



ANÁLISE DE FIABILIDADE DE UM SISTEMA ÓLEO-HIDRÁULICO E OS SEUS SUBSISTEMAS EM CENTRAIS HIDROELÉTRICAS

PEDRO MIGUEL DA SILVA GONÇALVES

novembro de 2022

ANÁLISE DE FIABILIDADE DE UM SISTEMA ÓLEO- HIDRÁULICO E OS SEUS SUBSISTEMAS NUMA CENTRAL HIDROELÉTRICA

Pedro Miguel da Silva Gonçalves

1200224

2022

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica



ANÁLISE DE FIABILIDADE DE UM SISTEMA ÓLEO- HIDRÁULICO E OS SEUS SUBSISTEMAS NUMA CENTRAL HIDROELÉTRICA

Pedro Miguel da Silva Gonçalves

1200224

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação da Professora Sandra Cristina de Faria Ramos.

2022

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica



JÚRI

Presidente

Doutora Rafaela Carla Barros Casais

Professora Adjunta, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Doutora Sandra Cristina de Faria Ramos

Professora Adjunta, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

Doutor Filipe José Palhares Chaves

Professor Adjunto, Instituto Politécnico do Cávado e do Ave

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à Professora Doutora Sandra Ramos, orientadora desta dissertação, pela disponibilidade e ajuda dedicada em todas as diferentes etapas deste trabalho.

Não quero esquecer a enorme gentileza e cooperação por parte do Engenheiro Paulo Figueiredo, diretor da Navipa, que disponibilizou a informação deste estudo e todos os recursos necessários para validação do mesmo.

Tenho de agradecer aos meus colegas do curso, que fizeram parte do meu trajeto acadêmico, com eles ao lado, tudo se tornou mais fácil.

Quero agradecer de uma forma muito especial à minha namorada, por me ter ajudado nas diferentes fases deste trabalho.

Por último, mas não menos importante, quero agradecer aos meus pais, por me terem sempre apoiado durante todo o meu percurso escolar.

PALAVRAS-CHAVE

Manutenção Industrial; Manutenção Preventiva; Fiabilidade de Sistemas; Manutenção Centrada na Fiabilidade

RESUMO

Parte dos sistemas energéticos óleo-hidráulicos das centrais hidroelétricas portuguesas possuem entre 30 a 40 anos, sendo os equipamentos constituintes das mesmas provenientes, quase sempre, da extinta Sociedades Reunidas de Fabricações Metálicas (Sorefame). Para além de todo o *know-how* dessa empresa ter desaparecido com a sua extinção, nunca foram estabelecidos quaisquer parâmetros para a Manutenção Preventiva dos equipamentos. Esta ausência de informação tem levado à falta de manutenção dos equipamentos, o que resulta num aumento contínuo da incidência de paragens.

Quase todos os equipamentos de uma barragem e os seus constituintes são suscetíveis a danos e deterioração caso não sejam alvo de uma manutenção adequada. Além disso, o custo de um programa de manutenção preventivo é baixo em comparação com os custos elevados das reparações, quando estes equipamentos são alvo de paragem.

Um bom programa de manutenção preventiva irá salvaguardar o correto funcionamento de grupos energéticos óleos-hidráulicos das centrais hidroelétricas, prolongando o seu tempo de vida útil e reduzindo a probabilidade de falha.

O trabalho apresentado nesta dissertação tem como objetivo o estudo de um histórico de avarias mais recorrentes num equipamento de uma central hidroelétrica, através de uma análise de Fiabilidade, visando o desenvolvimento de um plano de manutenção preventivo para o mesmo.

Espera-se que, com que o plano de manutenção, se consiga diminuir os custos diretos e indiretos que as avarias provocam na central, assegurando assim a disponibilidade do equipamento ao nível pretendido e obtendo o máximo rendimento do equipamento prolongado a sua vida útil.

