

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA
FONSECA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ENGENHARIA MECÂNICA**

**CAIO HENRIQUE VICTORIANO SANTOS RODRIGUES
LUCAS FONTAM MUNIZ**

**GESTÃO DA MANUTENÇÃO PARA PREVENÇÃO DE FALHAS EM UMA
EMPRESA DE TAXI AÉREO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

RIO DE JANEIRO

2021

**CAIO HENRIQUE VICTORIANO SANTOS RODRIGUES
LUCAS FONTAM MUNIZ**

**GESTÃO DA MANUTENÇÃO PARA PREVENÇÃO DE FALHAS EM UMA
EMPRESA DE TÁXI AÉREO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, Departamento De Engenharia Mecânica, do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca.

Orientadora: Prof. Lais Amaral Alves

Co-orientador: Prof. Alexandre Ali
Guimarães

RIO DE JANEIRO

2021

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

R696 Rodrigues, Caio Henrique Victoriano Santos
Gestão da manutenção para prevenção de falhas em uma
empresa de taxi aéreo / Caio Henrique Victoriano Santos Rodrigues
[e] Lucas Fontam Muniz – 2021.
58f.: il. color., enc.

Projeto Final (Graduação). Centro Federal de Educação
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2021.

Bibliografia: f. 54-58

Orientadora: Lais Amaral Alves

Coorientador: Alexandre Ali Guimarães

1. Engenharia Mecânica. 2. Controle de qualidade.
3. Gestão da qualidade total. I. Alves, Lais Amaral (Orient.).
II. Guimarães, Alexandre Ali (Coorient.). III. Muniz, Lucas
Fontam. IV. Título.

CDD 620.1

Dedicatória Lucas:

Dedico este trabalho a minha família, amigos e meus orientadores por todo apoio durante minha vida acadêmica para a realização desta jornada.

Dedicatória Caio:

Dedico a minha família, aos professores orientadores e amigos de faculdade por estarem comigo nesse desafio.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos Lucas:

Agradeço a toda minha família e amigos por toda a ajuda que me dispuseram nesse momento de muito esforço e suor. Obrigado Natália e Júlia pela ajuda nas formatações, obrigado Carlos e Nádia pelo apoio nas noites mal dormidas fazendo café para mim enquanto eu escrevia o projeto final, obrigado Gabriela pela ajuda com ideias e me mostrando as melhores ferramentas para eu fazer minhas pesquisas. Obrigado aos meus orientadores Laís e Alexandre Ali por todos os conselhos e broncas que nos deram, sem eles provavelmente não conseguiríamos estar aqui. E ao meu parceiro Caio, por ter participado junto comigo desta aventura chamada de TCC.

Agradecimentos Caio:

Mãe, Pai e Irmão por terem sido minha base para tudo e porto seguro onde sempre pude encontrar apoio e muito amor. Meus amigos de faculdade, que estiveram presentes em momentos difíceis e nas viradas para provas malucas como de MTT e outras matérias que até hoje me surpreendem de ter conseguido passar. A todos os amigos e amigas de Enactus, que tornaram diversos momentos mais leves e que foi o local onde realmente mudou a minha vida. Muito grato por cada minuto passado na casinha amarela. Grato as aulas práticas, que sem dúvidas foi a melhor parte da faculdade. Grato a minha companheira, Jéssica, por me acompanhar nessa jornada repleta de grandes desafios. Ao Fontam, por ter participado junto comigo de momentos de grande superação e companheirismo como as aulas em Itaguaí. Além disso, nesse desafio final de trabalho de conclusão de curso. E também aos nossos professores que desde o início acreditaram em nós

RESUMO

RODRIGUES, V.S.R; MUNIZ, F. **Gestão da manutenção para prevenção de falhas em uma empresa de táxi aéreo**: 2021. 58p. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca. Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2021.

Em uma empresa de Taxi Aéreo, percebeu-se, através de relatórios, que existiam muitas falhas causadas por problemas nos *dampers* em seus helicópteros. O *damper* possui uma alta rotatividade de troca o que eleva a possibilidade de falhas se comparado a outras peças causando assim, um aumento dos gastos da empresa. A proposta deste trabalho, é tentar minimizar o número destas falhas, e conseqüentemente a reduzir os custos, integrando os diversos métodos de gestão de qualidade, que são aplicadas a manutenção, com os problemas das falhas dos *dampers*. De modo a criar um processo que tenha uma linguagem técnica e objetiva com o propósito de tornar o método replicável não só em outros componentes, mas também para a utilização em outras empresas. Iniciou-se então o trabalho, explanando o surgimento da teoria da gestão de qualidade e da gestão da manutenção e junto a isso foi apresentado ferramentas e suas respectivas aplicações. Na seqüência, iniciou-se a explicação sobre o que é um *damper* de um helicóptero, seus materiais e componentes e para que ele serve. E por fim, utilizou-se 4 ferramentas e sistema de tomada de decisão e de gestão, Ishikawa, FMEA, GUT e 5W2H a partir do referencial teórico da Gestão da Qualidade Total (TQM), de forma a identificar todas as etapas envolvidas no processo da gestão da manutenção. Para a identificação das falhas utilizou-se o Diagrama de Ishikawa, na seqüência o aprofundamento da análise das causas foi identificada pelo FMEA, depois a aplicação da Matriz GUT para a priorização das falhas identificadas pela empresa que está sendo estudada e finalizando com a aplicação da ferramenta 5W2H que criou um plano de ação, a fim de dirimir quaisquer acidentes que venham a acontecer e impactar diretamente a vida de todos os envolvidos além de possibilitar a aplicabilidade em outros componentes e empresas.

Palavras-chave: *Damper*. FMEA. GUT. 5W2H. ISHIKAWA.MANUTENÇÃO.

ABSTRACT

RODRIGUES, V.S.R.; MUNIZ, F **Maintenance management for failure prevention in an air taxi company**. 2021. 58p. Trabalho de Conclusão de Curso - Federal Center of Technological Education – Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2021.

In an Air Taxi company, it is analyzed, through reports, that there are many failures caused by problems in the shock absorbers in their helicopters. The damper has a high exchange turnover which raises the possibility of failure in relation to other parts, thus causing an increase in the company's expenses. The work proposal is to try to minimize the number of these failures, and consequently to reduce costs, integrating the various methods of quality management, which are applied to maintenance, with the problems of shock absorbers failures. To create a process that has a clear and objective language to make the method replicable not only in other components, but also for use in other companies. The work then began, explaining the emergence of the theory of quality management and maintenance management, and along with that, tools and their unique applications were presented. Then begins an explanation of what a helicopter shock absorber is, what it is made of and what it is for. Finally, 4 tools are used, Ishikawa, FMEA, GUT and 5W2H from the theoretical framework of Total Quality Management (TQM), to identify all the steps involved in the maintenance management process. For the identification of failures, the Ishikawa Diagram was used, then the deepening of the analysis of the causes was identified by the FMEA, after an application of the GUT Matrix to prioritize the failures identified by the company being studied and ending with the application of the 5W2H tool that created an action plan in order to settle any accidents that may happen and directly impact the lives of everyone involved, in addition to enabling applicability in other components and companies.

Keywords: *Damper*; FMEA; GUT; 5W2H. ISHIKAWA. MAINTENANCE.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gestão da Qualidade Total	18
Figura 2 - Evolução interna (Vertical e Horizontal) dos métodos.....	20
Figura 3 - Exemplo aplicado do Diagrama	23
Figura 4 - Modelo AW 139.....	23
Figura 5 - Zonas do AW 139	36
Figura 6 - Cabeça do Rotor Principal	37
Figura 7 - Cabeça do Rotor Principal	37
Figura 8 - <i>Damper</i>	38
Figura 9 - Diagrama de Ishikawa aplicação 1.....	39
Figura 10 - Diagrama de Ishikawa aplicação 2.....	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - As principais eras da qualidade.	16
Quadro 2 - Escala de gravidade.....	21
Quadro 3 - Critério de avaliação de ocorrência.....	23
Quadro 4 - Valores dos acidentes em um determinado período.....	24
Quadro 5 - Índice de Detecção.....	25
Quadro 6 - Correlação dos métodos de detecção com o qualitativo.....	25
Quadro 7 - Conceito dos critérios avaliativos da Matriz GUT.....	27
Quadro 8 - Critérios utilizados para pontuação.....	27
Quadro 9 - Método da ferramenta 5W2H.....	39
Quadro 10 - Relação falhas ocorridas e suas recorrências.....	40
Quadro 11 - Aplicação do FMEA nas falhas do <i>damper</i>	43
Quadro 12 - Aplicação do GUT nas falhas do <i>damper</i>	46
Quadro 13 - Sugestão de soluções a serem tomadas.....	47
Quadro 14 - Sugestão de soluções a serem tomadas.....	50
Quadro 15 - Aplicação de 5W2H na primeira ordem de priorização.....	51
Quadro 16 - Aplicação de 5W2H na segunda ordem de priorização.....	51
Quadro 17 - Aplicação de 5W2H na terceira ordem de priorização.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

LISTA DE ABREVIATURAS

CBM – *Condition Based Maintenance* (manutenção baseada em condições);

CM – manutenção corretiva;

D – Detecção;

DFMEA – *Design FMEA*(Análise de Modo e Efeito de Falha);

EMS – Serviço de emergência médica;

FMEA – Análise de Modo e Efeito de Falha;

G – Gravidade;

GUT – Gravidade, Urgência e Tendência;

ISO – *International Standard Organization*;

O – Ocorrência;

PFMEA – Processo FMEA

PM – Manutenção Pré-Determinada;

PvM – Manutenção preventiva;

RPN – Número de Prioridade de Risco;

SGQ – Sistemas de Gestão da Qualidade;

SMEA – Serviço FMEA

T– Tendência;

TQM – *Total Quality Management*.

U – Urgência;

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.2 OBJETIVO	12
1.3 JUSTIFICATIVA	13
1.4 METODOLOGIA APLICADA.....	13
1.5 Estrutura do trabalho.....	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 gestão da qualidade.....	15
2.2 FERRAMENTAS DA QUALIDADE	21
2.2.1 Diagrama de Ishikawa	21
2.2.2 FMEA - ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHA	23
2.2.3 Matriz GUT	30
2.2.4 Ferramenta 5W2H	31
2.3 QUALIDADE NA MANUTENÇÃO	32
2.3.1 Gestão da manutenção	32
2.4 TIPOS DE MANUTENÇÃO	33
3. MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.1 <i>DAMPER</i>	36
3.2 APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE QUALIDADE.....	40
4.0 ANÁLISE DE RESULTADOS.....	42
4.1 APLICAÇÃO e resultados DE ISHIKAWA.....	42
4.2 APLICAÇÃO e resultados: FMEA	44
4.3 APLICAÇÃO E RESULTADOS: GUT	48
4.4 ANÁLISE E RESULTADOS: 5W2H	50
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

INTRODUÇÃO

A sociedade tem passado por grandes transformações, onde novas tecnologias são descobertas a todo momento, além de novos conceitos como: *Internet das Coisas* (IoT), *Realidade Aumentada* (AR), *Inteligência Artificial* (IA), *Big Data* e *Criptomoedas* (COSTA, 2021). As empresas necessitam buscar melhorias em seus processos, otimizar suas operações e reduzir custos e falhas para que possam se manter competitivas no longo prazo e relevantes para o mercado em que estão inseridas (COSTA, 2021).

Com o passar dos anos, entendeu-se que para reduzir os custos e os problemas que ocorriam nas empresas, era necessário um novo modelo de produção, que tivessem um mapeamento completo e cuidadoso de todas as etapas dos processos de produção a fim de entender os pontos de melhoria para cada etapa de produção. E com isso, novos métodos e ferramentas de análise foram desenvolvidos. Esta maneira de gerir, levando em consideração essa verificação minuciosa foi denominada de *Gestão de Qualidade Total* (MENDES, 2007).

A gestão da qualidade total como modelo de gestão teve origem no Japão e foi introduzido posteriormente por empresas norte-americanas e europeias. Autores como Deming, Juran, Crosby, Feigenbaum, Taguchi, Ishikawa, entre outros, são considerados os grandes mestres e pensadores da gestão da qualidade total e compartilharam em seus trabalhos alguns princípios fundamentais para a implementação deste novo modelo. (MENDES, 2007 *apud* LOPES, 2014)

No início da década de 1980, o mundo voltava sua atenção para o elevado grau de competitividade alcançado pelas principais indústrias japonesas, cujos produtos chegavam com excelente qualidade e preços relativamente baixos nos principais mercados consumidores do mundo ocidental, passando a constituir uma ameaça para as suas economias. Esse aumento da competitividade impulsionou a disseminação, de conceitos e ferramentas, de gestão da qualidade para o mundo todo. (CORDEIRO, 2004).

Em 1987, a *International Standard Organization* (ISO) publicou a série de normas ISO 9000, com o intuito de criar um padrão para a aplicação dos conteúdos de gestão da qualidade total às empresas europeias e, posteriormente, do mundo todo. Ainda na década de 1980, foi criado o prêmio nacional da qualidade, Malcom

Baldrige Award, nos Estados Unidos, de forma semelhante ao Prêmio Deming, existente no Japão desde 1951. O objetivo era premiar as empresas que fossem mais bem-sucedidas na implantação de modelos de Gestão da Qualidade Total ou *Total Quality Management* (TQM) (CORDEIRO, 2004).

Inicialmente, a Gestão da Qualidade tinha um papel primordial de impedir que peças defeituosas chegassem nas mãos dos clientes finais. Amostras de peças dos processos controlados eram retiradas e inspecionadas com uma frequência predeterminada. Sempre que os resultados das medidas estivessem fora dos limites de controle, seria o indício de que algo de anormal estaria ocorrendo, justificando a interrupção do processo produtivo e a inspeção de todas as peças fabricadas (CORDEIRO, 2004).

Com a evolução das ferramentas e surgimento de novos métodos, a Gestão da Qualidade Total tem tido novas interpretações (COSTA *et al*, 2021). Neste trabalho será apresentado por meio de suas definições e aplicações práticas, de ferramentas de gestão da qualidade, como, Diagrama de Ishikawa, Matriz GUT e FMEA, aplicados em uma peça de Helicóptero de uma empresa de Táxi Aéreo do Rio de Janeiro.

1.2 OBJETIVO

O trabalho faz um levantamento sobre a origem e evolução que a gestão da qualidade total teve ao longo dos anos e como impactou diretamente desde pequenos negócios a grandes indústrias, do Japão aos Estados Unidos da América, e sua conexão com a gestão de manutenção.

Com o conhecimento de gestão de qualidade, faz-se uma explicação do que é um *dampers*, do que compõe sua estrutura e qual sua função. Esta peça foi escolhida como objeto de análise, pois possui uma alta rotatividade e necessita de trocas frequentes, quando comparados a outras peças. Deste modo, as possibilidades de falhas são maiores, em relação a outros itens, e conseqüentemente, geram elevados custos de manutenção a empresa, além de perigos à vida das pessoas que estão na aeronave.

