processo ou operação realizada com o item.

- Meio ambiente:

Investiga o meio em que o equipamento está inserido, se ele sofre com intempéries, se um dos motivos pode ter sido por algum evento da natureza;

- Mão de obra:

Estuda as causas fundamentais ligadas ao operador ou preparador da máquina, se houve erro humano;

- Medida:

Analisa os desvios relacionados aos parâmetros de referência do processo.

4.8.3 5W2H

O 5W2H é outra ferramenta que auxilia a atingir as causas fundamentais da pane em análise, cada letra equivale a uma pergunta ligada ao evento, a fim de gerar planos de ação de forma rápida eliminando qualquer dúvida que aparecer ao longo da investigação, como exemplifica a Figura 12 (Almeida, 2016).

Figura 12 – 5W2H

Palavra	Tradução	Significado aplicado à gestão dos processos de manutenção
<i>Who?</i>	Quem?	O responsável pela ação que está sendo criada.
<i>When?</i>	Quando?	As datas de início e término da ação com o cronograma das ações que serão efetuadas para o cumprimento das metas.
<i>Where?</i>	Onde?	Indicar o local onde serão feitas as ações, incluindo informações de setores ou fornecedores externos se necessário.
<i>What?</i>	Quanto?	Essa fase indica os custos das ações que serão executadas, incluindo mão de obra interna ou externa, matéria-prima, insumos etc.
<i>Why?</i>	Por quê?	Indicar o motivo ou justificativas das ações que estão sendo realizadas.
<i>How?</i>	Como?	Indicação dos meios, isto é, processos, serviços, métodos, tecnologias e qualquer outra variável que será envolvida na resolução dos problemas ou ações que serão realizadas.
<i>How much is it?</i>	Quanto custa?	Indica o custo das ações incluindo custos internos e externos.

Fonte: Almeida (2016)

5 METODOLOGIA

Para realizar o presente trabalho, foi elaborado um estudo de caso das falhas que ocorrem em um robô paletizador, Figura 13.

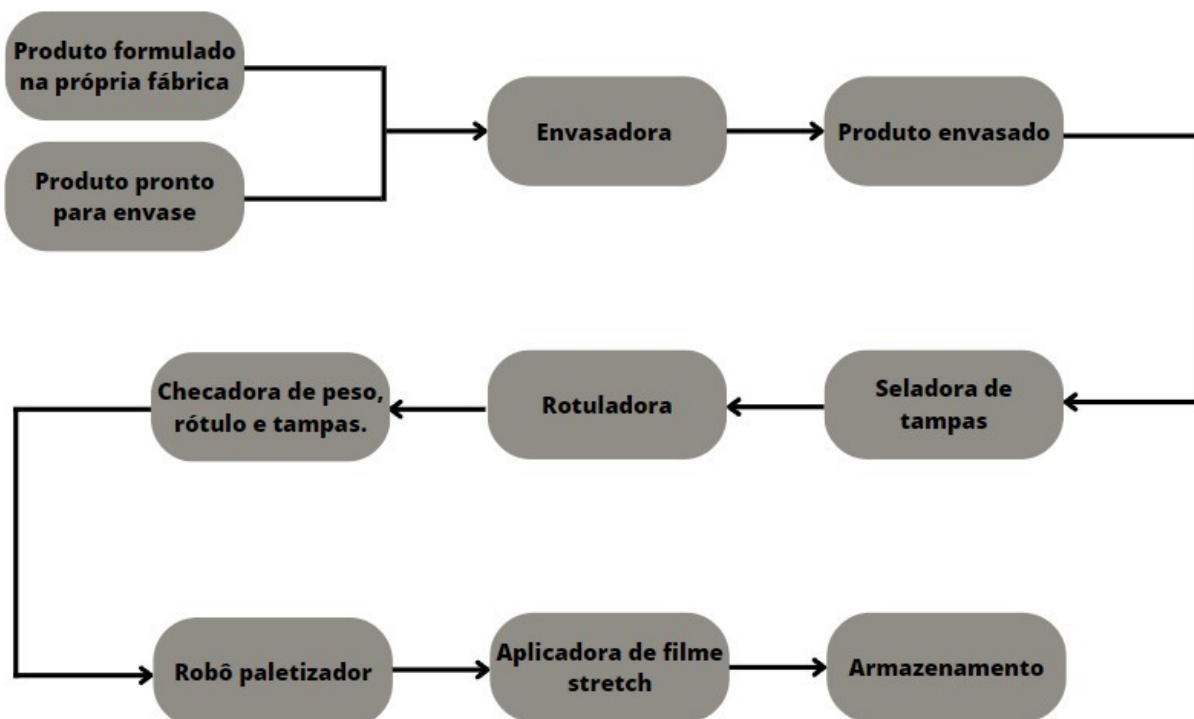
Figura 13 - Imagem ilustrativa de um robô paletizador



Fonte: ENESVAL (2022)

Este robô está presente no final da linha de envase de uma indústria de defensivos agrícolas. O produto formulado em outra fábrica chega até a fábrica destinada apenas para o envase, passa pela enchadeira, que despeja o líquido em um recipiente e adiciona a tampa, passa por uma seladora de tampas, que por meio de calor, adere o lacre da tampa no recipiente, recebe o rótulo com as informações do produto através da rotuladora, passa por um equipamento que possui câmeras e um balança dinâmica, capazes de identificar se o peso contido na embalagem, o rótulo e a tampa estão nas especificações corretas, então é retirado das esteiras de transporte e colocados no palete através do robô paletizador, os operados no comando da empilhadeira retiram o palete da área do robô e os leva para a aplicadora de filme stretch, que envolve todas os recipientes do palete por camadas de papel filme, com a intenção de ficarem firmes e não caírem durante o transporte e por último, o operador de empilhadeira armazena o palete, com o filme aplicado, no armazém de destino, Figura 14.

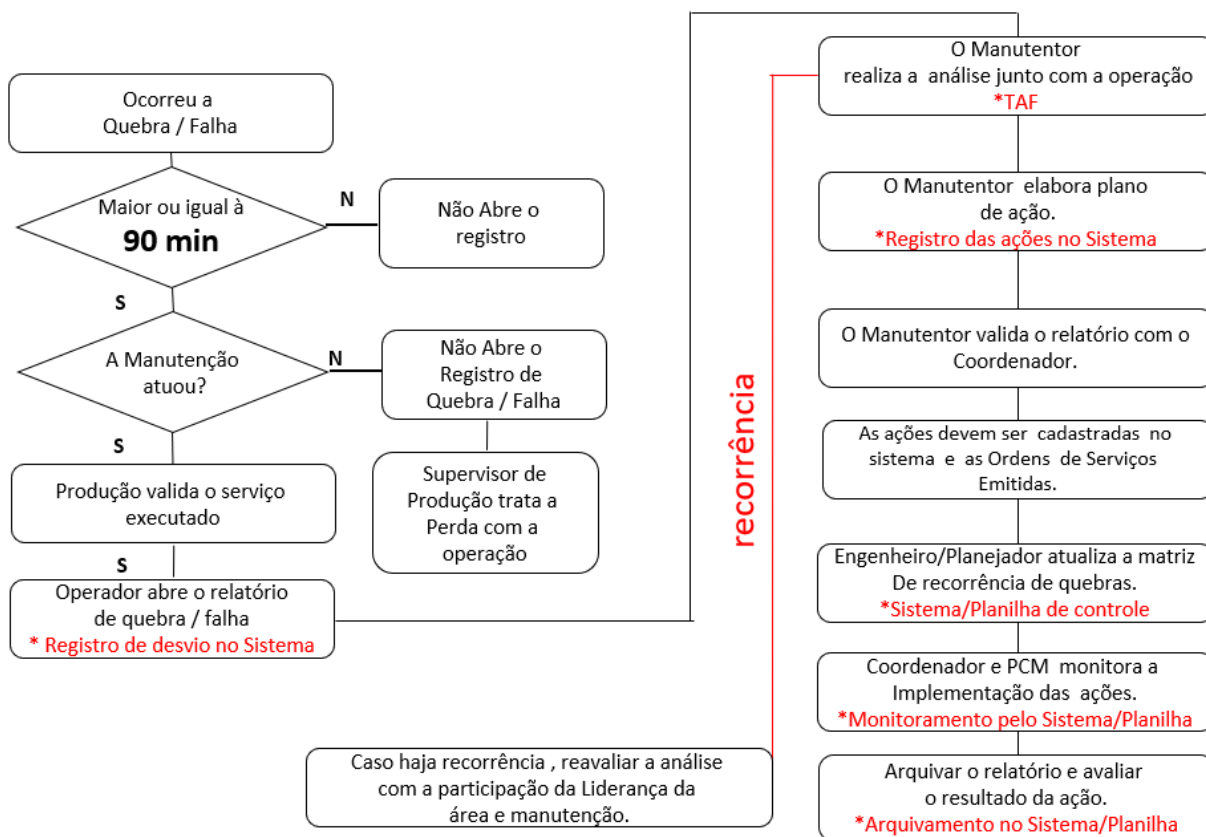
Figura 14 - Fluxograma da linha de envase



Fonte: Autoria própria (2022)

Este estudo foi desenvolvido a partir das análises de falhas conduzidas pelo Time de Análise de Falhas (TAF), por meio da matriz de tomada de decisão apresentada na Figura 15, com a intenção de facilitar a identificação da causa raiz das falhas que ocorreram no robô, assim como, suas causas em potencial, para que as falhas então, sejam erradicadas.

Figura 15 – Matriz de decisão para análise de falhas



Fonte: Autoria própria (2022)

A metodologia, evidenciada na Figura 15, pode ser dividida em 9 passos, desde a pane do equipamento até o gerenciamento das ações realizadas, sendo:

1. O equipamento entra em falha no campo;
2. O manutentor atua para restabelecer a integridade do item e seu trabalho é validado pelo operador da área;
3. O operador da área lança em uma planilha de controle, a quantidade de horas que o item permaneceu em manutenção;
4. É aberto um desvio no sistema contendo as informações sobre o ocorrido.
 - 4.1. O desvio é aberto toda vez que o tempo de manutenção do equipamento ultrapassar 90 minutos ou caso a falha for recorrente;
 - 4.2. Quando aberto pode ser enquadrado em 3 tipos de criticidade:
 - Baixa: O tempo de manutenção não ultrapassa 4 horas;
 - Média: O tempo de reparo fique entre 4 e 12 horas;
 - Alta: O tempo de o item em falha ultrapassar 12 horas.
5. O desvio é encaminhado para o Time de Análise de Falhas (TAF) e é investigado de acordo com a sua criticidade:

- Baixa: É definido um plano de ação, pelo TAF, e destinado, de forma estratégica, para um ou mais colaboradores;
- Média: É realizado uma reunião entre o TAF, mantenedor e o operador da área e a partir dela definido um plano de ação que é destinado, de forma estratégica, para um ou mais colaboradores;
- Alta: É convocado um time multidisciplinar entre os setores envolvidos, que além dos colaboradores já citados, pode envolver os engenheiros da área e outros colaboradores que os integrantes do time julgarem necessário, para conduzirem juntos a investigação e criarem um plano de ação que é destinado, de forma estratégica, para um ou mais colaboradores.

5.1. A investigação pode ser dividida em 3 etapas:

- 1 - 5W2H: Tem por objetivo descrever o evento, a fim de situar a equipe envolvida na investigação;
- 2 - 5 Porquês ou Diagrama de Ishikawa: Tem como função, definir quais as possíveis causas em potencial e concluir qual a causa raiz, para aquela falha em particular;
- 3 - Plano de ação: Estabelecer tarefas para determinados colaboradores, com a finalidade solucionar a causa raiz do problema e mitigar as possíveis causas em potencial.

6. A investigação é encaminhada para a aprovação do coordenador/gerente de manutenção;
7. Caso a análise não seja aprovada ela é reinvestigada, mas se for aprovada, vai para a etapa de execução do plano de ação, onde o colaborador encarregado, tem um período estipulado pelo TAF, para realizar a ação;
8. Coordenador de manutenção e o PCM acompanham se as ações estão sendo executadas;
9. Os mesmos verificam a eficácia da investigação, analisando se a falha ocorreu novamente pela mesma causa raiz ou por alguma causa em potencial.

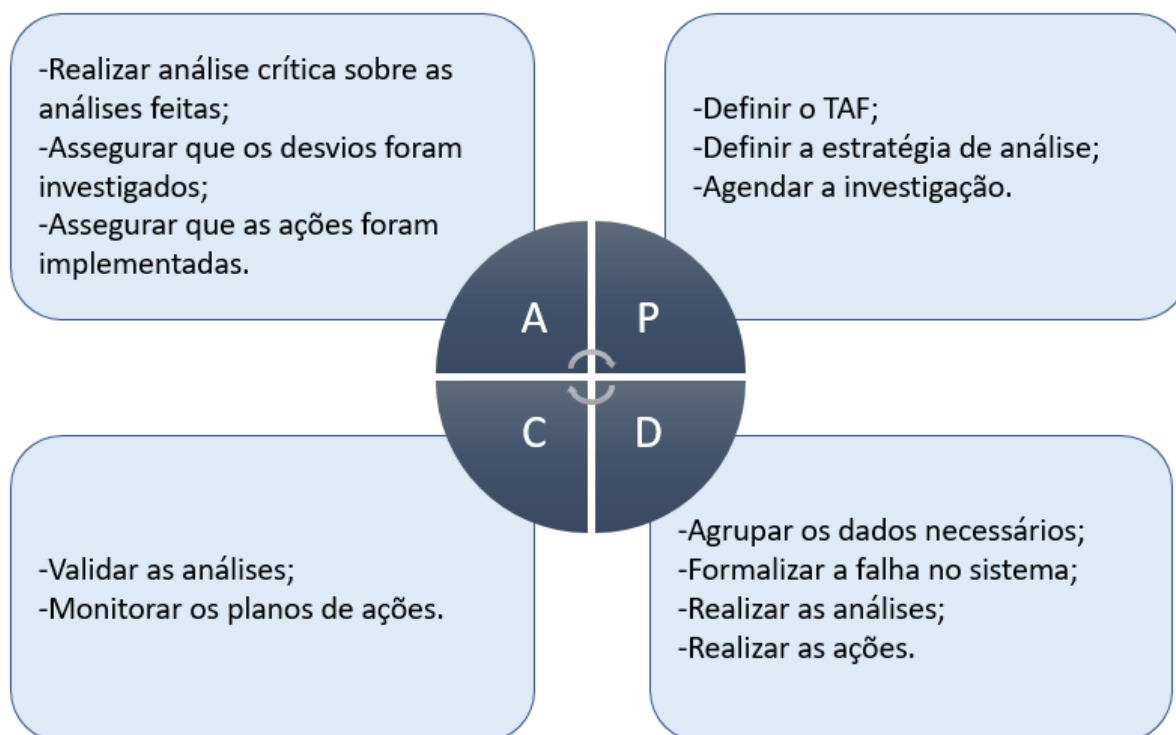
Todo o processo fica automaticamente salvo no sistema de controle da empresa.