KEYWORDS

Industrial Maintenance; Preventive Maintenance; System Reliability; Reliability Centered Maintenance

ABSTRACT

Part of the oil-hydraulic energy systems of the portuguese hydroelectric power plants are between 30 and 40 years old, and the equipment constituting them were supplied by the now extinct Sociedade Reunidas de Fabricações Metálicas (Sorefame). Besides all the knowledge of that company having disappeared with its extinction, the equipment manufacturer did not establish any kind of parameters for the system's Preventive Maintenance. This lack of information has led to a lack of maintenance of such a specific piece of equipment, resulting in a continuous increase in the incidence of shutdowns.

Every component of a dam and its materials are susceptible to damage and deterioration if not properly maintained. Moreover, the cost of a preventive maintenance program is low compared to the excessive cost of repairs when they stopped.

A good preventive maintenance program will safeguard the correct operation of power plant hydraulic oil groups, extending their useful life and reducing the probability of failure.

This report aims to study, which will serve to develop a preventive maintenance plan, based on the history of the most recurrent failures of power plants, through a Reliability Analysis.

It is expected that this study can reduce the direct and indirect costs that a failure in this type of equipment causes in a Power Plant, ensuring the availability of the equipment at the desired level and obtaining the maximum performance of the equipment prolonging its useful life.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

FMEA	Análise de Modos e Efeitos de Falha
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MP	Manutenção Preventiva
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>
MTTR	<i>Mean Time To Repair</i>
MTTM	Mean Time To Maintenance
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
PAC	Proteção Anticorrosiva
PM	Plano de Manutenção
RCFA	Análise de Causa Raiz da Falha
RCM	Manutenção Centrada na Fiabilidade
Sorefame	Sociedades Reunidas de Fabricações Metálicas
TPM	Manutenção Produtiva Total
TTF	Tempos entre falhas
TTS	Tempo até à suspensão
WoS	<i>Wef of Science</i>

Lista de Unidades

H	Horas
---	-------

Lts	Litros
-----	--------

Lista de Símbolos

λ	Taxa de Avaria
-----------	----------------

μ	Média
-------	-------

σ	Desvio Padrão
----------	---------------

η	Parâmetro de Escala
--------	---------------------

β	Parâmetro de Forma
---------	--------------------

γ	Função Gama
----------	-------------

$I(\theta)$	Índice de qualidade de ajuste de uma distribuição
-------------	---

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Espiral da <i>Action Research</i> (Adaptado de (Saunders et al., 2009)).....	5
Figura 2 - Base de Dados da revisão Bibliográfica em Ms Excel (Fonte Própria)	7
Figura 3 - Criação de redes Bibliométricas – <i>VosViewer</i> (Fonte Própria)	7
Figura 4 - Software de Gestão PHC (Fonte Própria)	8
Figura 5 - Software Relyence (Fonte Própria).....	8
Figura 6 - Criação da ferramenta de trabalho- <i>Visual Basic + MS Excel</i> (Fonte Própria).....	9
Figura 7 - Esquema Hidráulico (Fonte Própria).....	9
Figura 8 - Cluster referente a palavra-chave " <i>Maintenance</i> " (Fonte Própria)	14
Figura 9 - Cluster referente a palavra-chave " <i>Reliability</i> " (Fonte Própria).....	14
Figura 10 - Cluster referente a palavra-chave " <i>Reliability Centred Maintenance</i> " (Fonte Própria)	15
Figura 11 - Estudo bibliométrico (Fonte Própria)	15
Figura 12 - Tipos de Manutenção (Adaptado (Mobley, 2002))	21
Figura 13 - Etapas de uma análise de risco de falha (Adaptado (Basu, 2012)).....	27
Figura 14 - Etapas de implementação de um FMEA (Subriadi & Najwa, 2020).....	28
Figura 15 - Gráfico da Função de Risco (Ramos, 2021)	30
Figura 16 - Curva da Banheira (Ramos, 2021)	31
Figura 17 - Diagrama de bloco de um sistema de 4 componentes em série (De Carlo, 2013)	35
Figura 18 - Diagrama de bloco de um sistema de 4 componentes em paralelo (De Carlo, 2013)	35
Figura 19 - Diagrama de bloco de um sistema de 9 componentes em paralelos em série (De Carlo, 2013)	36
Figura 20 - Componentes de um programa RCM (Adaptado (Afefy, 2010))	37
Figura 21 - Modelo de Investigação (Fonte Própria)	43
Figura 22 - Produtos comercializados pela Navipa (Fonte: Navipa)	44
Figura 23 - Sistemas constituintes da Central Hidroelétrica em estudo (Fonte Navipa).....	46
Figura 24 - Exemplo de funcionamento de uma eclusa de navegação (Barbulescu, 2015)	47
Figura 25 Unidade Energética Sorefame (Fonte: Navipa)	48
Figura 26 - Unidade Energética Sorefame (Fonte: NAVIPA).....	49