O trabalho tem como objetivo principal elaborar um estudo de caso pautado em analisar sessenta falhas que ocorreram no período de um ano em *dampers* de aeronaves de uma Empresa de Taxi Aéreo sediada no Brasil. O trabalho foi

desenvolvido com métodos integrados de ferramentas de qualidade, composto por Diagrama de Ishikawa, FMEA, matriz GUT e ferramenta 5W2H. Como resultado, o trabalho trouxe possíveis soluções priorizadas a serem implementadas pela empresa de táxi aéreo, com a finalidade de gerar um processo de fácil interpretação e aplicação para que se tenha a possibilidade de replicar esse método para outros componentes e até mesmo para outras empresas do ramo.

1.3 JUSTIFICATIVA

Segundo o Painel SIPAER do Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA) da Força Aérea Brasileira, o Brasil registrou de janeiro de 2010 até setembro de 2021 um total de 3320 acidentes aéreos, do total, 456 destes foram acidentes fatais. Os aviões lideram o número de ocorrências com 73%, e em segundo lugar estão os helicópteros, que é o foco deste estudo. (CENIPA, 2021).

Existem diversos fatores envolvidos em acidentes, mas a manutenção das aeronaves e o treinamento dos pilotos fazem toda a diferença para a redução de acidentes, principalmente em helicópteros. (NAKAHARA, 2021).

A necessidade de uma boa gestão de manutenção em empresas que lidam com tráfegos aéreos diários se faz necessário, uma vez que acidentes aéreos possuem um alto índice de periculosidade. Desta forma, se mostra de grande importância o estudo feito conectando ferramentas de gestão da qualidade e manutenção com as falhas, a fim de mitigar futuros acidentes e perdas de vidas.

1.4 METODOLOGIA APLICADA

Inicialmente foi realizado um referencial bibliográfico com objetivo de justificar e embasar o estudo, bem como definir alguns termos relacionados ao tema proposto guiado pelos temas de gestão da qualidade e gestão da manutenção.

Além disso, foram aplicadas três ferramentas de auxílio a tomada de decisão, Ishikawa, FMEA, GUT, para construir um processo de gestão de qualidade e para as ações corretivas, que se inicia na detecção das falhas, finalizando com a priorização das soluções a serem implementadas.

Com a aplicação do 5W2H, foi possível não apenas visualizar uma conexão entre todas as ferramentas, que se complementam, ainda, inclusive aplicar o plano de ação para a resolução dos problemas que foram identificados, o que é fundamental quando se busca replicar o processo criado em outros componentes ou em outras empresas.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

No primeiro capítulo foi feita a introdução ao tema, apresentado o objetivo do trabalho, a justificativa e a metodologia aplicada, com intuito de apresentar o trabalho

No segundo capítulo, o trabalho realiza com uma apresentação geral sobre gestão da qualidade, as ferramentas de gestão de qualidade que são a base para o desenvolvimento do estudo: Diagrama de Ishikawa, Matriz GUT, FMEA e 5W2H. Além disso, é apresentada a relação entre a gestão da qualidade e gestão da manutenção e os tipos de manutenção.

No terceiro capítulo, foi apresentada a peça de estudo, um *damper*, de um helicóptero, para que seja elaborado um estudo a partir das 60 falhas que ocorreram no período de um ano. A partir disso, as falhas são categorizadas e são aplicadas as ferramentas a fim de identificar as causas e propor possíveis soluções.

No quarto capítulo, foi realizado uma análise das aplicações das ferramentas de gestão da qualidade e de seus resultados, a fim de ter embasamento para possíveis soluções para a empresa em questão.

No quinto capítulo, o estudo apresenta as considerações finais, propondo uma priorização das soluções e um detalhamento organizado de como iniciar as realizações das soluções propostas além de indicar a possibilidade da replicação do processo em outros itens e outras empresas.

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 GESTÃO DA QUALIDADE

Após a segunda Revolução Industrial, que aconteceu no final do século XIX e início do século XX, a partir da década de 1930, as fabricas passaram a ter desafios de entregar produtos com qualidade superior e padronizada, de forma a atender as expectativas dos clientes, sempre que adquirissem seus produtos. (MOTTA & CORÁ, 2019).

Os sistemas de qualidade foram pensados, esquematizados, melhorados e implantados a partir da década de 30 nos Estados Unidos, na década de 40 no Japão e em vários outros países do mundo. (MENDES, 2007).

A gestão da qualidade total está baseada em elementos estratégicos de qualidade, a fim de oferecer ao mercado um alto nível de produtos por meio de processos produtivos bem definidos e dividida em etapas como: eliminar as perdas e suas causas, eliminar os defeitos, pesquisar as causas, reduzir os custos e otimizar todos os processos. (PALADINI, 1995 *apud* SILVA *et al*, 2018).

O controle da qualidade total foca nos tempos ótimos, em que as metas de produção são atingidas, os produtos saem das linhas de produção atendendo os padrões pré-estabelecidos e com o menor desperdício possível. Para que isto seja possível, os processos produtivos são analisados individualmente, parâmetros de produção ótimos são definidos e, em seguida, são documentados em manuais, descrevendo os detalhes, para que os trabalhadores dos diferentes turnos de produção e estabelecimentos fabris possam aplicar o que foi definido, e assim sejam reduzidos os erros. Com a finalidade de atingir os padrões indicados, o monitoramento é feito com a utilização de ferramentas estatísticas e uso de tecnologia. Mas, nem sempre foi assim (MOTTA & CORÁ, 2019). O quadro 1 exhibe a evolução da qualidade ao longo dos anos.

Identificação das Características	Etapa do Movimento da Qualidade			
	Inspeção	Controle Estatístico da Qualidade	Garantia da Qualidade	Gestão Estratégica da Qualidade
Ênfase	Uniformidade do produto	Uniformidade do produto com menos inspeção	Toda a cadeia de produção, desde o projeto até o mercado, e a contribuição de todos os grupos funcionais	Necessidades do mercado e do consumidor
Métodos	Instrumentos de medição	Instrumentos e técnicas estatísticas	Programas e sistemas	Planejamento estratégico, estabelecimento de objetivos e mobilização da organização
Responsável pela Qualidade	Departamento de inspeção	Departamentos de produção e engenharia	Todos os departamentos, embora a alta gerência só se envolve periféricamente	Todos na empresa, com a alta gerência exercendo forte liderança
Orientação e Abordagem	"Inspecciona" a qualidade	"Controla" a qualidade	"Constrói" a qualidade	"Gerencia" a qualidade

Quadro 1 - As principais eras da qualidade
Fonte: Adaptado de Garvin (1992).

Com o crescimento das grandes indústrias e grandes produções, no século XX, ficou explícita a necessidade de ter o controle de qualidade dos bens e serviços que chegavam até os clientes. Esta etapa, chama-se "era inspeção", que se voltava para o produto acabado. Assim sendo, não se produzia qualidade, apenas se encontrava produtos defeituosos na razão direta da intensidade da inspeção (MENDES, 2007).

Surgiu nas empresas, a figura de um inspetor de qualidade que assumia uma função corretiva, ou seja, distinguir produtos bons de defeituosos, fazendo um comparativo com especificações técnicas, desenho, entre outras. Com a inspeção, cumpria-se um dever de evitar que chegassem peças ou produtos defeituosos ao consumidor. Contudo, esse processo ocasionou um maior distanciamento da produção em relação à qualidade, pois o foco não era reduzir as falhas e sim localizar as falhas ao final da produção, o que gerou um número significativo de peças não conformes que foram produzidas e sucateadas. Sendo assim, apenas a inspeção ao final da produção não se fez suficiente, sendo necessário progredir para o estágio seguinte (MENDES, 2007).

Com a chegada da segunda guerra mundial e a necessidade de produção em massa, a inspeção visual se tornou impossibilitada. Com isso, foi desenvolvido um controle de qualidade baseado na estatística. Desta forma, introduziu-se técnicas de estatística e conceitos de amostragem, que possibilitavam uma inspeção mais eficiente eliminando assim, a inspeção a 100%, mas mantinha, entretanto, o carácter corretivo. Assim sendo, esta fase conservava as características da era de inspeção, associando-lhe uma ação traduzida na procura de desvios de qualidade, procurando as suas causas, porém não era suficiente, porque se fez necessário analisar não apenas ao final da produção, mas ao longo de todas as etapas produtivas até a peça final (LOPES, 2014).

Na década de 50, houve um aumento da complexidade dos produtos e necessidade de padronização da produção, assim surgiu a preocupação de como seria feita organização da gestão da qualidade na produção. A partir disso, obteve-se uma nova filosofia de gestão, que é conhecida como gestão da qualidade total, com base no desenvolvimento e na aplicação de conceitos, métodos e técnicas adequados a uma nova realidade de produção e organização. (MOTTA & CORÁ, 2019).

Os conceitos da gestão da qualidade total ficaram mais amplos, o conceito deixou de ser de uma simples função de adequação aos padrões fabris e inspeção visual e se transformou em um diferencial estratégico de aprimoramento da produção e redução de custo e adequando aos interesses dos clientes (MENDES, 2007).

Esta evolução se apresentou como uma boa alternativa para conceder as empresas, mecanismos para controlar e melhorar seus processos de maneira contínua e holística, com o objetivo de atender e superar as expectativas dos clientes, promovendo, desta forma, a melhoria organizacional e, conseqüentemente, o aumento da competitividade e produtividade, dois fatores fundamentais para empresas prosperarem. (SOUSA & LOOS, 2020).

A denominada gestão da qualidade total, como ficou conhecida essa filosofia de gestão, teve forte transformação na análise do produto para a concepção de todo um sistema de qualidade que atendesse todos os processos. A qualidade deixou de ser apenas um produto pontual, tendo a preocupação de apenas um departamento, e passou a ser um desafio de toda uma empresa. Abrangendo assim diversos departamentos da empresa, deixando de ser quase que exclusivamente corretivo, para incluir responsabilidade preventiva e estratégica para a produção. (MENDES

2007). As etapas de evolução da gestão da qualidade total, são retratadas na Figura 1, separando os aspectos que impulsionaram a evolução com foco na empresa e foco no mercado, que se refere aos clientes e compradores.

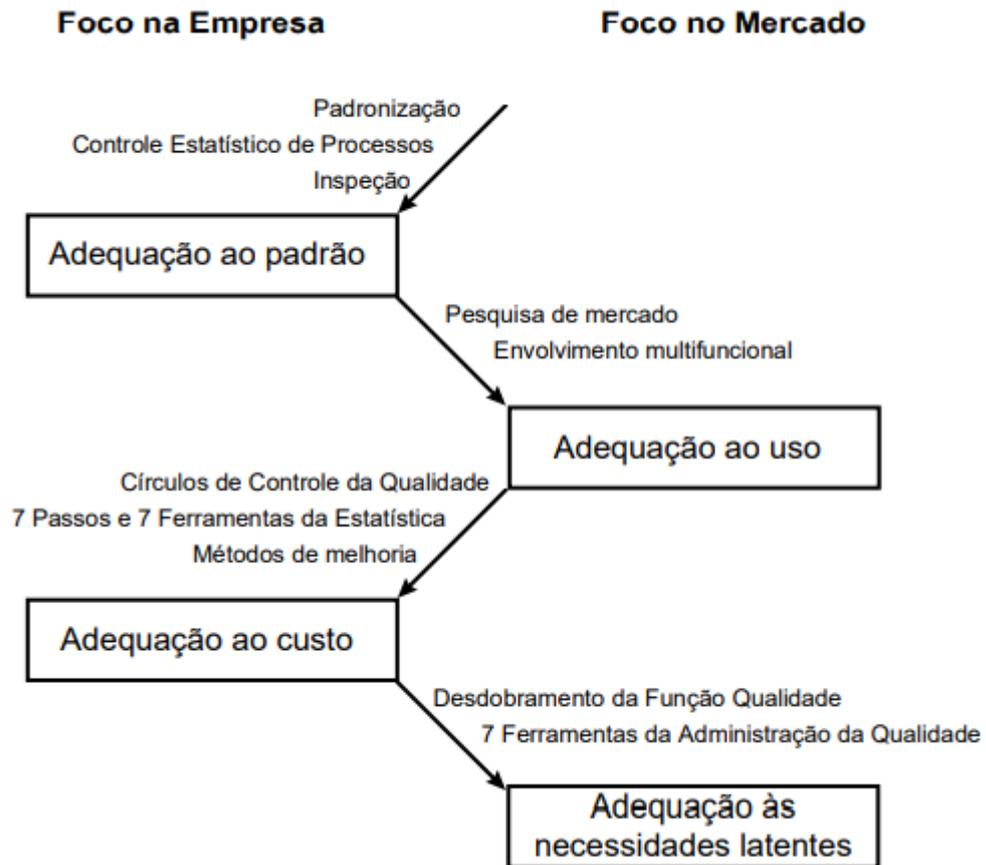


Figura 1 – Gestão da Qualidade Total

Fonte: SHIBA *et al*, (1993) p.19

Onde:

- Adequação ao padrão: Foco na qualidade de conformidade, que era observada por meio de inspeções visuais. Considerava-se que o produto atendia às necessidades dos clientes e caso houvesse algum desvio, este era considerado um problema de falta de conformação e retirado de. (MARTINS & COSTA NETO, 1998).
- Adequação ao uso: Foco era na qualidade do projeto que correspondia às necessidades dos clientes e não o que a empresa achava que era relevante. Porém ainda naquela época a adequação ou a não adequação era toda feita

por inspeção manual e isso fazia com que os custos ficassem elevados. (MARTINS & COSTA NETO, 1998)

- .
- Adequação ao custo: Foco permaneceu nas demandas reais dos clientes com a inclusão da redução dos custos. Se fez necessário obter um alto padrão de qualidade com baixos custos. (MARTINS & COSTA NETO, 1998).
- Adequação às necessidades latentes: O foco era permanecer relevante para os clientes oferecendo novos produtos e serviços a fim de manter o cliente consumindo, tornou-se uma estratégia de expansão de negócios, passou-se a olhar para as adequações, para as necessidades latentes e necessidades que os clientes ainda não tinham plena consciência da existência. (MARTINS & COSTA NETO, 1998)

A evolução do conceito da qualidade e da forma de gestão, não surgiu para obrigatoriamente excluir a era anterior a ela. Além disso, não é possível observar de forma objetiva/explicita a separação do término de uma era e o início de outra. (MARTINS & COSTA NETO, 1998).

As boas práticas da gestão da qualidade foram evoluindo e capacitando as empresas, de maneira a prever as necessidades dos clientes. Desta forma, tornaram-se mais inovadoras e mais capazes de prosperar. Vale ressaltar que para obter os melhores resultados que a gestão de qualidade pode proporcionar, é importante mesclar com mais de um tipo de ferramentas para que se obtenha os melhores resultados possíveis. Como, por exemplo, Ishikawa e FMEA. (MARTINS & COSTA NETO, 1998)

Para Motta & Corá (2019), houve outra evolução perceptível da gestão da qualidade e esta diz respeito a evolução interna das organizações, em diferentes níveis hierárquicos e gerenciais, como mostra a Figura 2.