O TAF, citado anteriormente, é composto por duas ou mais pessoas, de acordo com a criticidade do problema investigado, conforme será especificado abaixo, sendo duas pessoas fixas, o engenheiro de manutenção e um técnico mecânico, quando o engenheiro de manutenção for bacharel em engenharia elétrica, ou elétrico/instrumentista, caso o engenheiro de manutenção for engenheiro mecânico. Os demais colaboradores envolvidos, serão escolhidos de acordo com a falha ocorrida, podendo ser do setor de engenharia/projetos, processo, produção, manutenção, o integrante mais bem posicionado para compor o time de forma a agregar na investigação.

O objetivo do TAF é estabelecer diretrizes para formação e operacionalização de um time de excelência, contribuindo para a confiabilidade do processo produtivo, focado principalmente na condução do processo de análise quebra/falha. E seus objetivos específicos são:

- Monitorar e executar a formalização de todos os desvios referentes a perdas de produção, conforme estipulado no fluxo de quebra/falha.
- Definir a estratégia de análise dos desvios.
- Assegurar que todos os desvios sejam devidamente investigados conforme estratégia e metodologia previamente definidas.
- Validar as análises feitas no período.
- Monitorar e assegurar a implementação de todas as ações identificadas nas análises de falha.
- Realizar análise crítica semestral quanto a eficiência processo de análise quebra/falha.

Na Figura 16, observa-se como o TAF pode ser alocado em um ciclo de melhoria contínua, que é separado em: *Plan* (Planejar), *Do* (fazer), *Check* (verificar), *Action* (agir).

Figura 16 – Ciclo de melhoria contínua: TAF

Fonte: Autoria própria (2022)

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No encerramento do ano de 2022, o coordenador de manutenção reformulou o TAF da empresa, atribuindo à equipe a responsabilidade de realizar um estudo de aprimoramento em um dos equipamentos identificados como gargalo. Mesmo as fábricas possuindo diversos equipamentos, poucos deles são considerados equipamentos gargalo, máquinas que caso parem, interrompem todo o processo produtivo da fábrica em que está instalado, isso se deve por serão equipamentos mais caros, maiores e que dependem da instalação em um ponto específico da linha de produção. Têm por característica, poucas peças em estoque, dado o alto investimento em ativos que ficaram paradas no almoxarifado, dinheiro que pode ser investido em formas de mitigar suas possíveis falhas, além de liberar espaço de armazenamento.

Equipamentos menores e que possuem um menor valor agregado de compra e aquisição de peças, possuem um menor valor agregado as manutenções corretivas, assim como a facilidade de realização dessas manutenções. Equipamentos que podem vir a ter um substituto de fácil acesso, portanto, não ocasionam grandes paradas de manutenção para o parque fabril.

Esse estudo utilizou como base uma das fábricas que registrou a maior quantidade de dados nos últimos anos, especificamente a fábrica de número 08, que faz parte do conjunto de 11 fábricas instaladas no parque fabril da empresa. A intenção é, posteriormente, estender essa análise para os equipamentos considerados essenciais em todas as demais fábricas.

Em uma primeira reunião, o TAF decidiu separar o estudo em 6 partes, sendo elas:

- Escolher um dos equipamentos da fábrica, com base na quantidade de falhas, em minutos, nos últimos anos;
- Realizar o levantamento das principais falhas deste equipamento;
- Rever os desvios relacionados as principais falhas deste equipamento;
- Propor melhorias para que falhas recorrentes não retornem a ocorrer;
- Assegurar que as ações foram implementadas;
- Monitorar quais falhas voltam a reincidir.

Nesse contexto, é crucial obter a maior quantidade possível de dados, pois as falhas em análise ocorreram em um período bastante distante. Devido a essa

temporalidade, a probabilidade de as pessoas que conduziram a análise dessas falhas ainda estarem presentes no corpo de colaboradores da empresa é reduzida. Logo, foi necessário procurar a maior quantidade de dados disponíveis nos sistemas para iniciar o estudo.

6.1 Escolha do equipamento

Considerando as tabelas arquivadas que abrangem os registros de falhas desde o ano de 2017 até o período abordado no presente estudo, foi possível estratificar os principais equipamentos responsáveis por perdas de produção na fábrica, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Tempo de parada dos equipamentos em minutos

Equipamentos	Tempo de parada dos equipamentos (min)						TOTAL
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Enchedeira	423	1476	450	273	791	528	3941
Aplicadora de rótulo	247	40	376	335	213	275	1486
Robô paletizador	370	1439	2629	1559	1994	1855	9846

Fonte: Autoria própria (2023)

Embora houvesse mais máquinas na fábrica, optou-se por descartar as demais devido seus valores de paradas serem significativamente baixos em comparação com os 3 escolhidos. Além disso, a complexidade de manutenção dos aparelhos descartados foi considerada menor em comparação com os escolhidos. Por esses motivos, os equipamentos selecionados para análise foram: enchedeira, Figura 17, aplicadora de rótulos, Figura 18, e o robô paletizador, Figura 13.

Figura 17 - Imagem ilustrativa de uma enchedeira



Fonte: ZEGLA (2023)

Figura 18 - Imagem ilustrativa de uma aplicadora de rótulos



Fonte: CETRO (2023)

Com base nas informações da Tabela 1, o equipamento escolhido foi aquele com o maior tempo em paradas ao longo dos anos, que é o robô paletizador. Esse equipamento acumulou um total de 9.846 minutos, equivalente a 164 horas, durante os 6 anos analisados. A escolha desse equipamento foi motivada pelo fato de que, ao reduzir a reincidência das falhas mal investigadas, será possível não apenas aumentar sua confiabilidade e disponibilidade, mas também beneficiar toda a fábrica, que depende do funcionamento ininterrupto desse equipamento.

6.2 Agrupamento de dados

A etapa subsequente consistiu em consolidar todas as informações referentes às falhas relacionadas ao robô durante os anos de estudo. Para facilitar a compreensão dos dados, as falhas foram divididas em seis tabelas distintas, cada uma representando um ano analisado.

Durante o processo de agrupamento dos dados, o TAF enfrentou alguns problemas. O time foi recriado por não ter nenhum outro que estivesse responsável pela análise das falhas, portanto, não ocorreu a troca de informações necessárias de uma gestão para a outra, o que levou à perda informações essenciais. Um exemplo disso é que a maioria das falhas ocorridas entre os anos de 2017 e 2020 não possuem os números de desvio registrados nas tabelas.

Como resultado, não foi possível determinar se essas falhas foram realmente investigadas, e se sim, recuperar informações sobre como essas investigações foram conduzidas. Sem os dados registrados no desvio, não se sabe se foram seguidos os procedimentos específicos da época e se houve a implementação de planos de ação ou monitoramento de reincidência das falhas analisadas.

Felizmente, a situação melhora a partir do ano de 2020, já que quase todas as falhas com duração acima de 90 minutos possuem seus respectivos números de desvio registrados no sistema. Essa melhoria nos registros permite uma análise mais completa e detalhada das falhas ocorridas a partir desse ano.

Outra questão identificada foi a falta de padronização no registro dos dados das falhas. Foram observados problemas na nomenclatura das peças que apresentaram falha, juntamente com uma quantidade considerável de registros com o formato de escrita sem sentido, de forma muito ampla, sem especificar o real problema, como exemplo, "Manutenção no robô". Esses fatores não proporcionam informações suficientes para identificar a localização exata da falha, tampouco o possível motivo.

6.2.1 Dados de 2017

A equipe reorganizou todas as falhas lançadas no sistema, relacionadas ao robô, a partir dos dados mais antigos para os mais recentes, começando pelo ano de 2017, conforme apresentado na Tabela 2. Observa-se um número reduzido de falhas em comparação com os anos subsequentes. Não é possível determinar se houve perda de dados ao longo do tempo ou se, de fato, ocorreram menos falhas nesse ano.

Com base nos dados disponíveis, identificou-se que o principal causador de perdas de produção para o ano de 2017, foi a "cabeça" do robô, responsável por coletar os recipientes das esteiras finais e colocá-los no palete. Esse componente

registrou um total de 265 minutos de paradas, refletindo cerca de 72% do valor total de perdas para o ano.

Tabela 2 - Falhas relacionadas ao robô (2017)

ANO 2017			
MÊS	FALHA	TEMPO (min)	DESVIO
ABRIL	Falha no magazine. Ajuste nos sensores do magazine do robô.	35	-
ABRIL	Manutenção do sensor do robô.	30	-
JUNHO	Problema no sensor do robô.	40	-
JULHO	Falha na lateral da cabeça do robô.	130	-
SETEMBRO	Falha no sensor da garra da cabeça do robô.	135	-
TEMPO TOTAL (min)		370	-

Fonte: Autoria própria (2023)

6.2.2 Dados de 2018

No ano de 2018, Tabela 3, observa-se um aumento de 289% no tempo total de parada em relação ao ano anterior. O motivo deste aumento é desconhecido. Entre as falhas mais relatadas, estão as relacionadas ao magazine de paletes, que embora os maquinários façam parte dos arredores do equipamento estudado, não são componentes específicos do robô, por este motivo, foi decidido tratar essas falhas em outra ocasião. Entre as demais falhas registradas, novamente as falhas relacionadas a “cabeça” do robô foram as mais recorrentes, somando um total de 634 minutos durante o ano, 44% das paradas totais.

Tabela 3 - Falhas relacionadas ao robô (2018)

(continua)

ANO 2018			
MÊS	FALHA	TEMPO (min)	DESVIO
JANEIRO	Manutenção na cabeça do robô	50	-
FEVEREIRO	Falha no magazine.	15	-
MARÇO	Esteira após o magazine de paletes não gira.	50	-
MARÇO	Problema no carro que transporta pallets; ajuste nos sensores.	75	-
MAIO	Falha no magazine.	25	-
JUNHO	Falha na célula, a qual gerou falha no robô, havendo derramamento de produto.	30	-
JUNHO	Pallet não parou no sensor no final da linha.	30	-
JUNHO	Falha no sensor da garra do robô; não estava soltando das alças das bombonas.	20	-
JUNHO	Falha no carro do robô que traz o pallet.	20	-
JUNHO	Arrumando vazamento de ar na célula de paletização.	20	-

Tabela 4 - Falhas relacionadas ao robô (2018)

(conclusão)			
ANO 2018			
MÊS	FALHA	TEMPO (min)	DESVIO
JUNHO	Falha no transpallet do robô.	20	-
JUNHO	Carro de transporte com falha.	30	-
JUNHO	Falha no robô.	10	-
JULHO	Falha no sensor da cabeça do robô.	30	-
JULHO	Falha no magazine.	20	-
JULHO	Falha no robô; ajuste na cabeça.	19	-
JULHO	Carro de transição, travado na linha (feito reset manual).	20	-
JULHO	Sensor da cabeça.	30	-
JULHO	Ajuste na cabeça do robô.	10	-
JULHO	Carro do robô estava travando.	30	-
AGOSTO	Falha na cabeça.	25	-
AGOSTO	Falha no carro transpallet do robô que envia pallet.	15	-
AGOSTO	Falha cabeça.	30	-
AGOSTO	Falha no carro de transação.	20	-
AGOSTO	Carro do transpallet parou; teve que resetar.	20	-
AGOSTO	Problema no magazine do robô.	25	-
AGOSTO	Robô desarmou a esteira no final da linha.	20	-
AGOSTO	Reset do carro de translação.	15	-
AGOSTO	Falha: carro do robô parou.	20	-
AGOSTO	Falha na cabeça do robô.	90	-
AGOSTO	Falha na garra.	20	-
AGOSTO	Carro transpallet travou por 2 vezes.	20	-
AGOSTO	Falha no carrinho do robô.	20	-
AGOSTO	Falha no carro de transação.	20	-
AGOSTO	Reset no carro transpallet.	30	-
AGOSTO	Falha no sensor do robô.	30	-
AGOSTO	Manutenção no robô.	120	-
AGOSTO	Falha no magazine; robô parou duas vezes.	20	-
AGOSTO	Falha no carro de transação.	15	-
SETEMBRO	Ajuste no magazine.	15	-
SETEMBRO	Falha na garra da garra do robô.	30	-
SETEMBRO	Falha no sensor do alinhador da garra.	90	-
OUTUBRO	Falha térmica no robô.	45	-
DEZEMBRO	Falha no robô (dente solto das garras e corrente muito esticada).	90	-
DEZEMBRO	Troca do parafuso da garra do robô (parafuso estava espanado).	40	-
TEMPO TOTAL (min)		1439	-

Nota: Todas falhas relacionadas a garra ou sensor da garra, são falhas na “cabeça” do robô.