Figura 27 - Grupo de Circuito à saída da Unidade Energética (Fonte: Navipa)	49
Figura 28 - Grupo de Circulação à saída do Servomotor (Fonte: Navipa)	49
Figura 29 - Desenho do servomotor Sorefame (Fonte Navipa).....	50
Figura 30 - Grupo de refrigeração (Fonte: Navipa)	51
Figura 31 - Diagrama caixa de bigodes dos tempos até à falha por subsistema (Fonte Própria).....	52
Figura 32 - Modelo elaborado para aplicação do FMEA (Fonte Própria)	53
Figura 33 - <i>Dashboard</i> geral referente aos cinco subsistemas analisados (Fonte Própria).....	63
Figura 34 - Critérios da classificação da criticidade dos componentes (Fonte Própria).....	65
Figura 35 - Critérios e Resultados da Avaliação de Criticidade (Fonte Própria)	65
Figura 36 - Metodologia de análise de Fiabilidade aplicada (Fonte Própria)	66
Figura 37 - Introdução de TTS no software (Fonte Própria)	66
Figura 38 - Escolha da opção " <i>Best Fit</i> " (Fonte Própria).....	67
Figura 39 - Ferramenta com os parâmetros calculados, após a seleção do comando " <i>Calculate</i> " (Fonte Própria)	67
Figura 40 - Exemplo de seleção de Gráfico de Taxa de Falha vs Tempo (Fonte Própria)	68
Figura 41 - Fiabilidade em função do tempo de operação da Unidade Energética (Fonte Própria)	69
Figura 42 - Fiabilidade vs tempo de operação dos Acumuladores (Fonte Própria).....	72
Figura 43 - Fiabilidade vs Tempo de Operação do Grupo de Circulação (Fonte Própria).....	74
Figura 44 - Fiabilidade vs Tempo de Operação dos Servomotores (Fonte Própria)	76
Figura 45 - Fiabilidade vs Tempo de Operação da Refrigeração (Fonte Própria)	78
Figura 46 - Distribuição Percentual da Análise Pareto (Fonte Própria).....	80
Figura 47 - Intervalos de Operação Mínima e Máxima (Fonte Própria)	81
Figura 48 - PM com ações preventivas referente ao Servomotor a intervir (Fonte Própria)	82
Figura 49 - PM com informação referente ao Servomotor a intervir (Fonte Própria)	82