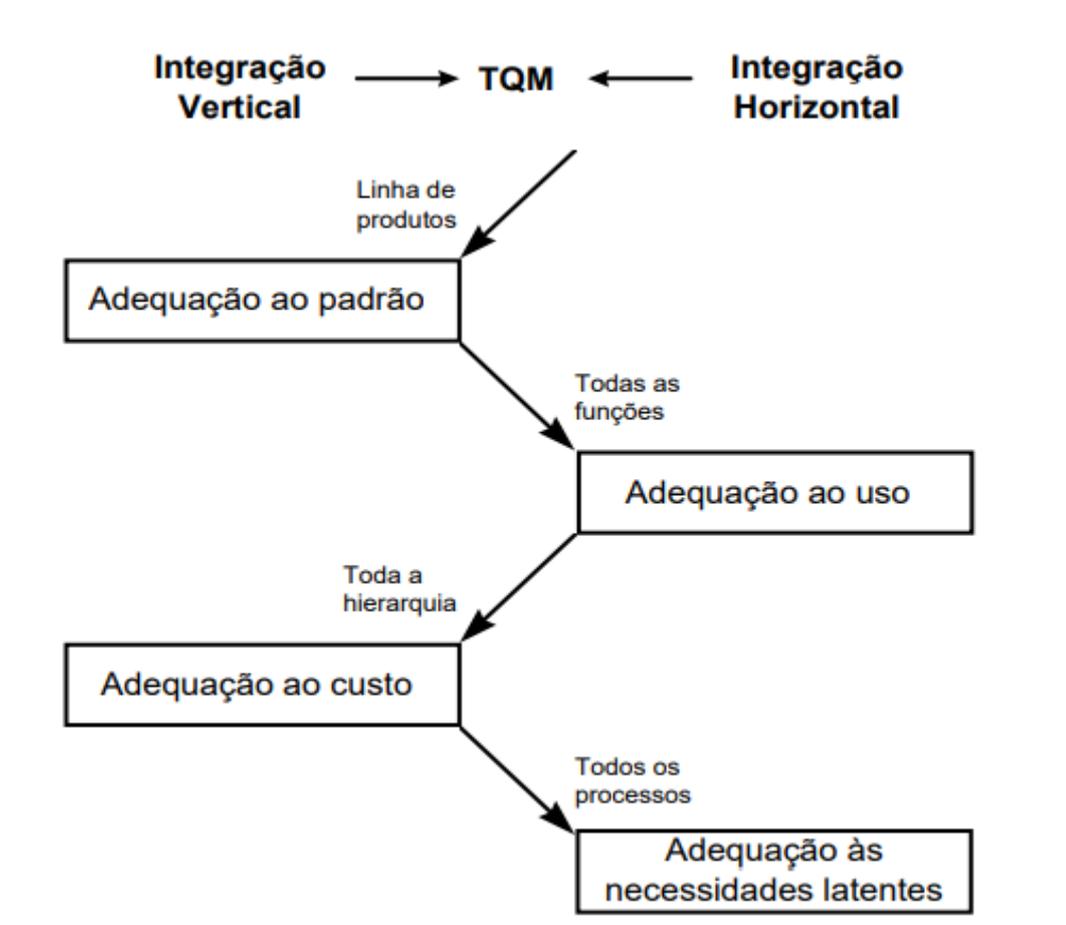


Figura 2 - Evolução interna (Vertical e Horizontal) dos métodos.

Fonte: SHIBA *et al*, (1993) p.21

O sistema de gestão da qualidade, por si só, não representa melhoria nos produtos, nem nos processos. Ele é uma ferramenta que está à disposição das organizações possibilitando, de uma maneira mais sistemática alcançar os melhores resultados. Para isso, exige da administração da empresa e de todos os colaboradores um trabalho constante para se atingir as metas estabelecidas. Este sistema tem o objetivo de permitir a satisfação não só dos clientes, mas de todos os colaboradores e gestores da empresa. (MENDES, 2007)

A gestão da qualidade ganhou mais notoriedade e passou a ser implementada em diferentes áreas das empresas, pois era uma ferramenta que poderia trazer mais produtividade, isto fez com que a gestão da qualidade fosse aplicada não apenas na parte de produção e padronização da produção como também em setores administrativos e gerenciais (MARTINS & COSTA NETO, 1998).

Logo, cada setor da empresa também tinha suas metas baseadas na gestão da qualidade total. Esta alteração provocou uma mudança por completo nas empresas, pois a qualidade começou a permear todas as áreas na empresa e todos atendiam as diretrizes da gestão da qualidade total (MARTINS & COSTA NETO, 1998).

A gestão da qualidade vai muito além dos sistemas de produção e controle de padrões de produção. A qualidade não é mais uma função isolada, independente, dominada por especialistas. A gestão da qualidade saiu da fábrica, entrou na sala da alta gerência e passou a ser um assunto presente no dia a dia das empresas. Essa mudança de perspectiva é crucial para que se entenda a evolução que qualidade teve ao longo dos anos. (GARVIN, 1992).

2.2 FERRAMENTAS DA QUALIDADE

São apresentadas algumas ferramentas importantes para a gestão da qualidade, além disso, será compartilhado aplicações delas a fim de gerar uma compreensão geral do uso de cada ferramenta.

2.2.1 Diagrama de Ishikawa

O Diagrama de Ishikawa , conhecido igualmente como Diagrama Espinha de Peixe ou Diagrama de Causa e Efeito. O fundador desta ferramenta é o Kaoru Ishikawa (1915 – 1989) foi um dos pioneiros nas atividades de Controle da Qualidade no Japão. (COSTA & MENDES, 2018)

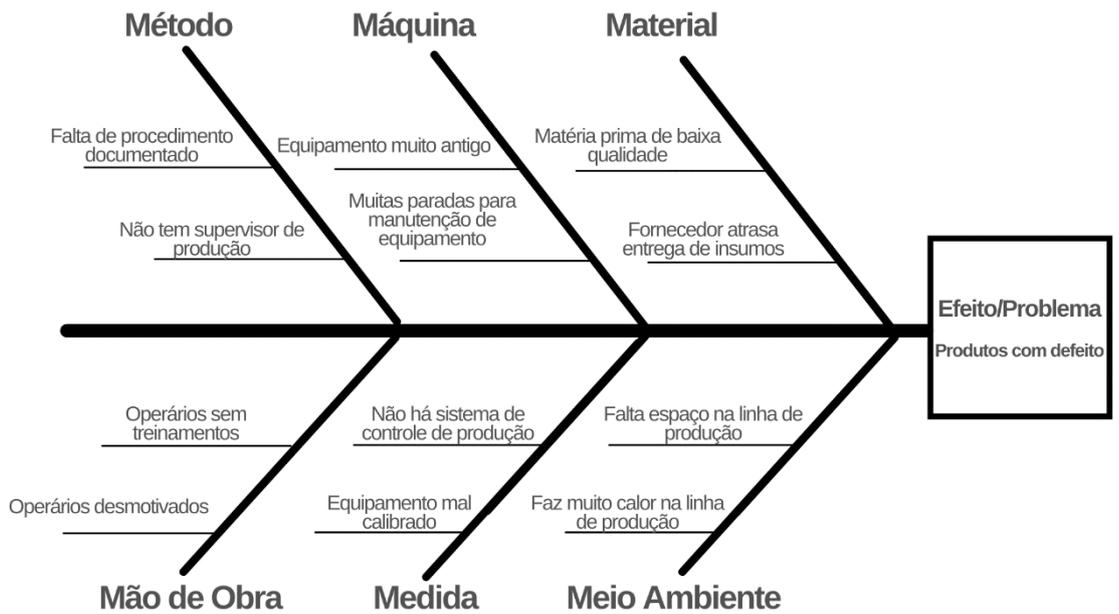
O diagrama de causa e efeito é uma representação gráfica que permite a organização das informações, possibilitando a identificação das possíveis causas de um determinado problema, dividindo-o em elementos básicos com o intuito de direcionar soluções mais eficientes (DESAI, 2015 *apud* SUÁREZ-BARRAZA & RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, 2018).

Em 1943, Kaoru Ishikawa desenvolveu o diagrama que consiste em uma técnica bem visual que interliga os resultados (efeitos) com os fatores (causas). As causas são divididas em famílias (grupos), compreendendo por máquina, mão-de-obra, materiais, métodos, meio-ambiente e medidas (6M). (MOREIRA & LOOS, 2017);

- Máquina: Devem ser classificados desta forma causas que envolvam tudo que está relacionado ao maquinário do processo. Muitos problemas são provenientes de falhas em máquinas, podendo ser causados devido à falta de manutenção ou uma má utilização pelo operador. (MOREIRA & LOOS, 2017).
- Mão de Obra: Esta envolve atitudes ou dificuldades por parte do colaborador. Alguns exemplos são: procedimento inadequado, pressa, imprudência e afins. Devemos analisar que o trabalhador não precisa de um treinamento ou uma atualização.
- Materiais: Nesta categoria são contemplados os problemas que podem surgir devido a inconformidade técnica ou de qualidade no fornecimento de peças e itens fundamentais para as produções.
- Método: Será necessário analisar melhorias nos procedimentos e cada processo e nas boas práticas de uma empresa ou indústria.
- Meio Ambiente: Neste item leva-se em conta aspectos de trabalho: Local, *Layout*, poluição, falta de espaço.
- Medidas: Esta categorização é mais de acordo com a presença no que diz respeito a falhas nos instrumentos, nas calibrações e na efetividade dos indicadores.

Desta forma, cria-se uma espinha de peixe com as setas principais voltadas para as causas e setas secundárias voltadas para as setas principais representando as sub-causas do problema, com isso as informações são destrinchadas para encontrar com mais clareza as principais causas dos problemas ou efeitos. Uma vez que, para solucionar um problema, é fundamental identificá-lo de maneira completa e correta, conhecer bem suas verdadeiras causas e somente depois implementar as mudanças necessárias (SILVA, 2018).

A figura 3 demonstra como o diagrama é uma ferramenta simples, e que ajuda a sistematizar e separar corretamente as causas dos efeitos e resolvê-los um a um



**Figura 3 – Exemplo aplicado do Diagrama
Fonte: Adaptado de ISHIKAWA 1993.**

2.2.2 FMEA - ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHA

É esperado que os processos de manutenção sejam sempre aplicados com o máximo de eficácia e com o mínimo de interrupções no processo produtivo a fim de minimizar possíveis efeitos indesejáveis ao processo. Com essa necessidade, diversas técnicas e métodos específicos foram sendo criados para reduzir essas falhas. Um destes métodos mais amplamente estabelecidos no mercado é a análise de modo e efeito de falha (FMEA) (VOLTARELLI, 2018).

O FMEA é uma técnica de engenharia que serve para definir, identificar e eliminar falhas conhecidas ou potenciais, de sistemas, projetos, processos e/ou serviços, antes que estas atinjam o cliente (STAMATIS) Já a NBR 5462/1994 se refere a FMEA como: “Método qualitativo de análise de confiabilidade que envolve a análise dos modos de falha que podem existir para cada peça, e a determinação dos efeitos de cada modo de falha sobre as outras peças e sobre a função requerida do item em questão”. (ABNT, 1994, p. 14).

Este sistema busca analisar os modos de falhas que podem ocorrer e seus respectivos efeitos para o restante do equipamento, peça ou máquina. Em geral, são analisadas primeiro as falhas encontradas, para na sequência definir seus efeitos sobre todo o funcionamento do produto ou processo. Este método de análise é

chamado de modelo *downup*. O uso do FMEA pode auxiliar a padronização de procedimentos gerando registros das falhas analisadas que poderão servir como base de análise em outras revisões de diferentes produtos ou processos, além de ações corretivas mais rápidas em produtos similares aos já analisados. (HELMAN & ANDERY, 1995).

Sendo assim, o FMEA pode ser considerado uma ferramenta de gestão da qualidade total aplicada à análise de falhas de peças em geral. Ele é de extrema utilidade para o processo de inspeção com meta em melhoria da gestão da manutenção, uma vez que através deste, pode-se chegar a um padrão controlado e documentado. Assim, é possível determinar um registro que demonstre quais falhas são mais recorrentes e os efeitos delas, traçando um plano de ação racionalizado e otimizado (HELMAN & ANDERY, 1995).

Dependendo de onde é o objeto da análise, o FMEA pode ter algumas diferenças de nomenclatura e operação. De acordo com Bluvband (2009): “Se o impacto das falhas for no produto, ele se chama (Design FMEA – DFMEA), no processo (Processo FMEA - PFMEA) ou serviço (Serviço FMEA - SFMEA)”.

- O DFMEA agirá na análise do produto antes que ele seja liberado para produção. O DFMEA vai estar focado nas possíveis falhas provocadas por algum problema no projeto como por exemplo: o espaço de montagem, em aços, a alta temperabilidade ao ar dos aços e as tolerâncias dimensionais, químicas, físicas do produto. (BLUVBAND, 2009).
- O PFMEA será utilizado para analisar um processo já iniciado ou durante seu estágio de execução. Ele focará nos modos de falhas voltados para à segurança / eficácia / eficiência do processo. Deve-se levar em consideração toda operação de manufatura, desde componentes individuais, até a montagem-

Já o SFMEA é usado para analisar a capacidade de manutenção do produto afim de atender os requisitos críticos dos clientes, ou seja, está focado nos problemas potenciais associados a problemas de manutenção e falhas de campo dos produtos fabricados com o intuito de recuperar o cliente com ações imediatas caso ocorram problemas na entrega do serviço.

A aplicação do FMEA segue um procedimento passos a passo definidos, como algumas perguntas e respostas que vão implicar no primeiro planejamento de ações. Para Bluvband (2009) as primeiras perguntas e respostas que se deve ter são:

- “Qual é a entrada para o FMEA?” Funções ou itens identificados como candidatos para análise.
- “O que pode dar errado?” O item não executa a função pretendida, o desempenho do item é ruim e o item desempenha uma função indesejada.
- “Qual é o efeito na saída do sistema?” O resultado esperado que determinada falha terá nas pessoas, sistema (equipamento) ou ambiente.”

Definido essas perguntas e respostas o FMEA vai hierarquizar os tipos de riscos priorizando os modos de falha a partir de um coeficiente denominado de número de prioridade de risco (RPN) indicado na equação: $RPN = G * O * D$, onde, G é a gravidade, O é a ocorrência e D é a detecção. (BLUVBAND, 2009 *apud* CAVAGNAC & UCHOA, 2018).

Estes índices vão variando em uma escala de um a dez. Vale ressaltar que em manutenção o efeito falha e gravidade são diretamente proporcionais, uma vez que o efeito de uma falha for muito crítico para o funcionamento do item ou processo a gravidade será alta e caso o contrário a gravidade será de menor intensidade. (MCDERMOTT, 2009 *apud* CAVAGNAC & UCHOA, 2018).

A partir da denominação das variáveis que compõe o RPN, é importante avaliar cada um de seus itens a fim de um entender quais métodos são aplicados e levados em conta para a obtenção de cada um destes índices (CAVAGNAC & UCHOA, 2018).