Fonte: Autoria própria (2023)

6.2.3 Dados de 2019

No ano de 2019, Tabela 4, é possível observar um aumento de 83% no tempo total de perdas em relação ao ano de 2018. Os problemas relacionados a “cabeça” do robô mais uma vez foi o principal fator para o aumento desse número, somando um total de 2028 minutos nesse ano, cerca de 77% do tempo total de paradas.

Tabela 5 - Falhas relacionadas ao robô (2019)

(continua)

ANO 2019			
MÊS	FALHA	TEMPO (min)	DESVIO
JANEIRO	Falha na posição das bombonas (falha no robô).	50	-
JANEIRO	Falha na garra do robô.	20	-
JANEIRO	Falha no painel do final da linha de envase do robô.	70	-
JANEIRO	Falhas no reset do robô (garra).	20	-
MARÇO	Mangueiras de ar do robô com vazamentos.	50	-
MARÇO	Lateral da cabeça do robô travando; foi feita nota.	20	-
MARÇO	Cabeçote do robô estava solto.	90	-
MARÇO	Indexador lateral do robô.	265	-
MAIO	Cabeçote do robô estava solto.	30	-
JUNHO	Troca do parafuso da garra.	50	-
JUNHO	garra do robô.	110	-
JUNHO	Problema na garra (soltando bombona).	80	-
JULHO	Garra do meio da cabeça do robô travando na alça.	15	-
AGOSTO	Indexador caiu do robô, sendo necessário chamar a manutenção.	241	-
AGOSTO	Travando garras do robô.	15	-
AGOSTO	Robô parado devido ao parafuso ter se soltado e sumido.	86	-
AGOSTO	Falha na garra do robô paletizador.	30	-
AGOSTO	Troca do parafuso do cabeçote do robô.	30	-
AGOSTO	Falha no indexador e na garra do robô, parando constantemente a linha de envase.	111	-
AGOSTO	Falha no indexador e na garra do robô, parando constantemente a linha de envase.	75	-
AGOSTO	Colocado e reajustado indexador de bombona no robô.	60	-
AGOSTO	Manutenção do indexador.	25	-
AGOSTO	Travando indexador várias vezes, tendo que ficar reassentado e fazendo ajuste no sensor.	45	-
AGOSTO	Manutenção nas barras indexadoras do robô.	51	-
SETEMBRO	Reaperto do pistão do indexador do robô.	15	-
SETEMBRO	Robô travando constantemente a garra.	60	-
SETEMBRO	Manutenção do robô.	135	-
SETEMBRO	3x indexador travando.	30	-
SETEMBRO	Indexador da garra do robô enroscando.	40	-
SETEMBRO	Pane elétrica no painel principal do robô.	125	-

Tabela 6 - Falhas relacionadas ao robô (2019)

(conclusão)

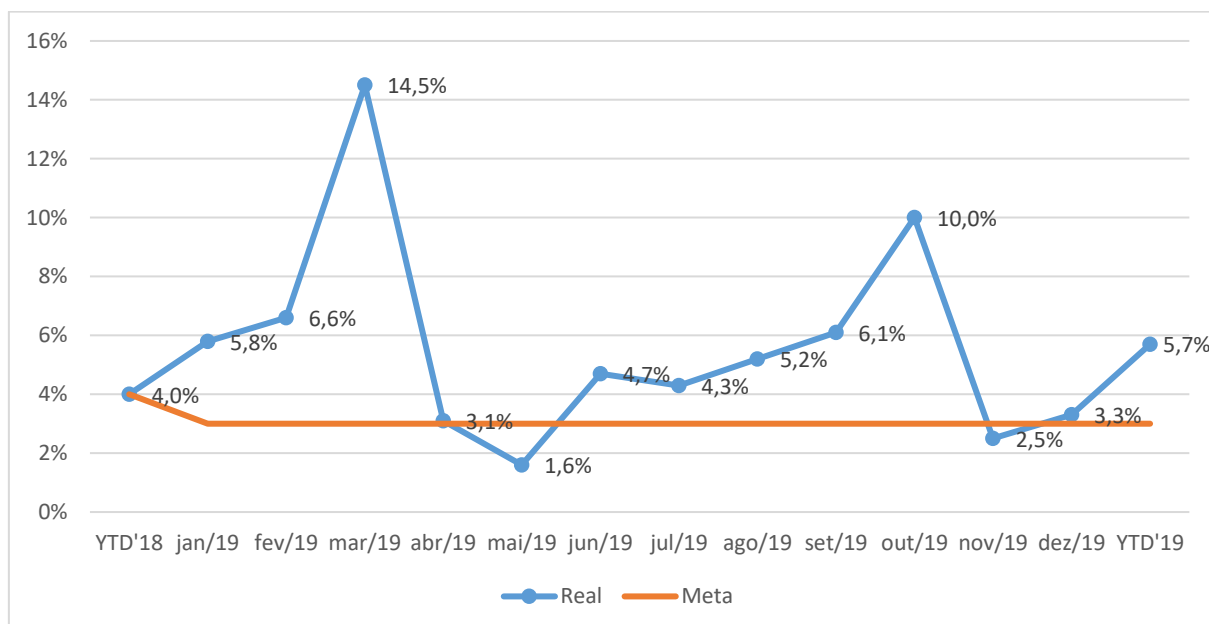
ANO 2019			
MÊS	FALHA	TEMPO (min)	DESVIO
SETEMBRO	Falha no robô / Falha magazine.	50	-
SETEMBRO	Robô travando a garra.	35	-
SETEMBRO	Falha no robô.	60	-
OUTUBRO	Alinhamento no pistão do indexador do robô.	30	-
OUTUBRO	Robô em falha; foi necessário fazer a troca do cabo indexador da cabeça do robô.	410	-
TEMPO TOTAL (min)		2629	-

Nota: Todas falhas relacionadas ao indexador e cabeçote, são falhas na “cabeça” do robô.

Fonte: Autoria própria (2023)

A partir de 2019, os registros passaram a incluir os tempos totais de produção, tanto o tempo programado quanto o tempo efetivamente produzido, assim como os números referentes a todas as paradas, mês a mês. Portanto, tornou-se possível calcular os valores do *downtime* da de envase. Embora não tenha sido possível identificar os dados estratificados mês a mês, dos tempos de programação, a equipe localizou as porcentagens de perdas de cada mês, conforme demonstrado na Figura 19.

Figura 19 - Downtime manutenção fábrica de envase (2019)



Fonte: Autoria própria (2023)

Observa-se que os meses em que o robô obteve os maiores valores de paradas registradas, foram os mesmos em que o *downtime* registrou seus maiores valores, como março e outubro, já os meses que o robô menos apresentou falhas ou

não apresentou nenhuma, foram os meses em que o *downtime* manteve-se dentro ou muito próximo a meta estipulada (3%), como abril, maio, novembro e dezembro.

Lembrando que os tempos programados de produção variam de um mês para o outro pela sazonalidade de produção, logo, tem meses que mesmo com pequenos tempos de paradas dos demais equipamentos, caso o tempo programado de produção relativamente baixo, o valor do *downtime* será elevado.

A intenção de correlacionar os valores de paradas do robô com o *downtime* geral da fábrica é de mostrar como os meses em que os valores do robô são elevados, corresponde a meses em que o *downtime* está acima da meta estipulada e não para indicar que os valores de perdas do robô são os únicos que interferem no valor do *downtime*.

A partir dos tempos de produção, também é possível calcular os valores do MTBF, MTTR, taxa de falhas, confiabilidade e a disponibilidade do equipamento, mas por motivos didáticos, essas informações serão disponibilizadas mais a frente em uma única tabela, comparando os anos de 2019 à 2022.

6.2.4 Dados de 2020

No ano de 2020, Tabela 5, nota-se a redução de cerca de 41% do valor total de paradas em relação ao ano anterior, e pela primeira vez, entre os anos analisados, os problemas relacionados a “cabeça” do robô não são os que ocasionaram os maiores valores de perda, somando apenas 270 minutos ao longo de todo o ano, apenas 15% do valor total.

Tabela 7 - Falhas relacionadas ao robô (2020)

(continua)

ANO 2020			
MÊS	FALHA	TEMPO (min)	DESVIO
JANEIRO	Vários resets em esteiras de paletes e magazine.	40	-
JANEIRO	Desarme da esteira M14 do robô.	15	-
JANEIRO	Falha na cortina de sensor da saída de paleta.	80	-
JANEIRO	Reset geral do robô paletizador.	25	-
JANEIRO	Rearme do robô paletizador.	40	-
JANEIRO	Reset geral do robô paletizador.	25	-
ABRIL	Reset geral do magazine de paletes.	25	-
MAIO	Reset do robô, troca da fonte de painel do robô e verificação das botoeiras de emergência.	240	-

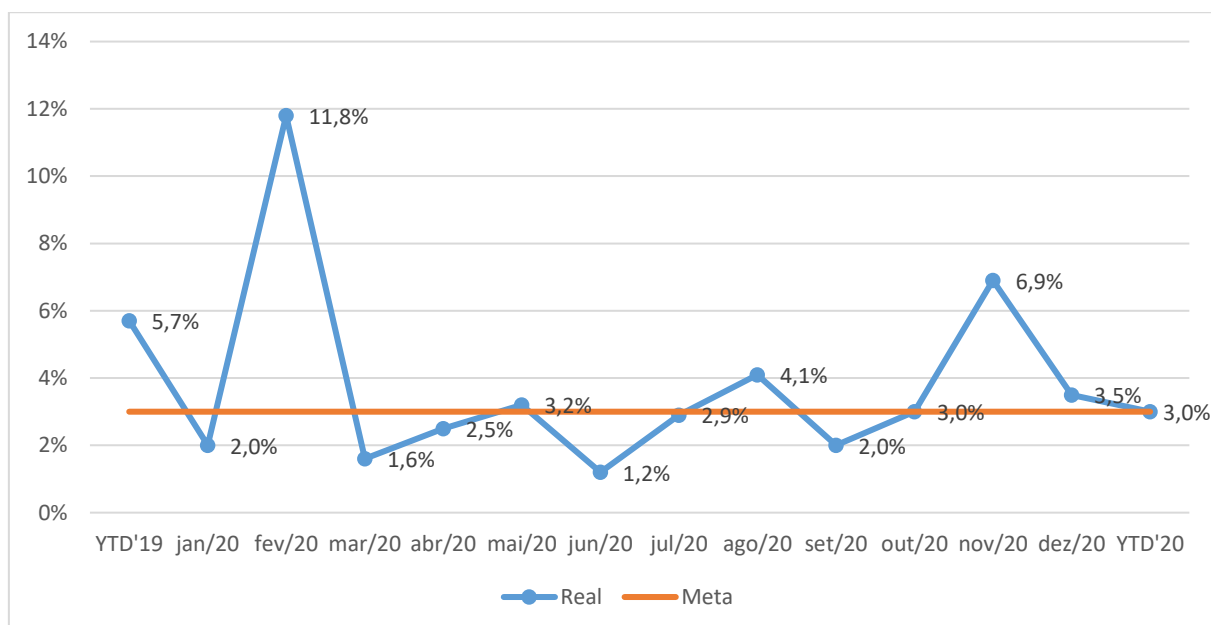
Tabela 8 - Falhas relacionadas ao robô (2020)

(conclusão)			
ANO 2020			
MÊS	FALHA	TEMPO (min)	DESVIO
JULHO	O robô está em falha; o mesmo parou no movimento de pegar bombona. Foi necessário rearmá-lo após diversas tentativas do eletricitista.	40	-
JULHO	Cabeça do robô paletizador quebrada; manutenção em andamento.	270	2020-00618
AGOSTO	Troca do sensor da saída do robô / falha no robô e magazine.	589	2020-00749
SETEMBRO	Robô com falha no sensor.	70	-
SETEMBRO	O sensor do carro de translação do robô entrou em falha. Resete no magazine de paletes.	40	-
OUTUBRO	Os roletes M5 do robô entraram em falha. Falha térmica do sensor do magazine de paletes.	60	-
TEMPO TOTAL (min)		1559	-

Fonte: Autoria própria (2023)

Na Figura 20, é possível notar a porcentagem de inatividade da fábrica ao longo do ano de 2020. Ao relacionar esses dados com os meses em que o robô apresentou as maiores interrupções, observa-se que, mais uma vez, esses meses coincidem com períodos em que o tempo de inatividade ultrapassou ou esteve muito próximo da meta estabelecida. Isso é evidente nos meses de maio, julho e agosto.

Figura 20 - Downtime manutenção fábrica de envase (2019)



Fonte: Autoria própria (2023)

6.2.5 Dados de 2021

No ano de 2021, Tabela 6, conclui-se que houve um aumento de 22% no tempo total de perdas em relação ao ano de 2020, com o retorno das falhas relacionadas a “cabeça” do robô, somando um total de 1330 minutos, 70% do valor total de paradas para esse ano.

Tabela 9 - Falhas no robô (2021)

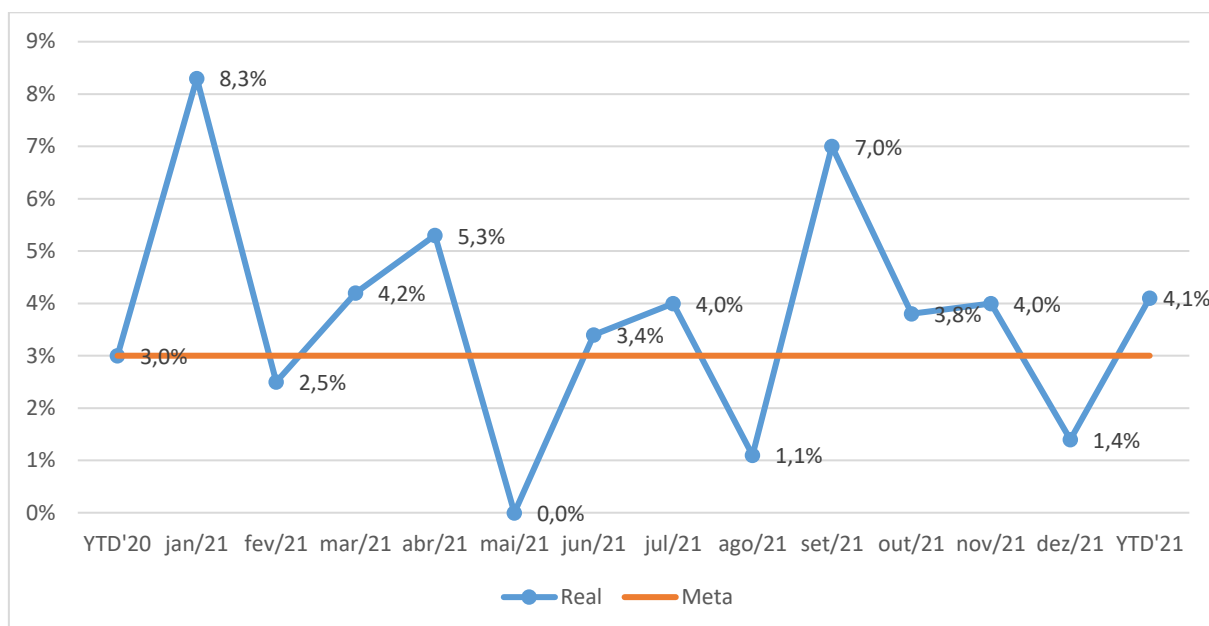
ANO 2021			
MÊS	FALHA	TEMPO (min)	DESVIO
JANEIRO	Falha no magazine de palete.	35	-
JUNHO	Indexador do robô paletizador travando. Necessário intervenção de manutenção mecânica.	60	-
JUNHO	Várias paradas. Sensores de paletes não estavam respondendo. Parou palete na cortina. garra não abriu 3 vezes.	40	-
JUNHO	Robô de final de linha com falha no sensor da garra de bombona.	210	2021-00564
JULHO	3 vezes falha térmica do magazine.	40	-
JULHO	Falha no magazine de palete. Ajuste de sensor.	30	-
SETEMBRO	Quebra da cabeça do robô Fanuc.	890	2021-00873
SETEMBRO	80 minutos de manutenção nos pistões do indexador. 40 minutos com paletes parando na frente da cortina. 80 min garra enroscando.	347	-
SETEMBRO	Palete parando na cortina de saída e roletes M12 e M14 travados. Manutenção elétrica acompanhando várias paradas constantes.	137	-
OUTUBRO	Falha ao pegar bombona fluoretada.	15	-
OUTUBRO	Acertando falha no robô e no magazine.	60	-
OUTUBRO	Falha do sensor de reposição de palete na esteira.	20	-
OUTUBRO	Palete travado na esteira do magazine. Desarme do magazine.	15	-
OUTUBRO	Necessário fixar e ajustar sensor da esteira M12 do robô paletizador. O mesmo quebrou a base devido à colisão de bombona que quebrou a alça.	25	-
NOVEMBRO	Indexadora não estava operando. Apoio do eletricista.	35	-
NOVEMBRO	Falha na indexadora.	35	-
TEMPO TOTAL (min)		1994	-

Fonte: Autoria própria (2023)

Na Figura 21, é possível observar a porcentagem de inatividade da fábrica ao longo do ano de 2021. Ao relacionar esses dados com os meses em que o robô registrou as maiores interrupções, percebe-se que, mais uma vez, esses meses coincidem com períodos em que o tempo de inatividade ultrapassou ou esteve

significativamente próximo da meta estabelecida. Isso é evidente nos meses de junho e setembro.

Figura 21 - Downtime manutenção fábrica de envase (2021)



Fonte: Autoria própria (2023)

6.2.6 Dados de 2022

No ano de 2022, foi observada uma ligeira redução no valor total de paradas relacionadas ao robô, representando aproximadamente 7% a menos em comparação com 2021. No entanto, essa queda não teve impacto nos números associados às falhas na "cabeça" do equipamento, que totalizaram 1386 minutos neste ano, correspondendo a 75% de todas as falhas registradas.

Tabela 10 - Falhas relacionadas robô (2022)

(continua)

ANO 2022			
MÊS	FALHA	TEMPO (min)	DESVIO
JANEIRO	Quebra da garra do robô paletizador.	40	-
FEVEREIRO	Falha no sensor da esteira do robô.	40	-
ABRIL	Robô paletizador em manutenção devido à indexadora não estar operando.	80	-
ABRIL	Sensor do indexador queimou (cabeçote do robô paletizador). (Indexador não respondia aos comandos).	110	2022-00421
ABRIL	Robô paletizador entortou a cabeça.	320	2022-00435
MAIO	Manutenção nos sensores do robô.	61	-
MAIO	Manutenção no sensor de saída da cortina do robô.	65	-

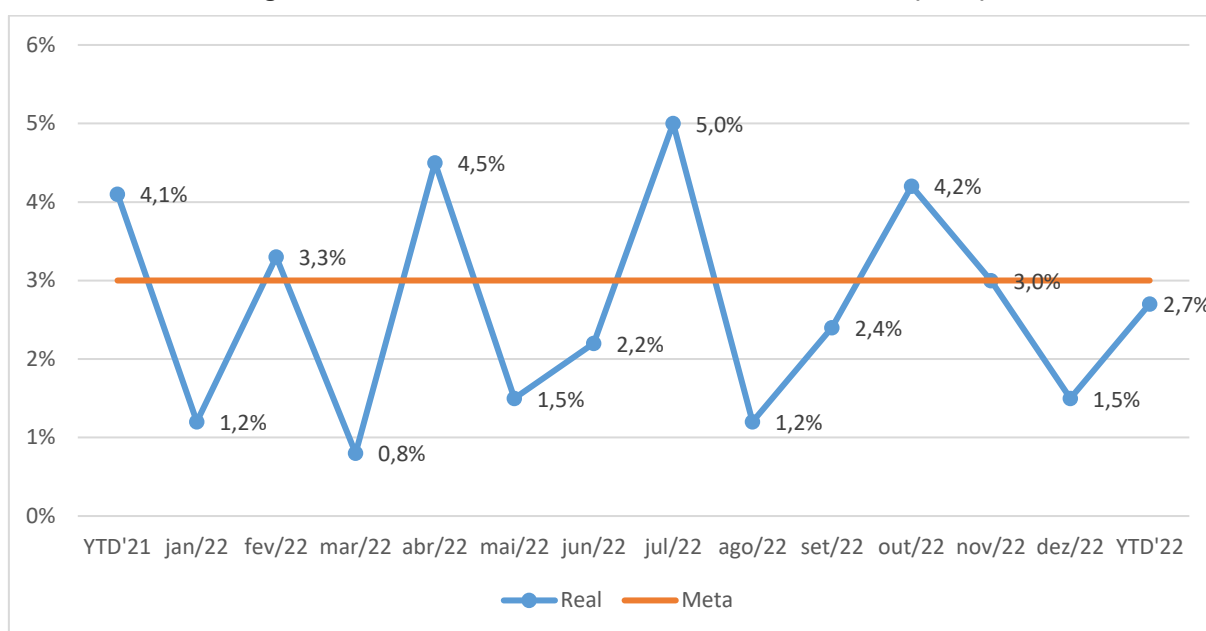
Tabela 11 - Falhas relacionadas robô (2022)

(conclusão)			
ANO 2022			
MÊS	FALHA	TEMPO (min)	DESVIO
MAIO	Ajuste de sensor de presença da cortina do robô. O sensor estava oscilando e ficando acionado quando o palete passava pela cortina, parando o mesmo.	20	-
JULHO	Durante o envase de Poquer 1x20, o sensor de feedback da garra parou de funcionar.	140	2022-00691
JULHO	Ajuste no sensor da cortina do robô.	15	-
JULHO	Reaperto na fixação do cabeçote do robô Fanuc.	40	-
AGOSTO	Ajuste de sensores do magazine de paletes.	15	-
AGOSTO	Ajuste no robô. Manutenção elétrica para e não pega em nenhuma linha. Foi ajustada a receita. (Trocamos o lote de bombona, deu uma melhorada, mas ainda continua parando).	30	-
AGOSTO	Falha no robô, perda na contagem do palete. Foi feito reset.	40	-
SETEMBRO	Várias paradas. Falha no magazine de paletes.	26	-
SETEMBRO	Ajuste no distribuidor de tampas.	20	-
OUTUBRO	Sensor da garra do robô paletizador estava em falha. Realizada a troca do mesmo.	150	2022-01083
OUTUBRO	Intervenção da manutenção elétrica no robô. Sensores da garra com defeito.	76	2022-01083
OUTUBRO	Indexador do robô paletizador travou. Fim do turno.	120	2022-01083
OUTUBRO	Necessário intervenção no robô paletizador. O mesmo está com sensor da garra em falha.	105	2022-01083
OUTUBRO	Garra não estava abrindo, assim amassando as alças. Foi acionada a manutenção elétrica. Foi ajustado o pistão que faz as bombonas estarem alinhadas para o robô pegar a mesma. O apoio da elétrica foi o tempo todo durante o envase. Foi resetado inúmeras vezes o robô, com isso a cadência do processo do envase volta para a etapa de início.	70	-
OUTUBRO	Ajuste do sensor da garra do robô Fanuc. Falha no sensor da garra.	45	2022-01083
OUTUBRO	Sensor da garra do robô entrando em falha constante.	50	2022-01083
OUTUBRO	Robô paletizador estava em manutenção, sensor da garra.	40	2022-01083
OUTUBRO	Falha no sensor de presença de palete. Trecho M/07 ocasionou colisão com o contra o carro de translação, tendo que trocar as bombonas de um palete para outro.	25	-
NOVEMBRO	Travamento na corrente de transporte. Trecho MC1 - Magazine de paletes.	32	-
DEZEMBRO	Esteira M6 do robô paletizador travou devido a um prego enroscado na corrente.	80	-
TEMPO TOTAL (min)		1855	-

Fonte: Autoria própria (2023)

Na Figura 22, é possível verificar a porcentagem de inatividade da fábrica ao longo do ano de 2022. Novamente, os meses em que o equipamento apresentou os maiores valores de paradas coincidem com os meses em que os valores do tempo de inatividade estiveram fora da meta, como os meses de abril, julho e outubro. Enquanto isso, os meses que apresentam os menores valores de paradas podem ser relacionados aos meses em que o tempo de inatividade permaneceu dentro da meta ou próximo a ela, como nos meses de janeiro, março, maio, agosto, novembro e dezembro.

Figura 22 - Downtime manutenção fábrica de envase (2022)



Fonte: Autoria própria (2023)

Os dados revelam que o grupo que mais apresentou falhas, bem como as avarias com os maiores valores de paradas individuais e totais, foi o conjunto da "cabeça" do robô. Dos 9846 minutos de perdas analisados, esse grupo foi responsável por 5913 minutos, representando 60% do tempo total de paradas. Diante disso, o TAF decidiu concentrar esforços na investigação dos desvios relacionados a essas perdas, dado que se mostraram as falhas mais recorrentes ao longo dos seis anos analisados.

A equipe de análise de falhas formulou a hipótese de que as falhas associadas à "cabeça" do robô estão presas em um ciclo vicioso devido à falta de investigação adequada, o que resultou na não eliminação da causa raiz ou das causas potenciais do problema, conforme ilustrado na Figura 10, página 31.

6.3 Análise dos desvios

Após analisar todas as falhas dos anos de 2019 a 2022, torna-se necessário também avaliar os desvios relacionados às falhas que resultaram em um tempo de parada igual ou superior a 90 minutos. A análise dos desvios é crucial, pois é a partir dela que podem surgir as possíveis respostas para entender por que as falhas se tornaram reincidentes.

Os anos de 2017, 2018 e 2019 não apresentam nenhum desvio registrado no sistema, dos 14 possíveis, sendo que 9 deles estavam relacionados a falhas na "cabeça" do robô. A ausência dos números dos desvios dificulta a rastreabilidade. Sem essas informações, torna-se impossível determinar se as investigações foram realizadas e, se sim, se foram conduzidas de maneira adequada.

6.3.1 Desvios de 2020

No ano de 2020, foram abertos dois desvios, de um total de três possíveis, o que representa uma taxa de cumprimento de apenas 66,67%. Isso evidencia a não conformidade das práticas adotadas pelos colaboradores na época, o que é desfavorável para o setor de manutenção. A ausência de análises pós-falha impede a prevenção de recorrências.