2.1.1.1 Índice de gravidade (G)

A classificação do índice de gravidade é realizada por meio de uma escala numérica entre 1 e 10, onde 1 é correspondente a uma baixa gravidade ou nenhuma gravidade e 10 é o com maior gravidade para o modo de falha analisado. Uma adaptação que Cavaignac & Uchoa (2018) faz do índice de Stamatis (2003) representa essa classificação como mostra o Quadro 2.

Índice	Escala qualitativa	Potencial consequência de falha
1	Menor possível	Sem impacto real
2	Baixo	Trauma irrelevante
3	-	Trauma exigindo primeiros socorros
4	Moderado	Incapacidade temporária sem afastamento
5	-	Incapacidade temporária com pequeno afastamento
6	-	Incapacidade temporária com grande afastamento
7	Alto	Invalidez permanente parcial
8	-	Invalidez permanente total
9	Crítica	Morte dos envolvidos no processo
10	-	Morte de quem não está envolvido no processo

Quadro 2 - Escala de gravidade

Fonte: Adaptado de STAMATIS (2003); PATRICIO *et al.* (2013); HOLT (2008); CAVIGNAC & UCHOA (2018)

O primeiro parâmetro que é possível analisar nesse quadro é a ‘falha sem impacto real’ cujo a descrição como o nome já diz, é aquela que não tem sequelas físicas para o empregado. Gerando desta forma, nenhum tipo de perda de tempo produtivo. O “trauma irrelevante” é a falha provocada por uma leve sequela física, porém não causa perda de tempo produtivo para a empresa e nem para o funcionário. Já o “trauma exigindo primeiros socorros”, diferencia do trauma irrelevante uma vez que esse, irá causar uma interrupção, mesmo que temporária, do tempo produtivo do funcionário para que haja os primeiros socorros. (CAVIGNAC & UCHOA, 2018).

Vale ressaltar que as incapacidades temporárias têm 2 tipos. A primeira é incapacidade parcial, quando o funcionário ainda tem a possibilidade de realizar 50% de suas competências. A segunda é incapacidade absoluta quando o funcionário está impossibilitado de realizar suas funções profissionais (DURÃO *et al.*, 2012). Para este último caso são indicados três tipos: Incapacidades temporárias sem afastamento, Incapacidades temporárias com pequeno afastamento e Incapacidades temporárias com grande afastamento. (CAVIGNAC & UCHOA, 2018).

Incapacidades temporárias sem afastamento são incapacidades que proporcionam, ao funcionário que foi impactado por algum tipo de lesão, realizar outro tipo de incumbência que seja mais fácil, até que a incapacidade causada pela lesão seja ajustada. (CAVIGNAC & UCHOA, 2018).

Em relação a Incapacidades temporárias com pequeno afastamento, estas vão exigir o afastamento do funcionário, impossibilitando a sua realocação para outra função devido a seriedade da lesão, necessitando o afastamento total para sua recuperação. Vale ressaltar que o afastamento não pode ser superior a 15 dias, o que excluirá a necessidade de previdência social. (CAVIGNAC & UCHOA, 2018).

Já a Incapacidade temporária com grande afastamento tem o mesmo princípio de que a de pequeno afastamento, porém nessa, o período de afastamento é superior a 15 dias causando a necessidade de segurança social ao colaborador. (CAVAIGNAC & UCHOA, 2018).

Em relação a invalidez permanente ou dano permanente, deve-se entender que é caracterizada pela perda da capacidade para o trabalho causado pelas sequelas deixadas no funcionário que impossibilitarão a realização do trabalho. (DURÃO et al, 2012). Desta maneira, a invalidez permanente parcial é aquela cujo funcionário tem sequelas, porém, existe a perspectiva de o profissional continuar a executar o trabalho contudo, em outras funções que sejam possíveis do profissional se adaptar. (TAKAHASHI, 2008). Já a invalidez permanente total é aquela cuja sequelas impossibilitam o trabalhador a executar qualquer tipo de função no ambiente da empresa. (TAKAHASHI, 2008).

A consequência mais crítica gerada por falhas, são as falhas relacionadas a acidentes fatais. Sendo morte dos envolvidos no processo, a morte do(s) funcionário(s) que estão diretamente envolvidos na falha e a morte de quem não está envolvido no processo, que é a maior gravidade da escala de gravidade, é a morte de não só dos profissionais que estão envolvidos diretamente na falha como de outras pessoas que não estão envolvidas, devido a tamanha gravidade da falha. (CAVAIGNAC & UCHOA, 2018).

2.1.1.2 Índice de ocorrência (O)

O quadro 3 indica os parâmetros de avaliação relacionados a quantidade de ocorrências de uma determinada falha em relação ao total. Além disso, o quadro 3 exibe o índice e, conseqüentemente, a escala qualitativa desta falha em relação ao geral. Essa referência pode ser ajustada conforme a avaliação que será analisada. (CAVAIGNAC & UCHOA, 2018).

Índice	Escala qualitativa	Frequência
1	Muito Baixo	A falha é eliminada pelo método de controle preventivo.
2	Baixo	$\leq 0,0001\%$ 1 a cada 1.000.000
3		0,001% - 0,01% 1 a cada 100.000
4	Moderado	0,01% - 0,05% 1 a cada 10.000
5		0,05% - 0,2% 1 a cada 2.000
6		0,2% - 1% 1 a cada 500
7	Alto	1% - 2% 1 a cada 100
8		2% - 5% 1 a cada 50
9		5% - 10% 1 a cada 20
10	Muito Alto	$\geq 10\%$ Acima de 1 a cada 10

Quadro 3 - Critério de avaliação de ocorrência.
Fonte: Adaptado de CAVAIGNAC & UCHOA, 2018.

Os valores do quadro 3 serão incorporados aos critérios de avaliação de ocorrência com o intuito de tornar mais fácil, e com menos possibilidade de erros, a aplicação do sistema. (CAVAIGNAC & UCHOA, 2018).

É caracterizado como tipo de acidente, todas as causas que podem gerar as falhas. Com a identificação dos tipos de falhas, da quantidade de acidente e do valor total, esses dados podem ser incorporados ao quadro 3. Assim, será possível determinar de forma mais fácil e direta, a taxa de ocorrência de cada falha do quadro 4 para aplicar no critério de avaliação de ocorrência. (CAVAIGNAC & UCHOA, 2018).

Natureza do acidente	Total
Tipo de acidente 1	X
Tipo de acidente 2	Y
Tipo de acidente 3	Z
Total de acidentes	X+Y+Z

Quadro 4 - Valores dos acidentes em um determinado período.
Fonte: Adaptado de CAVAIGNAC & UCHOA (2018)

Os resultados destas análises vão auxiliar no descobrimento dos acidentes mais graves e auxiliar em uma ação mais assertiva, com o intuito de minimizar esses tipos de falhas (CAVAIGNAC & UCHOA, 2018).

2.1.1.3 Índice de detecção (D)

Por último, o índice de detecção é a probabilidade de que a causa raiz do modo de falha seja detectada antes que as medidas de controle existentes sejam implementadas. Essa detecção será aplicada por meio de atividades de inspeção repetidas, procedimentos de inspeção antes do uso de componentes ou por meio de equipamentos automatizados.

Esse índice, assim como os outros terá uma representação em escala onde o valor mais baixo representará uma detecção instantânea e o valor mais alto irá representar uma chance muito pequena ou nenhuma possibilidade de detecção de falha como indicado no quadro 5. (STAMATIS, 2003; CAVIGNAC & UCHOA, 2018).

Índice	Escala qualitativa	Critério
1	Muito alto	A detecção é quase certa. Alta
2 a 4	Alto	probabilidade de detecção
5 a 7	Moderado	Probabilidade moderada de detecção
8 a 9	Baixo	Baixa probabilidade de detecção
10	Muito baixo	Detecção quase impossível

Quadro 5 - Índice de Detecção

Fonte: Adaptado de STAMATIS (2003); CAVIGNAC & UCHOA (2018).

Além destes fatores de detecção, pode-se incluir os 'métodos de detecção', a fim de ter um quadro mais completo da análise. Os métodos de detecção são: Inspeção Visual, inspeção tátil, inspeção via *Check list* (Lista de Controle) e inspeção instrumental. (STAMATIS, 2003). O quadro 6 indica o resultado do índice de detecção com a inclusão do método de detecção.

Índice	Escala qualitativa	Métodos de Detecção	Critério
1	Muito alto	Inspeção Visual	A detecção é quase certa. Alta
2 a 4	Alto	Inspeção Tátil	probabilidade de detecção
5 a 7	Moderado	Inspeção via Lista de Controle	Probabilidade moderada de detecção
8 a 9	Baixo	Inspeção Instrumental	Baixa probabilidade de detecção
10	Muito baixo	Falta de métodos	Detecção quase impossível

Quadro 6 - Correlação dos métodos de detecção com o qualitativo.

Fonte: Adaptado de STAMATIS (2003); CAVIGNAC & UCHOA (2018).

2.2.3 Matriz GUT

A Matriz GUT tem como seu principal objetivo definir a prioridade na tomada de ação para a solução de um problema que está ocorrendo ou pode iniciar a ocorrer. (BRANDAO, 2019). A técnica GUT foi desenvolvida com objetivo de auxiliar em momentos de difícil decisão, em que envolviam muitas questões e variáveis. Neste caso, será separado e analisado cada problema com sua causa própria. Na sequência, o objetivo é saber a prioridade na resolução dos problemas detectados. Para isso, são elaborados parâmetros (notas), de um a cinco, para cada item da matriz, para ser possível estabelecer prioridades na eliminação dos problemas analisados. (GRIMALDI, 1994 *apud* AGUIAR, 2004).

A Matriz GUT consiste em separar e priorizar os problemas para fins de análise e posterior solução de maneira sequenciada. (DAYCHOUM, 2012). Onde

- G = Gravidade, a qual consiste em avaliar as consequências negativas que o problema pode trazer aos clientes; A Gravidade deve ser analisada pela intensidade ou impacto que um determinado problema pode causar caso não seja solucionado. Essas perdas podem ser avaliadas quantitativa ou qualitativamente;
- U = Urgência, consiste em avaliar o tempo necessário ou disponível para corrigir o problema.
- T = Tendência, avalia o comportamento evolutivo da situação atua. Tendência é avaliada pelo padrão ou disposição da evolução da situação. Nesse caso, considera-se o desenvolvimento que poderá ocorrer na ausência de uma ação efetiva para solucionar o problema.

O quadro 7 mostra os critérios de cada letra da matriz GUT.

G	Gravidade	Impacto do problema sobre as coisas, pessoas, resultados, processos ou organizações e efeitos que surgirão em longo prazo, caso o problema não seja resolvido.
U	Urgência	Relação com o tempo disponível ou necessário para resolver o problema.
T	Tendencia	Potencial de crescimento do problema, avaliação da tendência de crescimento, redução ou desaparecimento do problema.

Quadro 7– Conceito dos critérios avaliativos da Matriz GUT
Fonte: Adaptado de DAYCHOUM (2012)

Para realizar a etapa de priorização, usa-se uma nota para cada variável. Para Gravidade, os critérios apontam que cinco corresponde ao índice extremamente grave, e um aquele que não possui gravidade. Em relação à Urgência da tomada decisão para resolução de um determinado problema, o valor cinco refere-se à situação que não pode aguardar, e um a que não se tem pressa e que pode esperar. Já a Tendência aponta o potencial para o crescimento do problema, significando que a pontuação cinco é para uma piora rápida e um quando a situação não irá mudar, caso não seja aplicada uma solução imediata (MARTINS *et al*, 2017). Ao final multiplica-se o valor de gravidade, urgência e tendência, para cada problema levantado. Com isso, as ações de gerenciamento serão listadas de acordo com os máximos valores. (MARTINS *et al*, 2017). O quadro 8 demonstra os critérios para pontuação da matriz GUT.

Pontuação	Gravidade	Urgência	Tendência
5	Extremamente Grave	Imediata	Piorar rapidamente
4	Muito Grave	Com alguma urgência	Piorar em pouco tempo
3	Grave	O mais cedo possível	Piorar a médio prazo
2	Pouco Grave	Pode esperar um pouco	Piorar a longo prazo
1	Sem gravidade	Não tem pressa	Não vai piorar

Quadro 8 – Critérios utilizados para pontuação.
Fonte: DAYCHOUM (2012)

2.2.4 Ferramenta 5W2H

A ferramenta 5W2H pode ser descrita como uma ferramenta que consiste em um plano de ação de tarefas que devem ser elaboradas com o maior entendimento possível e efetua um mapeamento destas tarefas. Além disso, seu principal propósito é a obtenção das respostas das sete questões que ela define e organização delas. (POLACINSKI *et al.*, 2012).

AVILA (2016) descreve: “Os 5W correspondem às seguintes palavras do inglês: *What* (o que); *Who* (quem); *Where* (onde); *When* (quando) e *Why* (por que). Os 2H são: *How* (como) e *How Much* (quanto custa).” (AVILA, 2016, p. 6).

O Quadro 9 indica as perguntas e o que se almeja de cada uma destas perguntas.

5W	<i>What?</i>	<i>O que?</i>	Que ação será executada?
	<i>Who?</i>	<i>Quem?</i>	Quem irá executar/participar da ação?
	<i>Where?</i>	<i>Onde?</i>	Onde será executada a ação?
	<i>When?</i>	<i>Quando?</i>	Quando a ação será executada?
	<i>Why?</i>	<i>Por quê?</i>	Por que a ação será executada?
2H	<i>How?</i>	<i>Como?</i>	Como será executada a ação?
	<i>How much?</i>	<i>Quanto custa?</i>	Quanto custa para executar a ação?

Quadro 9 - Método da ferramenta 5W2H

Fonte: AVILA (2016)

2.3 QUALIDADE NA MANUTENÇÃO

A Gestão da Qualidade Total busca a melhoria contínua de todos os processos, mirando zero defeito. Em linhas gerais, a Gestão pela Qualidade Total busca obter satisfação dos clientes e ganhar competitividade empresarial reduzindo custos e melhorando seus métodos. (KARDEC & NASCIF, 2009 *apud* BENTO, 2012).

A manutenção tem um papel importante na gestão da qualidade, uma vez que busca prever e acompanhar os processos da produção e que todos ocorram como foi definido. Sua finalidade é de fazer interrupções programadas, quando necessário, para não afetar o atingimento das metas e que ocorra todas as etapas como planejado. Desta forma, para falar de Gestão da Qualidade, é muito importante também falar sobre Gestão da Manutenção e buscar uma plena conexão entre ambas. (KARDEC & NASCIF, 2009 *apud* BENTO, 2012).

2.3.1 Gestão da manutenção

Pode-se definir manutenção como todo tipo de método que tem como objetivo conter ou restaurar um sistema ou unidade a uma condição que seja cumprida uma tarefa escolhida. O ponto central da manutenção é equilibrar a capacidade e funcionalidade de um sistema em relação a um baixo custo de manutenção. Já as falhas podem ser caracterizadas como qualquer tipo de alteração ou anomalia que gera um desempenho que seja menor do que o esperado. Mesmo que poucas falhas sejam graves e causem problemas na produtividade ou riscos à segurança e saúde, em geral, elas podem causar danos monetários e uma possível perda de qualidade para o processo.