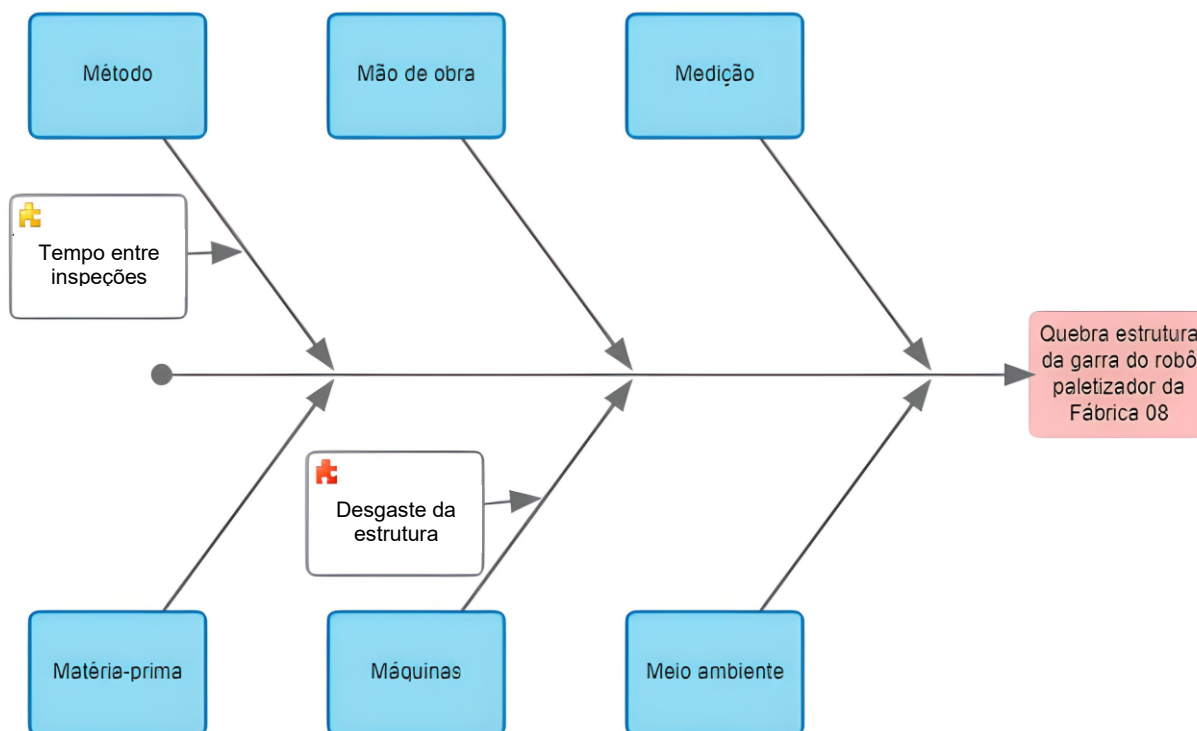
Apenas um dos desvios está relacionado à "cabeça" do equipamento, identificado como o número 2020-00618.

6.3.1.1 Desvio 2020-00618

A falha ocorreu no mês de julho, com o tempo de parada igual a 270 minutos. Tem por título "Quebra estrutura da garra do robô paletizador da Fábrica de envase" e foi classificado como moderado. Sua data de início foi no dia 16/07/2020 e término no dia 02/12/2020. Não possuía prazo no sistema.

A investigação foi conduzida pelo TAF em conjunto com o técnico mecânico responsável pela área, estando de acordo com o procedimento, item 5 da metodologia. Os integrantes do time, na época, escolheram o diagrama de Ishikawa, como método de identificação das causas da falha, como exemplificado na figura 23.

Figura 23 - Diagrama de Ishikawa (Desvio 2020-00618)



Fonte: Autoria própria (2023)

Durante a investigação, foi concluído que a causa raiz do problema era o desgaste da estrutura, pois havia desgaste na rosca da estrutura, onde o parafuso era fixado. Além disso, o tempo prolongado entre as inspeções emergiu como uma causa potencial, uma vez que o desgaste não foi relatado na última verificação.

As ações geradas dessas conclusões foram:

- Realizar a inversão de fixação dos suportes;
- Realizar a compra das peças do cabeçote do robô FANUC;
- Programar parada do robô para realização da troca das peças do cabeçote;
- Reduzir o tempo de inspeção de mensal para semanal.

Todas as ações foram finalizadas no dia no dia 10/11/2021. As conclusões retiradas dessa análise foram de que a falha foi investigada, gerando as ações para mitigar possíveis recorrências e monitorado se as ações foram implementadas. De acordo com o procedimento, foram cumpridas todas as etapas, mas seria interessante se o diagrama de causa e efeito possuísse mais informações que poderiam levar a diferentes causas dessa avaria, como exemplo, os recipientes poderiam ser os errados, ou não estarem nas condições ideais, a máquina poderia estar com a

programação errada, causas que levariam o equipamento a fazer um esforço excessivo, entre outros. Ao invés disso, os investigadores já foram para a investigação com as causas da ocorrência fixas em suas mentes, o que atrapalha na chuva de ideias inicial, que traria outras possíveis causas ao problema.

6.3.2 Desvios de 2021

No decorrer do ano de 2021, foram registrados 2 desvios de 3, 66,67% de coesão, demonstrando que por mais um ano, o procedimento não foi cumprido de forma total.

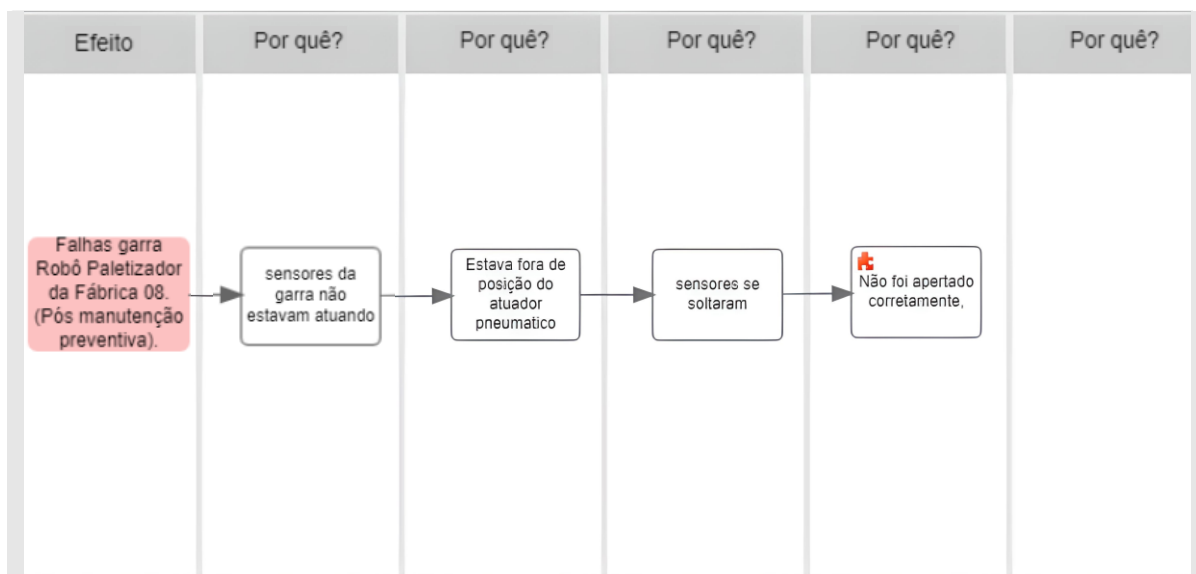
Ambos os desvios são referentes a falhas que ocorreram na “cabeça” do robô, identificados com os números 2021-00564 e 2021-00873.

6.3.2.1 Desvio 2021-00564

A falha ocorreu no mês de junho, com o tempo de parada igual a 210 minutos. Tem por título “Falhas garra Robô Paletizador da Fábrica de envase. (Pós manutenção preventiva).” e foi classificado como moderado. Sua data de início foi no dia 09/06/2021 e término no dia 25/08/2021. Não possuía prazo no sistema.

A investigação foi conduzida pelo TAF em colaboração com o técnico elétrico encarregado da área, seguindo o procedimento estabelecido no item 5 da metodologia. Na ocasião, os membros da equipe optaram por utilizar a técnica dos "5 porquês" como ferramenta de análise das causas da falha, conforme ilustrado na figura 24.

Figura 24 - 5 Porquês (Desvio 2021-00564)



Fonte: Autoria própria (2023)

A investigação naquela época concluiu que a causa raiz do problema residia no fato de os sensores não terem sido apertados corretamente durante a manutenção preventiva. Os sensores necessitam estar a aproximadamente 1,5 mm de distância do recipiente contendo o produto para acionar a garra. Para ajustar essa distância, é necessário realizar vários micros ajustes com o sensor parcialmente soltos. Somente após acertar a distância desejada, os sensores devem ser fixados de forma adequada.

As ações geradas dessa investigação foram:

- Realizar o reaperto e colar cabo com cola adesiva auraldite;
- Incluir no plano de manutenção anual o reaperto dos sensores da garra e após aperto, colar com cola adesiva auraldite, o cabo.

A primeira ação foi realizada no mesmo dia em que ocorreu a avaria no equipamento, já a segunda foi finalizada no dia 17/08/2021.

Desvio bem investigado, cumprindo todos os itens descritos no procedimento.

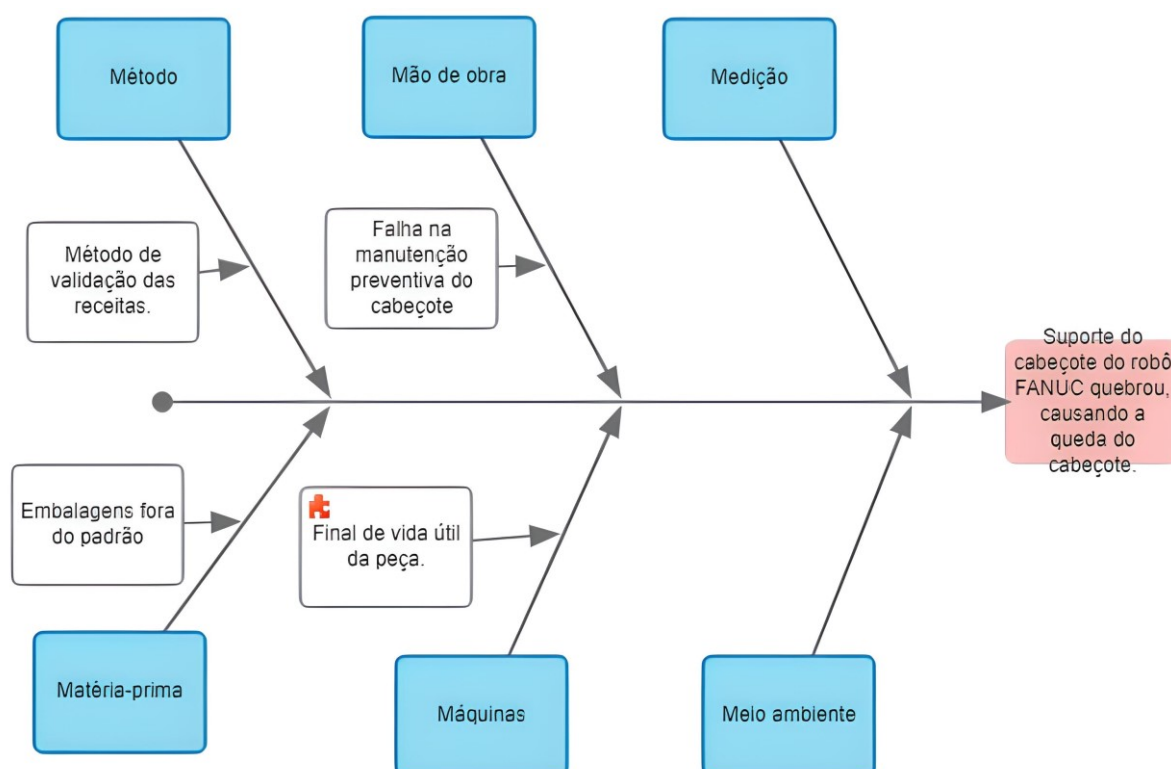
6.3.2.2 Desvio 2021-00873

A avaria ocorreu no mês de setembro, somando um tempo total de 890 minutos de parada. Tem por título “Suporte do cabeçote do robô FANUC quebrou, causando a queda do cabeçote.” e foi classificado como prioridade alta. Sua data de início foi no dia 21/09/2021 e término no dia 09/12/2021. Não possuía prazo no sistema.

A investigação realizada na época foi conduzida exclusivamente pela equipe de análise de falhas, o que está em desacordo com o procedimento estabelecido. Em situações de prioridade alta, o protocolo indica que a investigação deveria ser realizada por uma equipe multidisciplinar, em colaboração com os setores envolvidos. Essa abordagem pode envolver a participação de engenheiros da área e outros colaboradores considerados necessários pelos membros do TAF.

Foi selecionado o método de análise “Diagrama de Ishikawa”, como exemplificado na Figura 25.

Figura 25 - Diagrama de Ishikawa (Desvio 2021-00873)



Fonte: Autoria própria (2023)

A investigação concluiu que a causa raiz da falha, foi o fato de a peça ter chegado no final de sua vida útil e as ações foram:

- Realiza a confecção de um suporte idêntico;
- Incluir no plano de manutenção anual do robô, o teste de líquido penetrante no suporte;
- Eliminar quina de 90° do suporte do cabeçote do robô;
- Aumentar o diâmetro no espelho do suporte do cabeçote em 10mm.

Todas as ações foram concluídas em datas muito próximas à data de início, devido à urgência de colocar o equipamento novamente em funcionamento. A única

que demandou um pouco mais de tempo para ser executada foi aquela relacionada ao plano de manutenção, realizada em 07/12/2021.

Apesar de o desvio em questão apresentar mais causas potenciais em comparação com o desvio 2020-00618, que também foi investigado pelo mesmo método, o processo de investigação foi deficiente. Em primeiro lugar, houve uma falha ao não seguir o procedimento adequado na formação da equipe responsável pela investigação. Em segundo lugar, as informações fornecidas foram excessivamente genéricas, carecendo de uma explicação adequada para justificar as escolhas realizadas durante o processo. Chegando à conclusão de que foi feito às pressas.

Após essa falha de 890 minutos, e considerando alta reincidência de falhas relacionadas a “cabeça” do robô, o coordenador de manutenção em conjunto com os técnicos mecânicos, elétricos e o engenheiro de manutenção, tomaram a decisão de realizar a troca de algumas peças da “cabeça” do robô, com o intuito de que não ocorresse mais esse tipo de falha no ano de 2022. Substituição que ocorreu no início do ano de 2021, durante a parada anual de manutenção da fábrica.

6.3.2.3 Desvios de 2022

No ano de 2022 foram registrados 4 desvios dos 4 possíveis. Uma melhora em relação aos anos anteriores, que não passaram de 70% de coesão.

Todos os quatro desvios estavam relacionados à “cabeça” do robô, evidenciando que as abordagens adotadas nos anos anteriores não foram eficazes. Isso inclui a reforma realizada na “cabeça” do robô no começo do ano, que não foi suficiente para resolver os problemas.

6.3.2.4 Desvio 2022-00421

A falha ocorreu no mês de abril, com o tempo de perda de 110 minutos. Tem por título “Queima do sensor do indexador da garra do robô FANUC.” e foi classificado como prioridade baixa. Sua data de início foi no dia 27/04/2022 e término no dia 05/08/2022. Não possuía prazo no sistema.

A investigação foi realizada pelo time do TAF, de acordo com o procedimento. Por ser de prioridade baixa, não houve necessidade de utilizar uma das duas técnicas de análise, sendo necessário apenas a elaboração e execução de um plano de ação.

A ação tomada foi:

- Realizar a troca de todos os sensores do indexador na preventiva anual em junho.

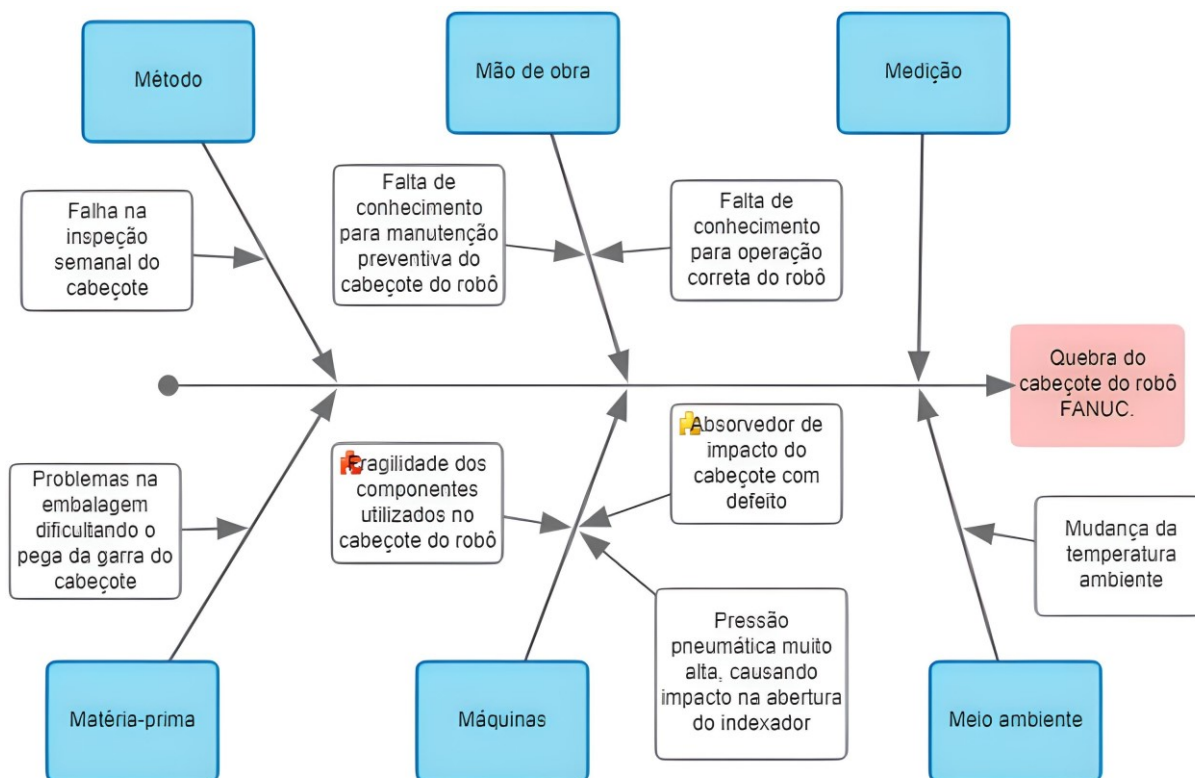
Ação executada do dia 05/08/2022. Mesmo com o atraso de 2 meses, a ação foi executada, atendendo todas as necessidades para esse caso de acordo com o procedimento. Um ponto de atenção, que não foi possível identificar na análise, o motivo do atraso da execução, portanto, o desvio foi considerado mal supervisionado.

6.3.2.5 Desvio 2022-00435

A avaria também ocorreu no mês de abril e foi registrado um tempo de 320 minutos. Tem por título “Quebra do cabeçote do robô FANUC.” e foi classificada como alta prioridade. Sua data de início foi no dia 02/05/2022 e término no dia 11/08/2022. Não possuía prazo no sistema. Não foi possível identificar o porquê de só ser registrado no mês de maio, mas acredita-se que foi pelo fato da falha ter acontecido no fim do mês de abril.

A investigação foi conduzida pelo time de análise de falhas em conjunto com um grupo multidisciplinar que envolveu os técnicos mecânico e elétrico da área, assim como o engenheiro responsável e um operador da planta, estando de acordo com o procedimento, item 5 da metodologia. Os integrantes do TAF, na época, escolheram o diagrama de Ishikawa, como ferramenta de análise das causas da falha, como exemplificado na figura 26.

Figura 26 - Diagrama de Ishikawa (Desvio 2022-00435)



Fonte: Autoria própria (2023)

Entre as possíveis causas da falha foram apontadas diversas hipóteses juntamente com as suas justificativas, entre elas:

“Falha na inspeção semanal do cabeçote”, descartada pois foi verificado que existe plano de manutenção semanal e estava sendo realizado corretamente.

“Problemas na embalagem, dificultando a pega da garra do cabeçote”, vetada devido todas as embalagens passaram pelas inspeções antes da fabricação do lote em que ocorreu o problema.

“Falta de conhecimento para operação correta do robô”, dispensada pois foi verificado que o pessoal que estava trabalhando no robô, tinha conhecimento sobre a operação correta.

“Falta de conhecimento para manutenção preventiva do cabeçote do robô”, eliminada pelo fato da última preventiva realizada antes da falha ocorrer, foi executada internamente com o acompanhamento de um técnico especialista.

“Mudança da temperatura ambiente”, eliminada devido a mudança da temperatura ambiente ser insignificante em relação a capacidade de dilatação do material utilizado no cabeçote.

“Pressão pneumática muito alta, causando impacto na abertura do indexador”, descartado pois foi verificado que os reguladores estavam funcionando corretamente.

“Absorvedor de impacto do cabeçote com defeito”, considerado uma causa potencial em razão de não ser possível verificar se o absorvedor estava ou não funcionando corretamente, mas foi evidenciado que o conjunto do absorvedor não é trocado nas manutenções preventivas.

“Fragilidade dos componentes utilizados no cabeçote do robô”, considerada a causa raiz pois foi evidenciado na manutenção do cabeçote do robô que havia alguns perfilados na estrutura do cabeçote com amassados e faltando algumas porcas martelos.

Após a análise realizada na época, surgiu o seguinte plano de ação:

- Realizar o orçamento e compra do absorvedor de impacto do cabeçote do robô e realizar a troca na manutenção preventiva anual;
- Realizar orçamento e compra dos itens do cabeçote do robô que não temos no estoque para realizar a troca na manutenção preventiva anual;
- Realizar a troca dos itens do cabeçote do robô.

Os orçamentos e troca das peças na preventiva anual foram realizadas até o dia 01/07/2022, e a troca dos itens do cabeçote foi realizada no dia 05/08/2022.

Em comparação com os desvios analisados anteriormente, nota-se quão completo esse está, isso se dá por ter sido investigado por um grupo completo, multidisciplinar e extremamente capacitado, respeitando todas as etapas descritas no procedimento de análise de falhas, tornando-se um exemplo de investigação a ser seguida no setor de manutenção.

Caso os outros fossem investigados dessa maneira, aumentariam as chances de encontrar a causa raiz do problema, minimizando as possibilidades de reincidência da falha.

6.3.2.6 Desvio 2022-00691

A falha ocorreu no mês de julho, com o tempo de parada igual a 140 minutos. Tem por título “Falha no sensor *Feed Back* do *Clamp* do Robô Fab-08” e foi classificado como baixo. Sua data de início foi no dia 12/07/2022 e término no dia 05/08/2022. Não possuía prazo no sistema.

A análise foi conduzida pela equipe do TAF conforme o procedimento. Dada a prioridade baixa, não foi necessário recorrer a uma das duas técnicas de análise, sendo suficiente apenas a elaboração e execução de um plano de ação.

Plano de ação:

- Passar cola adesiva Araudite, nos cabos para melhorar fixação.

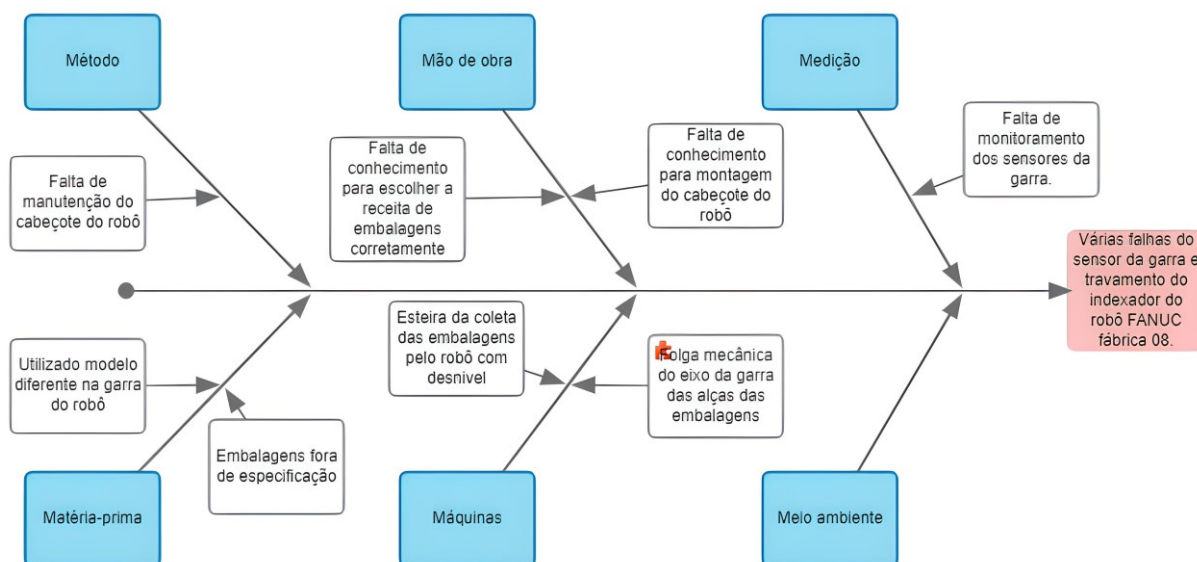
Ação finalizada no dia 05/08/2022. Atendendo todas as necessidades para esse tipo de investigação.

6.3.2.7 Desvio 2022-01083

A falha ocorreu durante vários dias do mês de outubro, somando um total de 586 minutos. Tem por título “Várias falhas do sensor da garra e travamento do indexador do robô FANUC fábrica de envase” e foi classificado como prioridade média. Embora esse desvio seja um conjunto de diversas falhas que não passam de 150 minutos, como demonstrado na Tabela 7, pela alta reincidência da avaria no mesmo mês, além de ser o segundo desvio no mesmo ano relatando os mesmos problemas, o time chegou à conclusão de que esse desvio deveria ter sido classificado como prioridade alta. Sua data de início foi no dia 18/10/2022 e término no dia 01/02/2023. Não possuía prazo no sistema.

A análise foi realizada pelo TAF em colaboração com o técnico em elétrica responsável pela área, seguindo o procedimento estabelecido. Na ocasião, os membros da equipe optaram pelo uso do diagrama Ishikawa como método para identificação das causas da falha, conforme ilustrado na figura 27.

Figura 27 - Diagrama de Ishikawa (Desvio 2022-01083)



Fonte: Autoria própria (2023)

Dentre as possíveis causas da falha, foram levantadas várias hipóteses acompanhadas de suas respectivas justificativas. Algumas delas incluem:

“Embalagens fora de especificação”, descartada em virtude de as embalagens estarem dentro da especificação desejadas e a falha do cabeçote estar acontecendo em todos os tipos de embalagens.

“Esteira da coleta das embalagens pelo robô com desnível”, eliminada devido ao fato de a esteira estar no nível correto.

“Falta de conhecimento para escolher a receita de embalagens corretamente”, desconsiderado pois foi verificado que o pessoal da operação tinha conhecimento sobre selecionar as receitas e estavam utilizando a receita correta.

“Falta de conhecimento para montagem do cabeçote do robô”, excluída em função da manutenção ter sido executado por técnico experiente, que possui conhecimento e utilizou manual do robô para a montagem das peças.

“Falta de manutenção do cabeçote do robô”, descartada pelo fato de que o robô passou por manutenção preventiva pouco antes da falha ocorrer.

“Falta de monitoramento dos sensores da garra”, eliminada pois foi verificado que existe monitoramento de retroaviso de todos os sensores do cabeçote do robô.

“Utilizado modelo diferente na garra do robô”, excluída devido durante a manutenção preventiva ter sido trocado as 3 garras, mantendo o mesmo modelo.

“Folga mecânica do eixo da garra das alças das embalagens”, considerada a causa raiz pois foi encontrado uma folga no eixo da garra do robô, causando as paradas intermitentes do sistema. Eventualmente o sensor não conseguia realizar a leitura por causa da folga do eixo.