Os planos de manutenção por sua vez são projetados para reduzir ou eliminar o número destas falhas e com isso, reduzir os custos relacionados a esses problemas. (LEE & KAM, 2017).

2.4 TIPOS DE MANUTENÇÃO

No começo do século XX, o equipamento industrial era bastante simples e em muitos casos ignorado quando existia algum dano, por entender-se que seu mau funcionamento era um efeito da baixa qualidade das máquinas, além de não ser considerado crítico para as operações. O maquinário industrial era executado até a total falha e a manutenção era realizada apenas após o reconhecimento do que levou a falha. A filosofia da manutenção corretiva é “consertar quando quebrar” (ALSYOUF, 2006).

Além disso, como a origem da falha não era investigada mais profundamente, o número de falhas era sempre muito elevado. Esse tipo de abordagem era conhecido como manutenção corretiva (CM).

Vale ressaltar que operar equipamentos com esse tipo de manutenção é considerado uma conduta pouco eficaz para o ambiente empresarial, uma vez que as empresas são forçadas a reagir a situação e não a prever e planejar as situações adversas com antecedência. No entanto, esse tipo de manutenção não é uma estratégia totalmente errada, pois existem alguns poucos casos em que a manutenção corretiva é viável, como baixa criticidade do equipamento ou nenhuma criação de valor ao sistema principal. Em outras palavras, a manutenção corretiva pode ser aceita se a falha do equipamento em questão não afetar as operações normais e se uma perda repentina de funcionalidade do equipamento afetar os objetivos gerais da organização (JIMENEZ,2020).

Já no começo da segunda metade do século XX, a forma como a manutenção foi avaliada dentro das fábricas e seus processos, passou por um grande desenvolvimento. Uma vez que, com o fim da segunda guerra mundial, a economia ocidental voltou a se recuperar e com o aumento da demanda por produtos pelo ocidente, houve um encorajamento ao desenvolvimento de sistemas de produção mais eficazes (ALSYOUF, 2006).

À medida que o desenvolvimento industrial crescia, as máquinas de fabricação sofreram muitas alterações se tornando cada vez mais complexas, juntamente com a ênfase nos custos de produção, o que tornou o papel da manutenção cada vez mais essencial. Desta forma, a abordagem reativa mudou para um pensamento de manutenção preventiva (PvM) (ALSYOUF, 2006).

A filosofia da PvM é “consertá-los antes que ele falhe”. A partir deste momento, ao invés de substituir os componentes apenas após a sua falha, as peças críticas ao maquinário foram sendo trocadas em intervalos que foram pré-determinados como por exemplo, um número de horas de operação. Com o desenvolvimento global, as economias de escala cresceram causando assim uma competição entre as instancias de manufatura. Isso acabou resultando em um aumento do custo de capital das produções, gerando um aumento nos custos de substituição de equipamentos. (JIMENEZ, 2020).

Para aumentar a utilização do maquinário e reduzir a substituição desnecessária de seus elementos, na década de 70, a indústria de defesa americana criou a Manutenção baseada em condições (CBM). (PRAJAPATI *et al*, 2012).

Ao contrário da abordagem preventiva caracterizada por intervalos de tempo programados, o CBM foi iniciado de acordo com o status do componente, relatando os atributos físicos de uma máquina como vibração ou som, ou feita com sensores e softwares que podem monitorar de forma continua a condição do equipamento. Assim, quando os parâmetros críticos ultrapassam as faixas predeterminadas, as atividades de manutenção são realizadas. (JIMENEZ, 2020) (OKOH & HAUGEN, 2013).

Vale ressaltar que a CBM fornece apenas informações do estado funcional do equipamento, apoiando na avaliação antecipada de uma possível tarefa de manutenção. Contudo, esse procedimento não auxilia no aperfeiçoamento da funcionalidade da máquina e nem reduz a sua falha. (JIMENEZ, 2020).

Posteriormente à introdução do CBM, foi criado um modo de manutenção onde o processo de manutenção passou a ser determinado de acordo com uma análise dos dados históricos do processo e sendo previstas com base nas tendencias dos dados. A esse novo modo foi dado o nome de manutenção Preditiva (PdM). (JIMENEZ, 2020).

Pode-se fazer um paralelo entre o CBM e o PdM, onde o CBM olha para pontos de medição e o PdM visa analisar a tendencia histórica, o que lhe permite um controle e conhecimento maior do estado do equipamento. Além disso, um dos benefícios mais atrativos do PdM é a redução dos custos operacionais por meio da otimização das atividades de manutenção. (MOBLEY, 2002).

Com essa análise, pode-se entender que a manutenção é dividida em duas categorias principais PvM e CM. A manutenção preventiva é subdividida em CBM,

manutenção Preditiva (PdM) e Manutenção Pré-Determinada (PM). (Alsyouf,2006; (JIMENEZ, 2020).

E por último a Manutenção Pré-Determinada. A manutenção pré-determinada é um tipo de atividade de manutenção preventiva como indicada na seção 2.2.2. Ela é executada com base em intervalos de tempo estabelecidos de acordo com observações históricas em equipamentos semelhantes e com a vida útil previamente atribuída aos componentes. Com a prática deste procedimento é necessário ter informações históricas documentas de equipamentos semelhantes ou iguais, o desempenho que o equipamento tem não é considerado. (MOBLEY, 2002).

O estado do item em funcionamento normal ou em estado de falha não vai ser considerado na abordagem da manutenção pré-determinada. Além disso, é importante que o equipamento tenha padrões de falha semelhante aos seus iguais para que haja uma boa utilização do procedimento de manutenção. Um problema nesse tipo de manutenção é no caso de equipamentos modernos e com alta complexidade que dificultou a sequenciação dos padrões de quebra. (JIMENEZ, 2020).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 DAMPER

Antes da aplicação dos métodos que foram explicados no capítulo 2, é importante a informação de qual objeto de análise será avaliado. Indicando do que o *damper* é feito, de onde vem e qual a sua utilização. O material de análise são os amortecedores (dampers) da aeronave modelo AW 139 da empresa *Leonardo Company* conforme ilustrado na figura 4.



Figura 4 - Modelo AW 139
Fonte: Leonardo Helicopters (2018)

A aeronave AW 139 é um modelo italiano de médio porte com motor duplo turbo-eixo. Possui tanque suplementar já instalado de fábrica. Com isso consegue chegar em plataformas offshore mais distantes como por exemplo nas plataformas de que retiram o pré-sal. O AW139 está homologado para 6,8 toneladas e tem uma das maiores potenciais entre os helicópteros de médio porte do mundo. Pode levar de 12 a 15 passageiros, alcança uma velocidade máxima de 310 km/h e possui uma autonomia de até 4 horas e 13 minutos, de acordo com o site da OMNI, 2021.

A aeronave AW 139, tem como função principal transporte de passageiros, transporte de materiais e serviço de emergência médica (EMS) podendo assim, servir como ambulância aérea. (AGUSTAWESTLAND, 2009)

As principais zonas do helicóptero são nomeadas de acordo com a figura 5. Uma destas zonas, chama-se Rotor Principal (*Main Rotor*). O rotor principal é a parte giratória do helicóptero que proporciona sua elevação. Sua função é converter potência que o eixo de transmissão rotativo gera, em elevação aerodinâmica e

controle, iniciando assim, a sustentação do voo. Vale ressaltar que a velocidade da aeronave está relacionada com uma função de posicionamento do prato oscilante (*swashplate*), que é o componente do sistema de controle do helicóptero que controla os ângulos das pás da hélice. (SIKORSKY, 2008). A figura 5 demonstra as zonas no helicóptero.

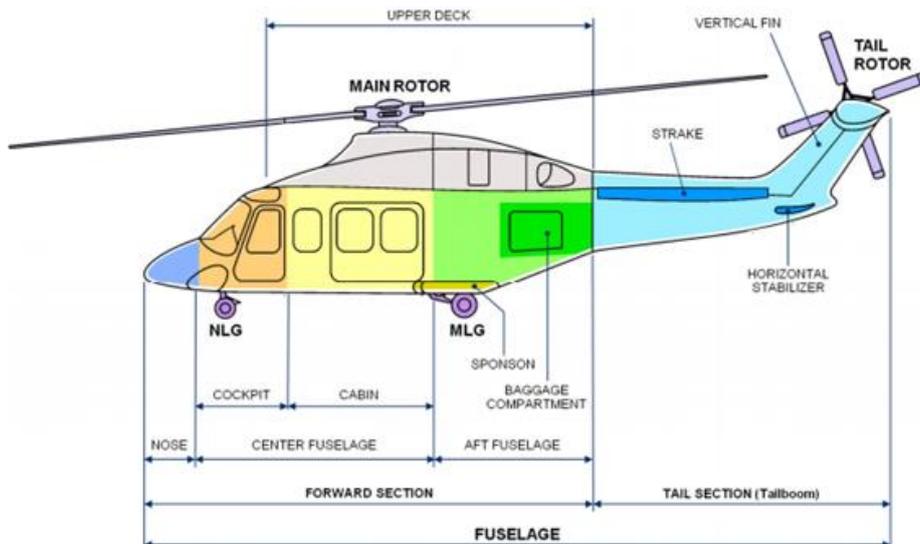


Figura 5 – Zonas do AW 139
Fonte: AGUSTAWESTLAND (2009)

Os sistemas que fazem parte do Rotor Principal estão demonstrados na Figura 6.

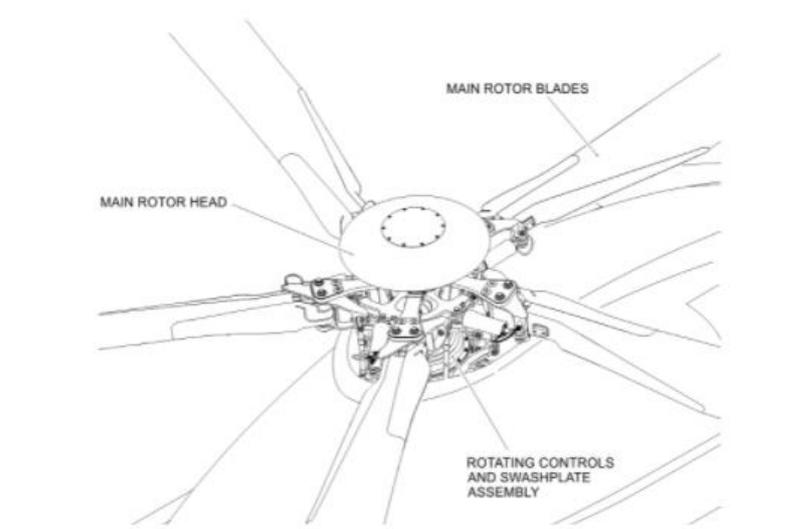


Figura 6 – Cabeça do Rotor Principal
Fonte: AGUSTAWESTLAND (2009)

Dentre estes sistemas, a cabeça do rotor principal (*Main Rotor Head*) será o objeto de análise uma vez que, o *dampers* se encontra nesse sistema. A cabeça do rotor principal é acoplada e aparafusada ao eixo do rotor principal, por um eixo de transmissão estriado que irá acionar o sistema, na caixa de engrenagens principal (*Main Gear Box*). Este sistema serve como ponto de fixação para as quatro pás do rotor principal, a cabeça do rotor principal é totalmente articulada de forma que as lâminas podem bater (mover-se verticalmente) e caçar (mover-se horizontalmente) durante as mudanças de inclinação. (SIKORSKY, 2017).

Os principais componentes da cabeça do rotor principal são: O bloco (*hub*), os elos de tensão (*tension links*), os rolamentos elastoméricos (*elastomeric bearings*), os amortecedores (*dampers*) e as alavancas de controle (*pitch control lever*). Na cabeça de rotor principal existem 5 *dampers* que são conectados ao bloco (*hub*) e as alavancas de controle de inclinação (*pitch control lever*). (AGUSTAWESTLAND, 2009). A cabeça do rotor principal é demonstrada na figura 7.

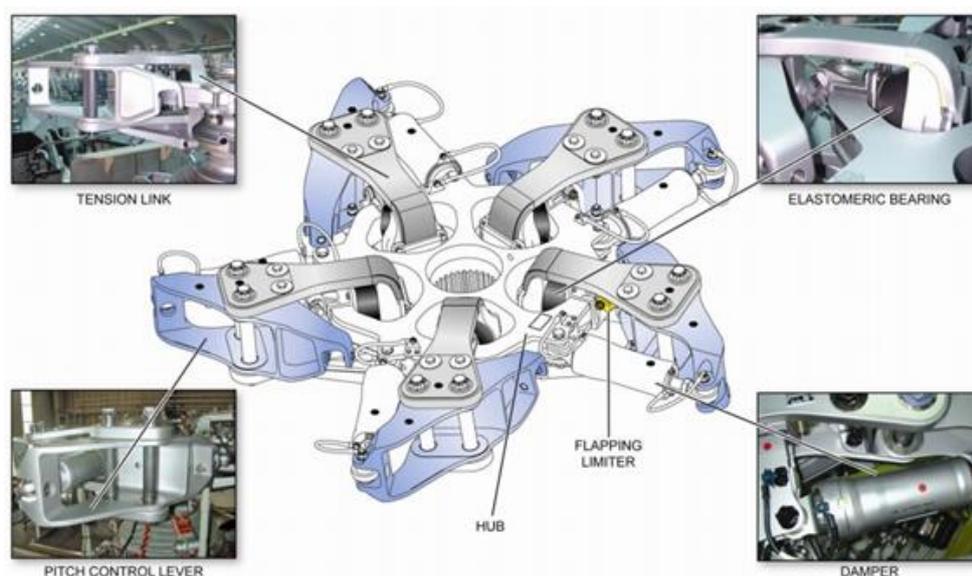


Figura 7 - Cabeça do Rotor Principal
Fonte: AGUSTAWESTLAND (2009)

Cada um destes *dampers* são compostos de liga de alumínio que possuem um cilindro de aço e um pistão. Esse pistão move-se no cilindro entre duas câmaras cheias de fluido hidráulico e possui um orifício de desvio a qual o fluido hidráulico pode fluir entre eles. O *dampers* tem um tempo de vida estimado em torno de 2400 horas voadas (*flight hours*). (LH, 2021).

A haste do pistão de aço possui uma extremidade de titânio com um rolamento esférico autolubrificante que une o *damper* com a alavanca de controle. Esta conexão é feita por uma arruela de teflon. Além disso, o *damper* possui um reservatório de fluido hidráulico e um indicador visual de nível. O indicador apontará o quão baixo está o nível do fluido no reservatório. (LH, 2021). A figura 8 mostra o *damper* em detalhes.