O plano de ação gerado de acordo com a análise acima foi:

- Realizar a troca do conjunto da garra que está com folga no eixo;
- Alterar cadastro da garra no almoxarifado, indicar que deverá ser verificado a garra antes de estocar.

A primeira ação foi finalizada do dia 24/10/2022, devido a urgência da correção da falha, já a segunda foi finalizada no dia 06/01/2023. Seguindo todas as exigências do procedimento de análise de falhas.

Ainda que o time de análise de falhas não foi o ideal pela magnitude da falha, o desvio foi muito bem investigado, conduzindo a equipe a possível causa raiz que não foi identificada no desvio 2022-01083, provando a necessidade de seguir o passo

a passo do procedimento para obter-se bons resultados no futuro, eliminando o ciclo vicioso de falhas.

6.4 Indicadores relacionados as falhas do robô paletizador

Com o arquivamento de novos dados a partir de 2019, tornou-se possível calcular diversas métricas essenciais relacionadas ao conceito de confiabilidade e disponibilidade do equipamento. Essas métricas incluem o MTBF, MTTR, taxa de falhas, e os próprios valores da confiabilidade e disponibilidade. Esses cálculos proporcionam uma visão abrangente do desempenho do equipamento, auxiliando na identificação de áreas de melhoria e na tomada de decisões informadas sobre manutenção e operação, como mostrado da Tabela 8.

Tabela 12 - Indicadores relacionados as falhas do robô

	ANO			
	2019	2020	2021	2022
TEMPO TOTAL (min)	2629	1559	1994	1855
QUANTIDADE DE FALHAS	35	14	16	27
TEMPO PROGRAMADO DE PRODUÇÃO (h)	2043	2348	2257	2597
MTBF (h)	57,12	165,86	138,99	95,04
MTBF (dias)	2,38	6,91	5,79	3,96
MTTR (h)	1,25	1,86	2,08	1,15
CONFIABILIDADE (30 dias)	59,81%	83,62%	80,84%	73,21%
DISPONIBILIDADE	97,86%	98,89%	98,53%	98,81%
DOWNTIME ROBÔ (INDISPONIBILIDADE)	2,14%	1,11%	1,47%	1,19%
DOWNTIME FÁBRICA ENVASE	5,7%	3%	4,1%	2,7%

Fonte: Autoria própria (2023)

Da Tabela é possível retirar diversas informações importantes sobre o equipamento, por esse motivo, cada indicador será indicado em um tópico separado.

- **MTBF:**

É a média dos tempos entre os reparos feitos no equipamento, isso quer dizer que no ano de 2019 a cada 57,12 horas o robô entrava em falha, ou seja, a cada dois dias e nove horas. Quanto maior esse tempo, melhor, por isso, entre os anos analisada, o melhor foi o de 2020, pois o equipamento entrava em falha a cada 165,86 horas, cerca de 2 dias e 22 horas. Mas, nota-se a diminuição desse tempo nos anos de 2021 e 2022. É possível concluir então que o equipamento começou a falhar com uma frequência maior.

- **MTTR:**

É a média aritmética dos tempos de conserto do equipamento, portanto, no ano de 2019 o valor médio dos tempos de manutenção foi de 1 hora e 15 minutos, logo, é como se todas as 35 falhas ocorridas durante esse ano, tivessem durado esse tempo. Quanto melhor o valor, melhor, pois indica que o técnico está demorando menos tempo para colocar a máquina em pleno funcionamento novamente, logo, os anos de 2020 e 2021, foram os piores anos em relação a esses indicadores, pois as médias foram de 1 hora e 52 e 2 horas e 5 minutos, respectivamente.

Só pelo fato de os valores estarem maiores do que os outros anos já é um piora, além disso, ambos os valores superam os 90 minutos necessários para abrir desvios, ou seja, é como se todas as avarias ocorridas durante esses dois anos, tivesse a necessidade de abrir um desvio e investigar as causas da falha.

- Confiabilidade:

É a probabilidade de o equipamento desempenhar sua função requerida, e é calculado em um dado intervalo de tempo, neste trabalho, a confiabilidade é calculada para 30 dias, ou seja, represente a probabilidade de o item falhar nos próximos 30 dias de serviço.

Tomando como base o ano de 2019, a confiabilidade do robô era de 59,81%, prantando, a chance de o equipamento quebrar durante 30 dias trabalhados era mais de 40%, um número muito elevado para um equipamento gargalo de uma fábrica. Por mais que no ano de 2020 o valor da confiabilidade aumentou para 83,62%, nos anos seguintes entrou em queda até atingir 73,21% em 2022. Demonstrando o aumento da probabilidade de o equipamento falhar a cada ano que passa, isso pode ser atrelado a má gestão das falhas.

- Disponibilidade:

É a relação entre o tempo produzindo e o tempo programado, sendo um dos principais pilares entre os indicadores de manutenção, pois indica a porcentagem de tempo em que o equipamento realiza suas atribuições. Como exemplo, no ano de 2019 a disponibilidade do robô foi de 97,86% do tempo produzido, em um primeiro momento aparenta ser um valor alto, mas significa que das 2043 horas, o equipamento não estava disponível em 43 horas e 50 minutos, quase 2 dias inteiros de indisponibilidade, ou 2,14%, em uma fábrica em que a meta máxima de indisponibilidade é de 3%, portanto, todos os outros equipamentos somados, poderiam chegar a 0,86% de indisponibilidade, para que a fábrica ficasse dentro da meta.

O valor da disponibilidade chegou a bater 98,89% em 2020, caindo em 2021 e voltando a aumentar em 2022, quando bateu o valor de 98,81%, ou seja, 1,19% de indisponibilidade em um ano de 2597 horas de produção, cerca de 31 horas parado e embora tenha sido uma melhora em relação ao ano de 2021, continuou um número alto para uma fábrica que possui mais de 60 equipamentos, sendo alguns deles tão complexos e importantes quanto o robô, como exemplo, a enchedeira, que por mais que não faça parte desse estudo, também é um equipamento com valores altos de paradas, como demonstrado na Tabela 1. Felizmente o *downtime* da fábrica de envase manteve-se dentro da meta dentro do ano de 2022.

6.5 Ações registradas no começo de 2023

Uma nova reforma da “cabeça” do robô foi realizada com a troca de 100% das peças antigas por peças novas, assim como a manufatura de melhorias para algumas peças, como exemplo, foi colocado reforços nas laterais da estrutura do cabeçote afim de eliminar a reincidência de chamados a equipe de manutenção relacionados ao afrouxamento dos perfis estruturais.

Foi verificado que a carcaça que revestia essa parte do equipamento, que tem por função proteger contra poeira e possíveis líquidos e objetos que pudesse cair sobre o equipamento, estava atrapalhando a identificar falhas em potencial na estrutura interna, como parafusos sem aperto, folgas entre peças, vazamentos. Por esse motivo foi decidido manter a estrutura interna, afim de que esses problemas pudessem ser identificados com maior facilidade durante as inspeções de manutenção, já que não era possível, sempre para o processo produtivo para retirar tais proteções, realizar as inspeções e depois retornar com a estrutura no lugar.

Também foi identificado que “cabeça” do robô é responsável por um grande esforço, tendo em vista que carrega por vez, 3 recipientes de 20 litros cada, dependendo do produto envasado neles, cada um pode chegar a pesar cerca de 30 kg, 90 kg no total, somado ao peso da estrutura do equipamento. Realizar movimentos rápidos, repetitivos e com picos de aceleração e desaceleração para acomodar as bombonas no palete, mostra-se uma atividade muito desgastante para peças estruturais do robô.

Notou-se que uma das peças que conectava a ponta do braço robótico com a “cabeça” do robô era confeccionada de alumínio, material com auto teor de

deformação plástica, o que estava auxiliando na formação de estrições, concentradoras de tensão, levando a peça a falha. Detectou-se a necessidade do estudo da peça, afim de encontra uma alternativa, seja mudando seu material ou realizando modificações que reforçassem sua estrutura.

Após os estudos realizados, o TAF chegou à conclusão de que a tecnologia da cabeça do robô como um todo, estava defasada, dado que o equipamento foi instalado no parque fabril no ano de 2009. Tendo em vista essas informações, foi solicitado uma ordem de investimento de oitenta mil dólares para realizar a troca de todo o conjunto da “cabeça” do equipamento, para o ano de 2024.

No documento foi evidenciado que o equipamento possui diversos problemas acumulados ao longo dos anos de uso, mesmo com manutenção preventiva e inspeção diária e que o modelo da interface homem máquina (IHM), utilizada para comando, foi descontinuada. Para solucionar esses problemas, é necessário substituição da “cabeça” do robô FANUC e melhoria da interface da linha com operador, com a instalação de 2 IHM modernas e melhoria do sistema de reset geral do robô.

Como justificativa, foi explicitado que por 2 anos seguidos a célula do robô foi responsável pela a maior perda do volume de envase e que foi solicitado a visita de uma empresa especializada, que indicou um outro modelo de garra para a aplicação atual, além dos problemas na interface que não é amigável e os operadores acabam realizando a colisão do cabeçote do robô com o pallet de embalagens, mesmo contendo um documento, no local, explicando a atividade. Evidenciando a alta quantidade de falhas relacionadas a esse conjunto de peças do robô.

6.6 Dados de 2023 (Até outubro)

Os dados de 2023 são apresentados em um tópico separado, pois se trata de dados pós a nova gestão do TAF, demonstrando como uma equipe bem estruturada e preparada, conseguiu reduzir drasticamente os números de falhas de um equipamento, realizando um estudo detalhado dos últimos anos, entendendo quais são as necessidades do equipamento e mantendo os procedimentos de registro e investigação de novas falhas.

A partir dos dados de 2023, até o mês de outubro, nota-se a drástica redução dos números relacionados as falhas no robô, somando apenas 496 minutos até então.

O conjunto da cabeça do robô, apresentou um total de 80 minutos, 16% do total de perdas. Como demonstrado na Tabela 9.

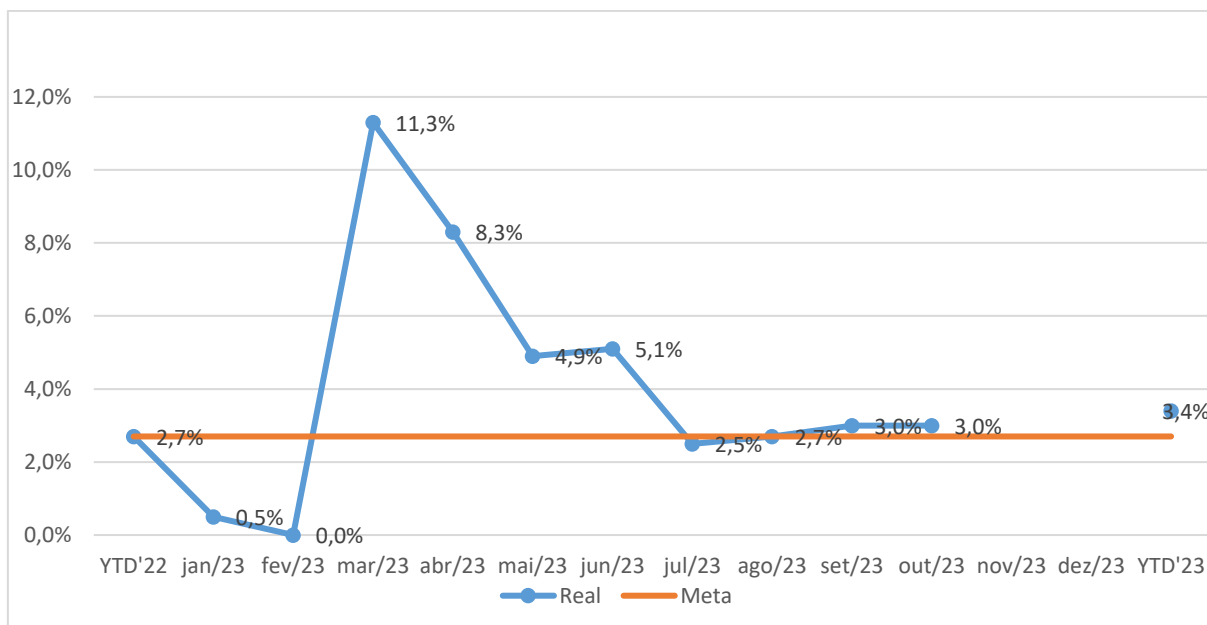
Tabela 13 - Falhas relacionadas robô (2023)

ANO 2023			
MÊS	FALHA	TEMPO (min)	DESVIO
JANEIRO	Falha térmica no magazine do robô.	15	-
JANEIRO	Falha térmica no magazine do robô.	32	-
MARÇO	Desarme do robô.	15	-
MAIO	Desarme esteira magazine.	14	-
MAIO	Falha térmica robô.	60	-
MAIO	Falha térmica magazine.	70	-
JUNHO	Falha sensores magazine robô.		-
SETEMBRO	Robô Fanuc (Sensor de redução de velocidade em falha).	80	-
OUTUBRO	Após queda de energia, falha robô Fanuc, não dá condições de resetar.	70	-
OUTUBRO	Falha novamente nos sensores do robô.	60	-
OUTUBRO	Indexador do robô fanuc travando.	20	-
OUTUBRO	Troca do sensor da garra do robô e troca de um parafuso (robô parou várias vezes no primeiro turno por queda de energia com isso veio a apresenta falha na pega das embalagens tendo que a manutenção realizar os testes e troca das peças).	60	-
TEMPO TOTAL (min)		496	-

Fonte: Autoria própria (2023)

Na figura 28, nota-se que embora os valores de manutenção relacionados ao robô apresentaram valores muito abaixo dos últimos anos, o *downtime* do envase acabou por extrapolar a meta por alguns meses consecutivos, isso se deu pelo fato de o tempo programado de produção ter sido relativamente baixo nos meses de março, abril, maio e junho, relacionado a diversas perdas de tempo produtivo, por falhas relacionadas a enchadeira, mostrando-se um equipamento elegível para um próximo estudo.