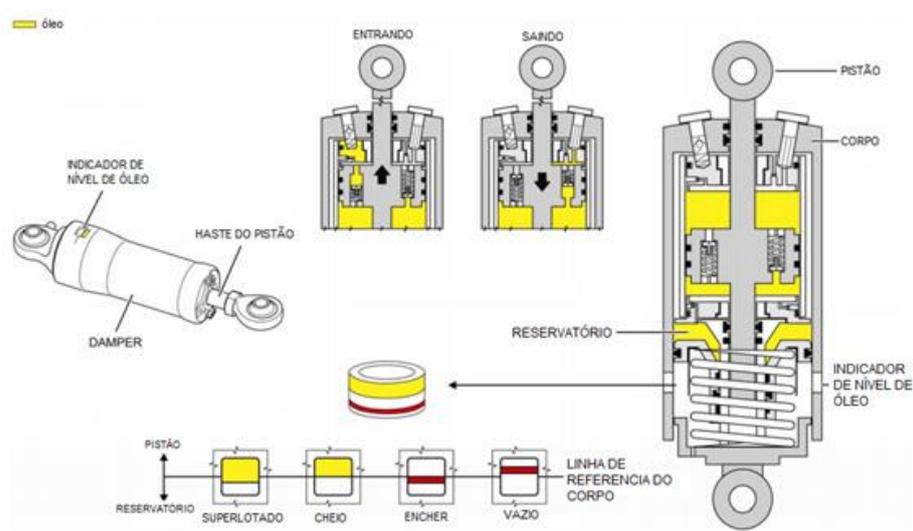


Figura 8 – Damper

Fonte: Adaptado de AGUSTAWESTLAND (2009)

A função destes *dampers* é o controle do movimento da pá do rotor principal referente ao plano que a pá gira. Além disso, o *damper* estabelece um limite para o curso da pá. O amortecedor aplica uma carga de reação quando a haste do pistão é empurrada. Esta reação tem relação com a velocidade com que a haste do pistão se move. Isso ocorre, uma vez que a haste está ligada à alavanca de controle de passo da pá. (LH, 2021).

Com a haste do pistão em baixa velocidade, condição usual, a característica de amortecimento vai ser relacionada à calibração do orifício no pistão. Já em alta velocidade, as duas válvulas de alívio são responsáveis pelo controle da força de amortecimento. (LH, 2021).

Além disso, existe um sistema de amortecimento de fim de curso no amortecedor de atraso que visa diminuir a velocidade do pistão nos últimos milímetros de seu percurso nas duas direções. Com isto, devido ao amortecimento de fim de curso a força no pistão é menor quando atinge a superfície final. Além disto, o reservatório hidráulico possui uma mola que se ajusta para a dilatação térmica do fluido hidráulico e para possíveis vazamentos externos. (LH, 2021).

Após abordar profundamente o *dampner*, que foi a peça de estudo, será levado em consideração as falhas que ocorreram no período de um ano na aeronave AW 139, de uma empresa de táxi aéreo situada em território brasileiro.

3.2 APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE QUALIDADE.

A partir dos dados levantados, foram aplicadas as ferramentas abordadas no capítulo 2. Estas ferramentas foram sequenciadas em um padrão específico para que a análise das falhas fosse feita de uma forma mais completa e simples possível. Iniciou-se com o diagrama de Ishikawa uma vez que o diagrama aborda um quadro mais geral. O diagrama categorizou as causas das falhas agrupando as raízes das causas, que são comuns, entre si. Houve uma categorização de acordo com os 6 M de Ishikawa. O FMEA indicou quais eram as ocorrências, as gravidades e como foi feita a detecção destas falhas apresentando os problemas de uma forma bem mais detalhada, além disso, uma análise mais quantitativa, uma vez que foram atribuídas uma nota final para as falhas. A matriz GUT possibilitou o conhecimento de quais falhas deveriam ser priorizadas e a ferramenta 5W2H criou os planos de ação para serem aplicados nas falhas, a fim de resolver esses problemas. Fechando assim, um diagnóstico completo da gestão da qualidade e manutenção. Os dados obtidos das aplicações das ferramentas serviram de guia para a elaboração da análise de resultados e discussão.

Para o início do estudo foi apresentado no quadro 10 as causas e o número de ocorrências das 60 falhas ocorridas no período do dia 15/09/2020 até 15/09/2021. Sendo todas documentadas em um banco de dados de uma empresa de Taxi Aéreo.

Falhas ocorridas	Recorrência
<i>Damper</i> com folga excessiva na extremidade da haste e na extremidade do corpo.	1
<i>Damper</i> com revestimento cerâmico do rolamento danificado.	23
Desgaste na haste do pistão de aço do <i>Damper</i> .	8
Danos na cobertura da camada de proteção da extremidade da haste do <i>Damper</i>	6
Parafuso do <i>damper</i> com desgaste	5
Vazamento pelo pistão do <i>Damper</i>	8
Travamento do <i>damper</i> por causa de aquecimento excessivo	3
Vazamento do fluido causado por uma trinca	6
Total Geral	60

Quadro 10 - Relação falhas ocorridas e suas recorrências.
Fonte: adaptado de uma Empresa de taxi aéreo

4.0 ANÁLISE DE RESULTADOS

A partir dos dados levantados, foram aplicadas as ferramentas abordadas no capítulo 2, as ferramentas adotadas, auxiliam na gestão da qualidade e gestão da manutenção, possibilitando a partir da junção destas ferramentas, uma análise completa das falhas e possíveis soluções.

4.1 APLICAÇÃO E RESULTADOS DE ISHIKAWA

As informações do quadro 10, serviram como guia para a aplicação das ferramentas que foram levantadas no capítulo dois, começando pelo Diagrama de Ishikawa. Para a elaboração foi considerado os 6M do diagrama: Método, Máquina, a, Mão de Obra, Medida e Meio Ambiente A figura 9 foi elaborada com finalidade de categorizar as falhas de acordo com os 6M de Ishikawa.

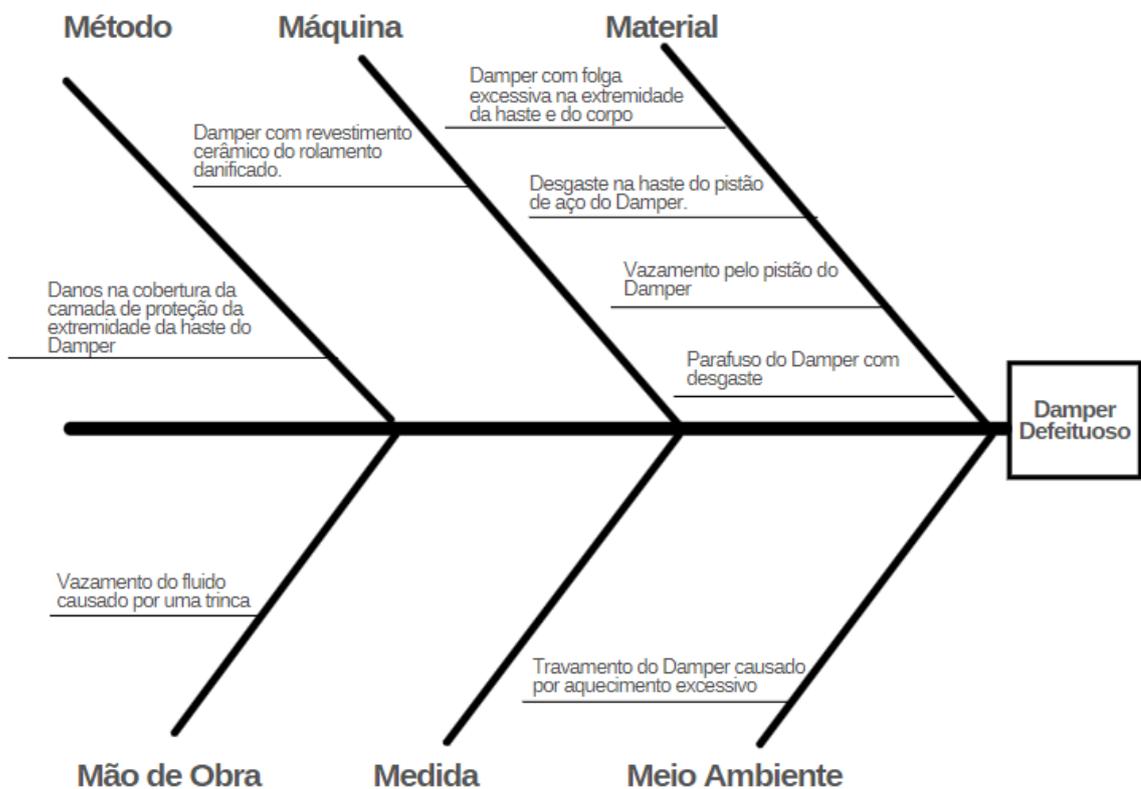


Figura 9 - Diagrama de Ishikawa aplicado
Fonte: Autoria própria, (2021)

Essas análises foram feitas em pesquisa via funcionários de manutenção, uma vez que os documentos oficiais não puderam ser disponibilizados, onde tem-se:

- Método: “Danos na cobertura da camada de proteção da extremidade da haste do Damper” - Esta falha foi categorizada desta forma, pois entende-se que em seu processo de manutenção não houve uma supervisão adequada do transporte do item da base até a aeronave, o que resultou em danos na cobertura.
- Máquina: “Damper com revestimento cerâmico do rolamento danificado” - Esta falha foi categorizada desta forma, pois entende-se que o dano possa ter sido causado por excessivo uso em um curto intervalo de tempo aumentando assim a possibilidade de algum tipo de dano.
- Material: “Desgaste na haste do pistão de aço do Damper”, “Vazamento pelo pistão do Damper”, “Parafuso do damper com desgaste” e “Damper com folga excessiva na extremidade da haste e do corpo.” - Estas falhas foram categorizadas desta forma, pois entende-se que essas falhas podem ter sido causadas por um problema de fabricação destes elementos, uma vez que a fabricante indica o tempo, através de cálculo de vida útil, que esses itens são utilizados.
- Mão de Obra: “Vazamento do fluido causado por uma trinca” - Esta falha foi categorizada desta forma, pois entende-se que esse dano pode ter sido causado por um mau manuseio do mecânico, como por exemplo, colisão do *damper* em algo na hora da instalação/manutenção, que acabou gerando uma região de concentração de tensões, que com a utilização do *damper*, gerou uma trinca.
- Meio Ambiente: “Travamento do *damper* por causa de aquecimento excessivo” - Esta falha foi categorizada desta forma, pois entende-se que a aeronave pode ter sido estocada em local impróprio, como por exemplo, fora do hangar, o que pode ter gerado uma condição de temperatura e umidade não adequada ao óleo lubrificante, que gera uma alteração em suas propriedades causando assim uma má lubrificação e um aumento de temperatura inesperada.

A partir dessas informações, pôde-se então, identificar as possíveis causas das falhas. sendo elas: uma supervisão adequada do transporte do item, excessivo uso em curto intervalo de tempo, problema de fabricação, um mau manuseio do mecânico e “hangarada” (estacionada) em local impróprio.

A categoria Material foi a que mais teve indicações de ocorrência de falhas, indicando que esse grupo deve possuir um acompanhamento mais de perto do processo de manutenção como indicado na figura 10.

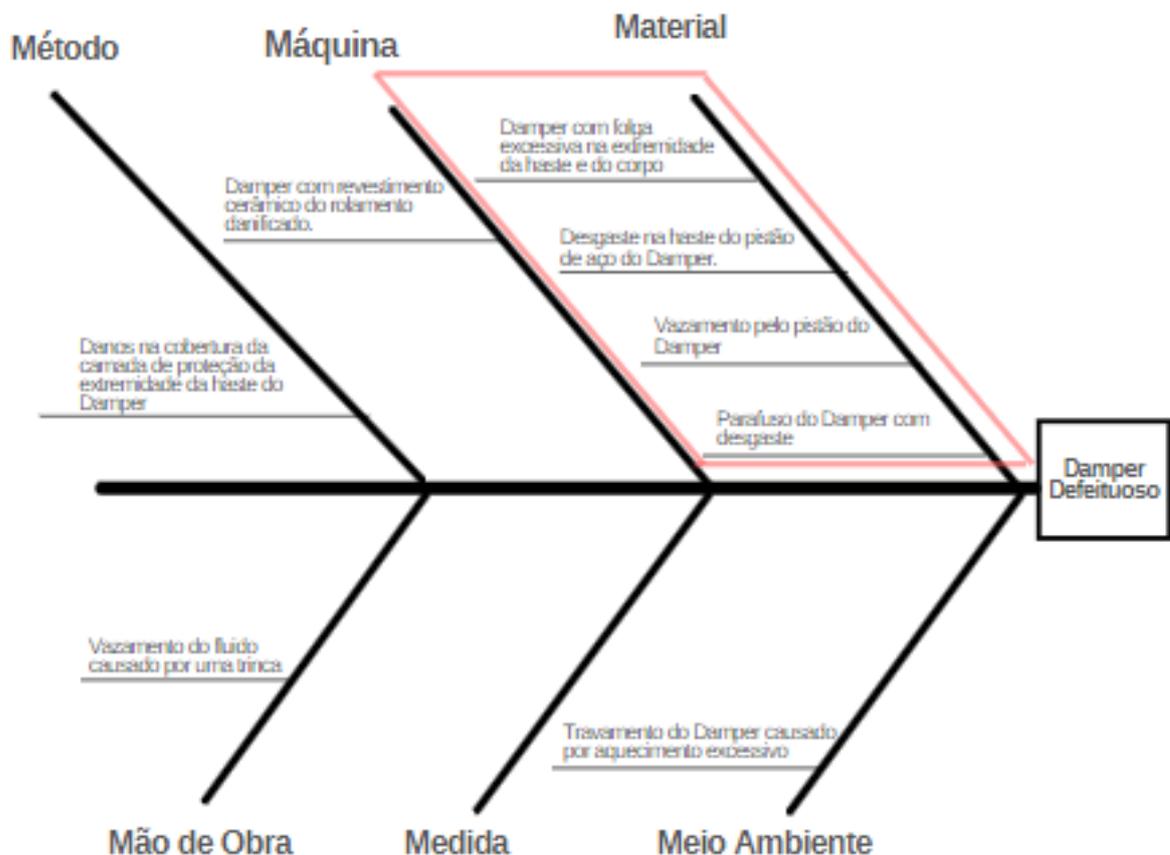


Figura 10 - Diagrama de Ishikawa aplicado
Fonte: Autoria própria, (2021)

4.2 APLICAÇÃO E RESULTADOS: FMEA

A elaboração do FMEA, foi de acordo com as falhas apresentadas, e foi dado uma nota para cada índice do FMEA (gravidade, ocorrência e detecção) de acordo com os critérios de avaliação, como indicado no Quadro 11.

Falha	Ocorrência (O)		Gravidade (G)		Detecção (D)	
	Índice	Natureza do acidente	Índice	Potencial consequência de falha	Índice	Métodos de Detecção
1	7	<i>Damper</i> com folga excessiva na extremidade da haste e na extremidade do corpo.	1	Sem impacto real	2	Inspeção tátil
2	10	<i>Damper</i> com revestimento cerâmico do rolamento danificado.	1	Sem impacto real	3	Inspeção tátil
3	10	Desgaste na haste do pistão de aço do <i>damper</i> .	3	Trauma exigindo primeiros socorros	1	Inspeção Visual
4	10	Danos na cobertura da camada de proteção da extremidade da haste do <i>damper</i>	1	Sem impacto real	1	Inspeção Visual
5	9	Parafuso do <i>damper</i> com desgaste	3	Trauma exigindo primeiros socorros	1	Inspeção Visual
6	10	Vazamento pelo pistão do <i>damper</i>	5	Incapacidade temporária com pequeno afastamento	8	Inspeção Instrumental
7	8	Travamento do <i>damper</i> por causa de aquecimento excessivo	10	Morte de quem não está envolvido no processo	8	Inspeção Instrumental
8	10	Vazamento do fluido causado por uma trinca	3	Incapacidade temporária com pequeno afastamento	8	Inspeção Instrumental

Quadro 10 – Aplicação do FMEA nas falhas do *damper*.
Fonte: Autoria própria, (2021)

Essas análises foram feitas em pesquisa via funcionários de manutenção, uma vez que os documentos oficiais não puderam ser disponibilizados, onde tem-se:

Para a falha 1, “*Damper* com folga excessiva na extremidade da haste e na extremidade do corpo.”, foi aplicado o índice 7 em ocorrência pois, de acordo com o quadro 3, a porcentagem fica em 2% caracterizando assim um índice alto. Foi aplicado

o índice 1 em gravidade uma vez que tendo uma folga excessiva, não geraria nenhum dano crítico instantâneo a aeronave e sim uma perda de rendimento o que possibilitaria o piloto a fazer um pouso sem muitos problemas. Foi aplicado o índice 2 em detecção pois como é uma folga excessiva a inspeção tátil é capaz de identificar.

Para a falha 2, “*Damper* com revestimento cerâmico do rolamento danificado”, foi aplicado o índice 10 em ocorrência pois, de acordo com o quadro 3, a porcentagem fica em 38% caracterizando assim um índice muito alto. Foi aplicado o índice 1 em gravidade uma vez que o revestimento cerâmico do rolamento serve para evitar a corrosão elétrica do rolamento. Como a corrosão é algo gradativo, desta forma não haveria nenhum dano crítico instantâneo e sim uma perda de rendimento o que possibilitaria o piloto a fazer um pouso sem muitos problemas. Foi aplicado o índice 3 em detecção pois é uma falha um pouco mais difícil de se detectar do que a folga excessiva do *damper*, mas ainda assim, a inspeção tátil é capaz de identificar.

Para a falha 3, “Desgaste na haste do pistão de aço do *damper*”, foi aplicado o índice 10 em ocorrência pois, de acordo com o quadro 3, a porcentagem fica em 13% caracterizando assim um índice muito alto. Foi aplicado o índice 3 em gravidade uma vez que o desgaste na haste do pistão poderia gerar um movimento involuntário do helicóptero, causando algum tipo de ferimento leve nos tripulantes, uma vez que o desgaste da haste geralmente é causado por contaminação de óleo e os resíduos que são introduzidos no fluido hidráulico podem desgastar o interior do cilindro além de corroer vedações e conexões críticas. Foi aplicado o índice 1 em detecção pois como é um desgaste, ele pode ser detectado por uma inspeção visual.

Para a falha 4, “Danos na cobertura da camada de proteção da extremidade da haste do *damper*”, foi aplicado o índice 10 em ocorrência pois, de acordo com o quadro 3, a porcentagem fica em 10% caracterizando assim um índice muito alto. Foi aplicado o índice 1 em gravidade uma vez que os danos na cobertura da camada de proteção da haste, não haveria nenhum dano crítico instantâneo. Foi aplicado o índice 1 em detecção pois como é um dano na camada superficial, ele pode ser detectado por uma inspeção visual.

Para a falha 5, “Parafuso do *damper* com desgaste”, foi aplicado o índice 9 em ocorrência pois, de acordo com o quadro 3, a porcentagem fica em 8% caracterizando assim um índice alto. Foi aplicado o índice 3 em gravidade visto que o parafuso do *damper* com desgaste poderia gerar um movimento involuntário do

helicóptero, causando algum tipo de ferimento leve nos tripulantes, uma vez que o parafuso desgastado poderia não mais firmar e gerar algum tipo de vazamento do fluido e conseqüentemente o mau funcionamento do *dampers*. Foi aplicado o índice 1 em detecção pois como é um desgaste, ele pode ser detectado por uma inspeção visual.

Para a falha 6, “Vazamento pelo pistão do *dampers*”, foi aplicado o índice 10 em ocorrência pois, de acordo com o quadro 3, a porcentagem fica em 13% caracterizando assim um índice muito alto. Foi aplicado o índice 5 em gravidade uma vez que esse vazamento poderia gerar um mau funcionamento do *dampers* obrigando assim o piloto a fazer um pouso forçado o que poderia gerar algum acidente. Foi aplicado o índice 5 em detecção, pois o vazamento pode ser pequeno e como ele se encontra dentro do pistão, necessitaria de um instrumento de verificação para a inspeção dele.

Para a falha 7, “Travamento do *dampers* por causa de aquecimento excessivo”, foi aplicado o índice 8 em ocorrência pois, de acordo com o quadro 3, a porcentagem ficava em 5% caracterizando assim um índice alto. Foi aplicado o índice 10 em gravidade uma vez travamento do *dampers* geraria um dano crítico a estabilidade das pás e controle do piloto em um curto intervalo de tempo, que faria com que o piloto não tivesse tempo hábil de pousar em segurança. Foi aplicado o índice 8 em detecção pois esse tipo de aquecimento pode ser indicado através de softwares que indiquem a temperatura da região do *dampers* prevenindo assim uma fatalidade.

Para a falha 8, “Vazamento do fluido causado por uma trinca”, foi aplicado o índice 10 em ocorrência pois, de acordo com o quadro 3, a porcentagem ficava em 10% caracterizando assim um índice muito alto. Foi aplicado o índice 5 em gravidade uma vez que esse vazamento poderia gerar um mau funcionamento do *dampers* obrigando assim o piloto a fazer um pouso forçado o que poderia gerar algum acidente. Foi aplicado o índice 5, em detecção pois o vazamento pode ocorrer em uma região bem pequena o que necessitaria de um ensaio não destrutivo para sua verificação.

A metodologia FMEA foi utilizada para analisar as causas que foram indicadas no método de Ishikawa através dos fatores de gravidade, ocorrência e detecção, indicando assim os problemas de uma forma melhor detalhada como indicado na seção 4.2. Sabendo que quanto maior o *RPN* mais perigosa a falha é, o gráfico 1

indica quais falhas necessitam de maior atenção, uma vez que possuem os maiores valores de *RPN*.

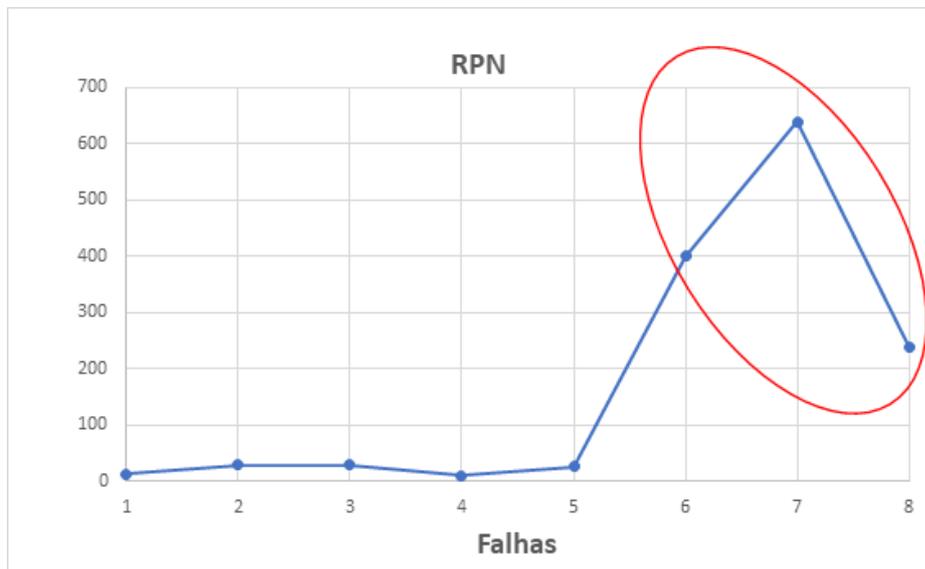


Gráfico 1: Relação entre RPN e Falhas com indicação dos maiores pontos
Fonte: Autoria própria, (2021)

Desta forma, é possível ver no gráfico 2, que as falhas 6, 7 e 8 que são referentes ao “vazamento pelo pistão do damper”, “travamento do damper por causa de aquecimento excessivo” e “vazamento do fluido causado por uma trinca” tiveram os maiores valores de RPN e com isso devem ter uma atenção prioritária na resolução desses problemas.

4.3 APLICAÇÃO E RESULTADOS: GUT

A ferramenta GUT, tem o objetivo de apontar a priorização das falhas e consequentemente das soluções a serem tomadas. Para isso, priorizou-se trazer os dados obtidos das ferramentas da seção 4.2 e 4.3

A aplicação da Matriz GUT, é feita baseada em três aspectos já abordados: Gravidade, Urgência e Tendência. Para cada fator será dado uma nota de 1 a 5 e no final será atribuído uma nota de prioridade.

A falha relacionada que tiver a maior nota deverá ser dedicada uma maior atenção assim como fica demonstrado no quadro 12.

Falha	Gravidade	Urgência	Tendência	Nota Final
<i>Damper</i> com folga excessiva na extremidade da haste e no corpo.	2	3	3	18
<i>Damper</i> com revestimento cerâmico do rolamento danificado.	1	3	3	9
Desgaste na haste do pistão de aço do <i>damper</i> .	3	4	4	48
Danos na cobertura da camada de proteção da extremidade da haste do <i>damper</i>	1	3	3	9
Parafuso do <i>damper</i> com desgaste	3	4	3	36
Vazamento pelo pistão do <i>damper</i>	4	5	5	100
Travamento do <i>damper</i> por causa de aquecimento excessivo	5	5	5	125
Vazamento do fluido causado por uma trinca	4	5	4	80

Quadro 11 – Aplicação do GUT nas falhas do damper.
Fonte: Autoria própria, (2021)

Como foi possível ver no gráfico 12 as falhas referentes ao “vazamento pelo pistão do damper”, “travamento do damper por causa de aquecimento excessivo” e “vazamento do fluido causado por uma trinca” tiveram os maiores valores, e com isso devem ter uma atenção prioritária na resolução desses problemas.

Desta forma, o quadro 13 cria sugestões de soluções e indica a ordem de priorização a serem seguidas, a fim de reduzir o número de falhas e consequentemente os acidentes aéreos, que a empresa deverá priorizar na hora da aplicação do 5W2H.

Falha ocorrida	Possível solução	Ordem de priorização
Travamento do <i>damper</i> por causa de aquecimento excessivo	Softwares de manutenção mais modernos	1
Vazamento pelo pistão do <i>Damper</i>	Maior fiscalização no momento da compra afim de ter certeza da qualidade da peça	2
Vazamento do fluido causado por uma trinca	Profissionais mais capacitados ou mais bem treinados.	3
Desgaste na haste do pistão de aço do <i>Damper</i> .	Maior fiscalização no momento da compra afim de ter certeza da qualidade da peça	4
Parafuso do <i>damper</i> com desgaste	Maior fiscalização no momento da compra afim de ter certeza da qualidade da peça	5
<i>Damper</i> com folga excessiva na extremidade da haste e na extremidade do corpo.	Maior fiscalização no momento da compra afim de ter certeza do dimensionamento correto da peça.	6
<i>Damper</i> com revestimento cerâmico do rolamento danificado.	Um melhor controle do número de voos seguidos da aeronave	7

Danos na cobertura da camada de proteção da extremidade da haste do <i>Damper</i>	Supervisão da logística de transporte mais eficiente	8
---	--	---

Quadro 13 – Sugestão de soluções a serem tomadas

Fonte: Autoria própria, (2021)

4.4 ANÁLISE E RESULTADOS: 5W2H

Por fim, a ferramenta 5W2H foi aplicada de forma a aproximar a solução das falhas de um projeto que seja possivelmente executável. A aplicação da ferramenta 5W2H foi feita para as três primeiras ordens de priorização indicadas pela matriz GUT a fim de criar um plano de ação para essas falhas.

Para a falha “Travamento do *damper* por causa de aquecimento excessivo”, a ferramenta 5W2H fica como demonstrado no quadro 14.

5W	What? / O que?	Que ação será executada?	Melhor estratégia logística e uma maior inspeção dos inspetor-chefe de cada base.
	Who? / Quem?	Quem irá executar/participar da ação?	Inspetor-chefe de cada base da empresa
	Where? / Onde?	Onde será executada a ação?	Hangar das bases
	When? / Quando?	Quando a ação será executada?	É possível executar em um mês
	Why? / Por quê?	Por que a ação será executada?	Para evitar que a falha continue acontecendo, evitar possíveis acidentes e mortes
2H	How? / Como?	Como será executada a ação?	Será desenvolvido um processo logístico das aeronaves aonde todas as bases terão uma melhor comunicação em conjuntos com a criação de documentos de inspeção que o inspetor chefe deverá enviar a cada nova aeronave que chegar em sua base.
	How much? / Quanto custa?	Quanto custa para executar a ação?	R\$0,00

Quadro 14 – Aplicação de 5W2H na primeira ordem de priorização

Fonte: Autoria própria, (2021)

Para a falha “Vazamento pelo pistão do *Damper*”, a ferramenta 5W2H está demonstrada no quadro 15.

5W	What? / O que?	Que ação será executada?	Maior fiscalização na hora da compra
	Who? / Quem?	Quem irá executar/participar da ação?	Equipe de compras junto da equipe de engenharia
	Where? / Onde?	Onde será executada a ação?	Area de manutenção das aeronaves
	When? / Quando?	Quando a ação será executada?	O mais breve possível
	Why? / Por quê?	Por que a ação será executada?	Para evitar que a falha continue acontecendo, evitar possíveis acidentes e mortes
2H	How? / Como?	Como será executada a ação?	Através de um treinamento com o foco na parte técnica das peças para a equipe de compras, juntamente com uma melhor conexão entre equipe de compras e engenharia através de relatórios de conformidade técnica.
	How much? / Quanto custa?	Quanto custa para executar a ação?	R\$300,00

Quadro 15 – Aplicação de 5W2H na segunda ordem de priorização
Fonte: Autoria própria, (2021)

Para a falha “Vazamento do fluido causado por uma trinca”, a ferramenta 5W2H está demonstrada no quadro 16.