Figura 28 - Downtime manutenção fábrica de envase (2023)



Fonte: Autoria própria (2023)

Na Tabela 10, é possível identificar como a ação do time de análise de falhas, a partir do fim de 2022, foi extremamente efetiva, devido à queda drástica dos valores relacionados aos indicadores calculados dos anos de 2019 a 2022.

Tabela 14 – Indicadores de manutenção de 2019 a 2023

	ANO				
	2019	2020	2021	2022	2023
TEMPO TOTAL (min)	2629	1559	1994	1855	496
QUANTIDADE DE FALHAS	35	14	16	27	12
TEMPO PROGRAMADO DE PRODUÇÃO (h)	2043	2348	2257	2597	1659
MTBF (h)	57,12	165,86	138,99	95,04	137,56
MTBF (dias)	2,38	6,91	5,79	3,96	5,73
MTTR (h)	1,25	1,86	2,08	1,15	0,69
CONFIABILIDADE (30 dias)	59,81%	83,62%	80,84%	73,21%	80,49%
DISPONIBILIDADE	97,86%	98,89%	98,53%	98,81%	99,50%
DOWNTIME ROBÔ	2,14%	1,11%	1,47%	1,19%	0,50%

Fonte: Autoria própria (2023)

Torna-se nítido, como à quebra do ciclo vicioso relacionado à algumas falhas, causa um grande impacto nos números totais, como o aumento do MTBF, voltando a passar de 5 dias, o tempo entre falhas, o MTTR de apenas 41 minutos, tornando-se o menor entre todos os analisados, a confiabilidade voltou a passar dos 80%, após estar em queda por dois anos consecutivos e a disponibilidade do robô, passando para o valor de 99,5%, ou seja, o robô só não esteve disponível por 8 horas, de janeiro a

outubro. Demonstrando a assertividade do TAF nas ações durante o estudo da melhoria da disponibilidade e confiabilidade do robô paletizador.

Mesmo com a melhora de todos os valores relacionados ao robô, manteve-se o investimento na troca da “cabeça” do robô, que por ser considerada uma atividade crítica, será realizada ainda no ano de 2023, ao invés de 2024.

6.7 Ações futuras

Continuar com a vigilância e registro apropriados das falhas futuras, conduzindo todas as investigações conforme o procedimento estabelecido pela empresa, com o objetivo de que o TAF identifique a causa raiz e potenciais causas. Em seguida, implementar as medidas adequadas para mitigar essas causas, monitorar o progresso dessas ações e supervisionar o cumprimento dos procedimentos por todas as partes envolvidas.

Realizar treinamento com os operados responsáveis pelos lançamentos das falhas no sistema, na intenção de zerar os erros de nomenclatura dos equipamentos, redução da quantidade de erros ortográficos e melhoria na descrição dos acontecimentos, auxiliando nas futuras investigações.

Continuar a realizar estudos sobre os equipamentos críticos nas fábricas, seguindo a abordagem do presente trabalho, com o propósito de identificar possíveis falhas nos processos de investigação anteriores. O objetivo é detectar quais falhas estão presas em ciclos viciosos para que possam ser interrompidas. Caso problemas irreparáveis sejam identificados, iniciar o processo de solicitação de investimento para a substituição das peças ou equipamentos afetados.

Iniciar uma análise que relacione os períodos de perda de produção com o valor agregado do produto no momento da falha, buscando determinar o custo associado à hora perdida. O objetivo é justificar investimentos em novas tecnologias, destacando as implicações financeiras diretas das interrupções na produção.

6.8 Discussões gerais

A análise abrangente não apenas dos dados pós-estruturação do TAF, mas também da análise dos registros dos últimos 6 anos antes da formação da equipe, permitiu identificar os principais equívocos cometidos pelas gestões anteriores durante o registro, investigação e acompanhamento das falhas até 2022. Tornou-se

evidente a necessidade de reavaliação das investigações para implementar medidas corretivas e mitigar as falhas, que estavam em um ciclo vicioso, impactando negativamente a confiabilidade e disponibilidade do maquinário. Isso resultava em significativas perdas de tempo, aumento dos custos de manutenção e redução do tempo produtivo devido a paralisações na fábrica.

A análise dos dados referentes a 2023 revela que as ações implementadas pelo TAF no final de 2022 e ao longo de 2023 foram essenciais para a redução dos indicadores relacionados ao robô. Portanto, é seguro afirmar que a aplicação das técnicas de análise de falhas dentro de um ciclo de melhoria contínua pode efetivamente aumentar a confiabilidade e disponibilidade de um equipamento.

7 CONCLUSÃO

Neste trabalho, objetivou-se aprofundar o estudo sobre análise de falhas de um robô paletizador de uma indústria de defensivos agrícolas, analisando-se os passos para a realização do estudo e barreiras encontradas na realização do programa.

O levantamento de dados relacionados às falhas revelou benefícios ao proporcionar uma compreensão mais clara dos pontos que necessitam de revisão devido à má execução. Concluiu-se que a ausência de desvios registrados está diretamente ligada à não conformidade com o processo estabelecido. Esse fator contribuiu para a incapacidade do grupo de colaboradores da época em interromper tais falhas, permitindo que estas entrassem em um ciclo vicioso, especialmente aquelas associadas à estrutura da "cabeça" do robô. Estas representaram 5913 minutos de um total de 9846 registrados entre 2017 e 2022, correspondendo a 60% do tempo total de paradas. Logo, mostrou-se necessário a investigação mais aprofundada dos desvios relacionados a essa estrutura.

Após uma análise minuciosa sobre as investigações, deduz-se que aquelas classificadas como de alta e média prioridade, em sua maioria, foram conduzidas de maneira inadequada, apresentando dados insuficientes ou sendo realizadas de forma não conforme, o que favoreceu a recorrência das falhas. No entanto, com a melhoria na condução das análises a partir de junho de 2022, observa-se que, se todas as ações corretivas estão sendo implementadas com êxito, é possível refinar as hipóteses sobre as causas das falhas, facilitando a identificação e mitigação dessas causas. Quando as soluções implementadas não abordam de forma eficaz os problemas identificados, torna-se evidente a necessidade de realizar uma nova avaliação da viabilidade de manter o mesmo equipamento, considerando que este pode não ser mais adequado ao processo.

Ao manter registros e investigações em um ciclo de melhoria contínua, é possível diminuir tanto a quantidade quanto a complexidade das falhas, uma vez que é mais simples realizar ajustes, como apertos de parafusos ou até a substituição de peças, do que conduzir manutenções complexas após uma falha total do equipamento. Essa abordagem permite evitar danos a partes anteriormente saudáveis, contribuindo para a eficiência e prevenção de falhas graves.

Assim, é possível concluir que a redução das falhas por meio de um time de análise de falhas, que adote um procedimento apropriado para a investigação de

avarias, implementado de maneira eficaz e seguido pelos colaboradores da empresa, impacta positivamente na disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos. Pois ambos os parâmetros são derivados dos valores das quantidades e do tempo de cada falha ocorrida.

Para futuros estudos, seria vantajoso examinar de maneira mais aprofundada a correlação entre essas melhorias e a redução dos custos associados às manutenções corretivas. Além disso, seria relevante investigar como essas melhorias podem influenciar positivamente no aumento da produtividade e, conseqüentemente, no faturamento da empresa, considerando a diminuição do tempo registrado como perdas. Essa abordagem permitirá uma compreensão mais abrangente do impacto financeiro e operacional das ações implementadas para mitigação de falhas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, P. S. **Manutenção Mecânica Industrial - Conceitos Básicos e Tecnologia Aplicada**. São Paulo: Editora Saraiva, 2015.
- ALMEIDA, P. S. **Manutenção Mecânica Industrial - Princípios Técnicos e Operações**. São Paulo: Editora Saraiva, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5462**: Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- BRAIDOTTI, F. R.; JUNIOR, J. W. B. **A anatomia do PPCM - Planejamento, Programação e Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna. 2021.
- CAMPOS, A. L.; *et al.* **O avanço do agrotóxico no Brasil e seus impactos na saúde e no ambiente**. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, Maringá, v. 14, n. 1, p.191-204, jan. 2021.
- CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Mercado de trabalho do agronegócio**. 2022. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/mercado-de-trabalho-do-agronegocio.aspx>. Acesso em: 01 out. 2022.
- CETRO. CETRO MÁQUINAS. 2023. **Aplicadora de Rótulo Sleev em Linha**. Disponível em: https://www.cetro.com.br/aplicadora-de-rotulo-sleev-em-linha/p?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiApOyqBhDIARIsAGfnyMqXdUnaHlacoj-DegcAzaGmSbW0KIDe3x9Ljf3OTHMQDgDyCW_AqdlAv6dEALw_wcB. Acesso em: 13 nov. 2023
- CNA. Confederação da Agricultura e Pecuária no Brasil. **PIB do agronegócio**. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/PIB-do-Agronegocio-20set22-2.pdf>. Acesso em: 01 out. 2022.
- DICIO. Dicionário Online de Português. **Eficiência**. 2022. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/eficiencia/>. Acesso em: 02 set. 2022.
- ELSAYED, A. E. System reliability engineering. **Probability in the Engineering and Informational Sciences**, Massachusetts, v. 12, n. 4, p. 533 – 534, out. 1996.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Agrotóxicos no Brasil**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agricultura-e-meio-ambiente/qualidade/dinamica/agrotoxicos-no-brasil#>. Acesso em: 25 set. 2022.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **O agro no Brasil e no mundo: uma síntese do período de 2000 a 2020**. 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/10180/62618376/O+AGRO+NO+BRASIL+E+NO+MUNDO.pdf>. Acesso em: 25 set. 2022.

ENESVAL. Envasados Especiales Valdemoro. **Robot Paletizador**. 2022. Disponível em: <https://enesval.com/paletizadores/robots/robot-paletizador/>. Acesso em: 03 dez. 2022

EPSJV. Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio. **Agrotóxicos: um mercado bilionário e cada vez mais concentrado**. 2012. Disponível em: <https://www.epsjv.fiocruz.br/noticias/reportagem/agrotoxicos-um-mercado-bilionario-e-cada-vez-mais-concentrado>. Acesso em: 10 out. 2022.

FILHO, G. B. **Dicionário de Termos de Manutenção, Confiabilidade e Qualidade**. 4 ed., Ciência Moderna Ltda, Rio de Janeiro. 2006.

FILHO, G.B. **A Organização, o Planejamento e o Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna Ltda. 2008.

FOGLIATTO, F; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2009.

GREGÓRIO, G. F. P.; SANTOS, D. F.; PRATA, A. B. **Engenharia de manutenção**. Porto Alegre: Grupo A, 2018.

GREGÓRIO, G. F. P.; SILVEIRA, A. M. **Manutenção industrial**. Porto Alegre: Grupo A, 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal 2021**. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/66/pam_2021_v48_br_informativo.pdf. Acesso em: 11 out. 2022.

ISAAA. International Service for the Acquisition of Agri-biotech. **Brief42: Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2010**. Disponível em: <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/42/default.asp>. Acesso em 20 out. 2022.

KARDEC, A; NASCIF, J. **Manutenção - Função estratégica**. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2019.

LAFRAIA, J. R. B. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2001.

MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance**. 2. ed. New York: Industrial Press, 1997.

NETO, A.C.L.; FILHO, G.B. **Apostila do treinamento em “Manutenção Centrada em Confiabilidade”**. Rio de Janeiro: ABRAMAN, 2002.

NEVES, M. F.; *et al.* **Ferramentas para o futuro do agro: Estratégias para posicionar o Brasil como fornecedor mundial sustentável de alimentos, bioenergia e outros agroprodutos**. São Paulo: Editora Gente. 2021.

OLIVEIRA, O. J. **Curso básico de gestão da qualidade**. São Paulo: Cengage Learning, 2020.

PERES, F. **É veneno ou é remédio? Os desafios da comunicação rural sobre agrotóxicos.** 1999. Dissertação (Mestrado) – Escola Nacional de Saúde Pública, Fiocruz, Rio de Janeiro, 1999.

RIBAS, P. P.; MATSUMURA, A. T. S. A química dos agrotóxicos: impacto sobre a saúde e meio ambiente. **Revista Liberato**, Rio Grande do Sul, v.10, n.14, p. 149-158, 2009.

SELLITTO, M. A. Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos. **Revista Produção**, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 44-59, 2005.

TERRA, F. H. B. **A INDÚSTRIA DE AGROTÓXICOS NO BRASIL.** 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

TOLEDO, J. C.; FERRO, J. R.; TRUZZI, O. M. S. Indústrias de processo contínuo: novos rumos para a organização do trabalho. **Revista de Administração de Empresas**, v. 26, p. 103-105, 1986. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-75901986000100011>. Acesso em: 15 out. 2022

TOVAR, P. H. H. **Análise Fmea Para Aplicação da Metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade: estudo de caso em motor hidráulico poclain.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017.

XENOS, H. G. **Gerenciando a manutenção produtiva.** Segunda Edição. Minas Gerais: FALCONI Editora, 2017.

YUDELMAN, M.; RATTA, A.; NYGAARD, D. **Pest management and food production – looking to the future.** Washington: International Food Policy Institute, 1998.

ZEGLA. ZEGLA DESDE 1982. 2023. **Envasadora Agrochem.** Disponível: <https://www.zegla.com.br/equipamento/enchedora-agrochem,175>. Acesso em: 13 nov. 2023