5W	What? / O que?	Que ação será executada?	Contratação de profissionais mais bem qualificados ou investimento em cursos para melhor capacitação dos mecânicos
	Who? / Quem?	Quem irá executar/participar da ação?	Equipe financeira junto dos Gestores
	Where? / Onde?	Onde será executada a ação?	Area de manutenção das aeronaves
	When? / Quando?	Quando a ação será executada?	O mais breve possível
	Why? / Por quê?	Por que a ação será executada?	Para evitar que a falha continue acontecendo, evitar possíveis acidentes e mortes
2H	How? / Como?	Como será executada a ação?	Através de entrevistas com avaliadores com experiência em manutenção ou cursos de alta qualidade
	How much? / Quanto custa?	Quanto custa para executar a ação?	R\$ 4.500,00

Quadro 16 – Aplicação de 5W2H na terceira ordem de priorização

Fonte: Autoria própria, (2021)

Após as análises das quatro ferramentas, pôde-se observar que a empresa necessita reavaliar os fornecedores de materiais, visto que, a baixa qualidade dos materiais gerou a maioria das falhas identificadas. Além disso, é importante que as aeronaves fiquem guardadas em locais que respeitem as normas vigentes para que problemas devido ao excesso de temperatura não ocorram mais.

A alta capacitação dos profissionais que fazem a manutenção das aeronaves, seja por cursos renomados no mercado, seja por processos seletivos que consigam contratar os melhores profissionais, também é um fator determinante para que se evitem acidentes. Com isso, ainda que, os custos do plano de ação, para a solução das falhas, não estejam previstos no orçamento da empresa, deve-se investir recursos de acordo com o quadro do 5W2H, para que no médio prazo seja possível obter o retorno sobre esse investimento e evitar acidentes.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho desenvolveu o levantamento sobre a origem e o crescimento da gestão de qualidade, interligando este tema a gestão de manutenção, como ela é aplicada atualmente e as diferentes classificações da manutenção. São apresentadas ferramentas de gestão da qualidade para que sejam aplicadas em um caso real de falhas uma peça de uma aeronave. Além disso, foi descrito o que é, onde está localizado e para que serve o *dampers* em um helicóptero do modelo AW 139, esta peça serviu como base para o desenvolvimento do trabalho a partir das análises das falhas ocorridas.

Com base nesse desenvolvimento, este trabalho busca contribuir, abordando aspectos da gestão de qualidade e manutenção, caracterizou-se através das ferramentas Ishikawa, que identificou quais tipos de falhas se deve ter uma maior atenção, do FMEA, que fez uma análise mais profunda destas falhas, da matriz GUT que encontrou quais falhas são necessárias priorizar e pela ferramenta 5W2H que criou os planos de ação que foram aplicados para a solução das problemáticas que o FMEA e o Ishikawa indicaram.

Estas quatro ferramentas de gestão de qualidade, foram aplicadas em conjunto com a intenção de deixar uma linguagem clara e objetiva para um melhor entendimento aos profissionais envolvidos. De forma que durante o processo de execução das tarefas de aperfeiçoamento, não haja dúvidas e sejam realizadas conforme descrito através do 5W2H.

Ademais, esse trabalho foi realizado a fim de tornar esse processo replicável não só em outros componentes das aeronaves, mas também em outras empresas com o propósito de reduzir ao máximo o número de falhas, e principalmente, evitar que acidentes e mortes possam ocorrer.

Além disso, após a aplicação destes métodos e tendo os registros das quantidades de falhas que foram reduzidas e, conseqüentemente, do aumento do tempo médio de vida útil que cada *dampers* terá, pode-se criar um projeto, junto a fabricante, para tornar este processo de gestão de manutenção, global.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALSYOUF, I. **Measuring maintenance performance using a balanced scorecard approach**, Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 12 n. 2, p. 133-149, abr. 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 1994.
- AGUIAR, P. C.G. **Aplicação da Metodologia, de Análise e Solução de Problemas na Célula Lateral de uma Linha de Produção Automotiva**. Monografia, Universidade de Taubaté, 2004.
- AGUSTAWESTLAND - **AW139 TYPE RATING GROUND COURSE TRAINING MANUAL**, 2009
- AVILA, C. A. N; STEFENON, S.F; OLIVEIRA, J.R; COELHO, A.S; VENÇÃO, A.T; KLAAR, A.C.R. **Aplicação do 5W2H para criação do manual interno de segurança do trabalho**. Espacios. v. 37 n 20, 2016.
- BENTO, F. S. **O uso da manutenção preditiva como subsídio à manutenção preventiva**. Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Sociais Aplicadas. João Pessoa, 2012.
- BRAGA, I. C. Aplicação da Matriz GUT na análise de manifestações patológicas em construções históricas. **Revista ALCONPAT**, Mérida (lucatã), v. 9, n. 3, p. 320-335, dez. 2019.
- CAVAIGNAC, A. L. D. O., & UCHOA, J. G. L. Obtaining FMEA's indices for occupational safety in civil construction: a theoretical contribution. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, Sao Luis (Maranhão) v.15, n.4, 558–565. 2018.
- BRASIL. CENIPA. **Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos**. Aeródromos Sumario Estatístico 2008 a 2017. Versão on line. Disponível em: <http://www2.fab.mil.br/cenipa/>. acesso em setembro de 2021
- BLUVBAND, Z., & GRABOV, P. Failure analysis of FMEA. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM. Fort Worth. **Anais...** Fort Worth: IEEE, 2009. P.344-347.
- CERQUEIRA, A. C. P.; MORAES, W.F. A. Estratégias de qualidade e desempenho empresarial: evidências da associação. In: ENCONTRO NAC. DE ENG. DE PRODUÇÃO. 23., 2003, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto- MG, 2003. P 1-15
- CORDEIRO, J. V. B. de M. Reflexões sobre a Gestão da Qualidade Total: fim de mais um modismo ou incorporação do conceito por meio de novas ferramentas de gestão? **Revista FAE**, Curitiba (PR), v. 7, n. 1, p. 19-33, 17 jun. 2004.

COSTA, A.R.S; GONÇALVES, T.C.G.S; KOZMHINSKY M; KAL-RAIS, S. P. A; VALLE, G. **Aplicação da Matriz GUT na gestão integrada de resíduos sólidos da cidade de Recife-PE.** Revista AIDIS, v.10, nº. 2, 2017. Disponível em: <<http://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/57757>>. Acessado em: 28 set. 2021.

COSTA, C. C. R. DA; A TECNOLOGIA NA EXPERIÊNCIA DO CLIENTE (CX). In: SIMPÓSIO SUL-MATO-GROSSENSE DE ADMINISTRAÇÃO, Parnaíba. **Anais...** Parnaíba: UFMS(MS), 2021. p. 254-268.

COSTA, T. B. S.; MENDES, M. A. Análise da causa raiz: utilização do diagrama de Ishikawa e Método dos 5 Porquês para identificação das causas da baixa produtividade em uma cacauicultura. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DE SERGIPE, 10., 2018, São Cristóvão. **Anais** São Cristóvão: UFS-SE, 2018. p. 1 - 11.

DAYCHOUM, M. **40+8 Ferramentas e Técnicas de Gerenciamento.** 4. ed. São Paulo: BRASPORT, 2012.

DURÃO, C.; PINTO, R.; NUNO, D. (2012), “O papel do ortopedista nos acidentes de trabalho”, **Revista Portuguesa de Ortopedia e Traumatologia**, São Luís (MA), v. 20, n. 3, p. 295-302, 2012.

GARVIN, D. A. **Gerenciando a qualidade:** a visão estratégica e competitiva. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1992.

GRIMALDI, R; MANCUSO, J.H. **Qualidade Total.** Folha de SP e Sebrae, 6º e 7º fascículos, 1994.

HELMAN, H; ANDERY, P.R.P. **Análise de Falhas (Aplicação dos Métodos de FMEA – FTA).** TQC: Gestão Pela Qualidade Total – Série Ferramentas da Qualidade, v.11. n. 1 Edição. Belo Horizonte: QFCO, 1995.

ISHIKAWA, K.: **Controle de qualidade total:** à maneira japonesa. 2.ed. Rio de Janeiro, Campus, 1993.

JIMENEZ, V. J., BOUHMALA, N., & GAUSDAL, A. H. Developing a predictive maintenance model for vessel machinery. **Journal of Ocean Engineering and Science**, Shanghai (CN), v. 5, n. 4, p. 358-386, dez. 2020.

KARDEC, A; NASCIF, J.A. **Manutenção:** Função estratégica. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

LEONARDO HELICOPTERS, **Leonardo Agustawestland**, 2009. Página Inicial. Disponível em: <<https://leonardo.agustawestland.com/amerigo/ietp/model/AW139#20620-20718-21213-10006>> Acesso em : 01 de set. de 2021.

LEE, C.K.M; KAM, H.H.N. **Big data analytics for predictive maintenance strategies**. Journal IGI Global, 2017.

LH, **Main Rotor Head**- Description of how it is made, Roma: Leonardo Helicopters, Disponível em: <<https://leonardo.agustawestland.com/amerigo/ietp/model/AW139#20620-20718-21215-10151>>. Acesso em 01 out 2021.

LH, **Main Rotor Head**- Description of function, Roma: Leonardo Helicopters, Disponível em: <<https://leonardo.agustawestland.com/amerigo/ietp/model/AW139#20620-20718-21215-10153>>. Acesso em 01 out 2021.

LOPES, J. C. C. **Gestão da Qualidade: Decisão ou Constrangimento Estratégico**. 2014. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Estratégia Empresarial - Universidade Europeia. Lisboa, 2014.

MACHADO, D. P.; MACHADO, D. G.; SOUZA, M. A. D.; SILVA, R. P. D. Incentivo à pesquisa científica durante a graduação em ciências contábeis: um estudo nas universidades do estado do Rio Grande Do Sul. **RIC - Revista de Informação Contábil**, [s. l.], v. 3, n. 2, p. 37-60, abr. 2009.

MARTINS, N.; PESSOA, R.; NASCIMENTO, R. Priorização na Resolução de Manifestações Patológicas em Estruturas de Concreto Armado: Método GUT. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, Recife (PE) v. 2, n. 3, p. 139-148, 28 ago. 2017.

MARTINS, R A; COSTA NETO, P. L. O. Indicadores de desempenho para a gestão pela qualidade total: uma proposta de sistematização. **Revista Gestão & Produção**, São Paulo (SP), v. 5, n. 3, p. 298-311, 1998.

MENDES, M.F. **A importância dos sistemas QAS (Qualidade, Ambiente e Segurança) nas Pequenas e Médias Empresas PME**, 2007. 177 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Qualidade, Segurança e Manutenção na Universidade do Minho. Braga, 2007.

MOBLEY, R. K. **An Introduction to Predictive Maintenance**. 2. Ed. Burlington: Butterworth-Heinemann, 2002.

MOREIRA, L. M; LOOS, M. J. ANÁLISE DE RUPTURAS DE ABASTECIMENTO DE PRODUTOS EM UMA PADARIA POR MEIO DO DIAGRAMA DE ISHIKAWA. **Revista Espacios**, v. 39, n. 3, p. 1-9, jan. 2018.

MOTTA, R. G.; CORÁ, M. A. J. Uma Crítica Ao Discurso Da Gestão Da Qualidade Total, A Partir Do Pensamento De Maurício Tragtenberg. **Revista Brasileira de Estudos Organizacionais**, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 352 - 379, out. 2019.

NAKAHARA, J. L.; **Acidentes Aéreos: Fatores Humanos Como Fator Contribuinte**. Universidade do Sul de Santa Catarina, Centro de Ciências Aeronáuticas. Palhoça, 2021.

OKOH, P; HAUGEN, S. **Maintenance-related major accidents: Classification of causes and case study.** Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Trondheim (NO), v. 26, n. 6, p. 1060–1070, abr. 2013.

OLIVEIRA, S. T. **Ferramentas para o Aprimoramento da Qualidade.** São Paulo. Pioneira, 1995.

OMNI TAXI AEREO. **Omni Brasil**, 2021. Página inicial. Disponível em: <https://www.omnibrasil.com.br/pt_BR/aeronaves/aw139/> Acesso em: 01 de set. de 2021.

PRAJAPATI, A.; BECHTEL, J.; GANESAN, S. **Condition based maintenance: a survey.** Journal of Quality in Maintenance Engineering, Oakland (CA), v. 18, n. 4, p. 384–400, out. 2012.

POLACINSKI, E. VEIGA, R.S; BUENO, V.S; TAUCHEN, J; ROSANA, M.P. **Implantação dos 5Ss e proposição de um SGQ para uma indústria de erva-mate.** Gestão Estratégica: Empreendedorismo e Sustentabilidade - Congresso Internacional de Administração, 2012. Disponível em <<http://www.admpg.com.br/2012/down.php?id=3037%20&q=1.>> Acessado em 22 out 2021.

SANTOS, M.; CAITANO, D. F.; SOARES, S. E. de S.; Proposta de melhoria nos processos de gestão em uma instituição de educação básica: Uma abordagem a partir da qualidade, In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. 8., São Paulo. **Anais...** São Paulo: Blucher, 2020. p. 1847-1860

SHIBA, S.; GRAHAM, A. & WALDEN, D.: **A new American TQM. Portland,** Productivity Press, 1993.

SHIN, Jong-Ho; JUN, Hong-Bae. On condition-based maintenance policy: a survey. **Journal of Computational Design and Engineering**, Ulju-gun (Ulsan), v. 2, n. 2, p. 119-127, 2015.

SIKORSKY, **ROTORS:** Damper System, Stratford: Sikorsky, 2008. Disponível em: <<https://www.sikorsky360.com/portal/index.html#!/index/techpubs>>. Acesso em 01 out 2021.

SIKORSKY, **ROTORS:** Dampers - Description and Operation, Stratford: Sikorsky, 2017. Disponível em: <<https://www.sikorsky360.com/portal/index.html#!/index/techpubs>> Acessado em 01 out 2021.

SILVA, R, P; SILVA, L, G, P; PALADINI, E, P. Economia Compartilhada. Gestão da Qualidade Aplicado a uma Empresa do Ramo de Delivery de Comida, **Revista FUMEC**, Belo Horizonte (MG), ano 2018, v. 19, n. 2, p. 66 - 75, 23 set. 2018.

SOUSA, R. S. de; LOOS, M. J. Aplicação do Ciclo PDCA e Ferramentas da Qualidade na redução de Custos e Perdas em uma Distribuidora de Hortifrutí. **Journal of Perspectives in Management**, Caruaru (PE), v. 4, n. 1, p. 68-83, jul. 2020.

STAMATIS, D. H. **Failure Mode and Effect Analysis - FMEA from Theory to Execution**. 2.ed. Milwaukee, USA: ASQ Quality Press. 2003.

SUÁREZ-BARRAZA, M. F.; RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, F.G. Cornerstone root causes through the analysis of the Ishikawa diagram, is it possible to find them? A first research approach. **International Journal of Quality and Service Sciences**, Puebla, v. 11, n. 2, p. 302-316, 2018.

VOLTARELLI, M. A., PAIXÃO, C. S. S., ZERBATO, C., SILVA, R. P. da, & Gazzola, J. Failure mode and effect analysis (FMEA) in mechanized harvest of sugarcane billets. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, Engenharia Agrícola, v.38, n1, p. 88–96, 2018