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Capítulos da Dissertação	6
Tabela 2 - Resumo de artigos realizados nas diversas áreas abordadas durante o relatório	16
Tabela 3 - Definição de Tipos de Manutenção	22
Tabela 4 - Níveis de Manutenção	23
Tabela 5 - Indicadores de Manutenção	24
Tabela 6 - Tipos de Falha	26
Tabela 7 - Descrição das Etapas de Implementação de um FMEA	28
Tabela 8 - Descrição dos riscos em função do tipo de Função de Risco	31
Tabela 9 - Tipos de Falhas e causas Prováveis	32
Tabela 10 - Tipos de Parâmetros na Distribuição de Weibull	33
Tabela 11 - Percentagem de Tipo de Manutenção utilizado no RCM	37
Tabela 12 - Etapas para Implementação de um RCM	38
Tabela 13 - Aspectos para utilização de indicadores de Manutenção	39
Tabela 14 – Estatísticas sumário dos tempos até à falha (em horas) segundo o subsistema	52
Tabela 15 - Fatores para estudo e validação do FMEA	54
Tabela 16 - Codificação dos modos de falha possíveis	55
Tabela 17 - Componentes, Funções e Modos de Falhas do Subsistema 1 – Unidade Energética	56
Tabela 18 - Componentes, Funções e Modos de Falhas do Subsistema 2 – Acumuladores	56
Tabela 19 - Componentes, Funções e Modos de Falhas do Subsistema 3 – Grupo de Circulação	57
Tabela 20 - Componentes, Funções e Modos de Falhas do Subsistema 4 – Servomotor	57
Tabela 21 - Componentes, Funções e Modos de Falhas do Subsistema 5 – Refrigeração	58
Tabela 22 - Classificação do índice de severidade do modo de falha (S) (Adaptado ((Institute Ford Design, 2004))	60
Tabela 23 - Classificação do índice de ocorrência do modo de falha (O) (Adaptado de ((Institute Ford Design, 2004))	61
Tabela 24 Classificação do índice de deteção do modo de falha (D) (Adaptado de ((Institute Ford Design, 2004))	62

Tabela 25 - Resultados Gerais dos cinco subsistemas analisados	63
Tabela 26 - Resultados do subsistema 1 – Unidade Energética	68
Tabela 27 - Histórico de falhas do subsistema 2 - Acumuladores	70
Tabela 28 - Resultados do Subsistema 2 - Acumuladores	71
Tabela 29 - Histórico de falhas do subsistema 3 – Grupo de Circulação	72
Tabela 30 - Resultados do Subsistema 3 – Grupo de Circulação	74
Tabela 31 - Resultados do Subsistema 4 Servomotores	75
Tabela 32 - Histórico de falhas do subsistema 5 - Refrigeração	76
Tabela 33 - Resultados do Subsistema 5 – Refrigeração	77
Tabela 34 - Tabela com análise Pareto	79
Tabela 35 - Definição de Blocos para as Ações Preventivas	81
Tabela 36 - Análise dos objetivos inicialmente propostos	90

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	3
1.1	Contextualização	3
1.2	Objetivos	4
1.3	Metodologia	4
1.4	Estrutura da dissertação	6
1.5	Organização participante	7
1.6	Ferramentas computacionais.....	7
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1	Pesquisa bibliográfica.....	13
2.2	A importância da manutenção e sua gestão.....	19
2.2.1	Definição de Manutenção	20
2.2.2	História e evolução da Manutenção.....	20
2.2.3	Tipos de Manutenção	21
2.2.4	Níveis de Manutenção.....	22
2.2.5	Indicadores da Manutenção.....	23
2.3	Fiabilidade	25
2.3.1	Definição de Fiabilidade	25
2.3.2	Fiabilidade e Manutenção	25
2.3.3	Tipologia de causas de falha.....	26
2.3.4	Análise de risco de falha (<i>Hazard Analysis</i>)	27
2.3.5	Análise de modos e efeitos de falha (FMEA).....	27
2.3.6	Cálculo de Fiabilidade.....	29
2.3.7	Função de risco.....	30

2.3.8	Curva da Banheira	31
2.3.9	Distribuições de probabilidades	32
2.3.10	Fiabilidade de sistemas	35
2.4	Manutenção Centrada na Fiabilidade	36
2.4.1	Conceitos do RCM	36
2.4.2	Procedimentos do RCM	37
2.4.3	Vantagens e Desvantagens do RCM	39
2.5	Análise critica da Revisão Bibliográfica	40
3	ESTUDO PRÁTICO E ANÁLISE CRÍTICA	43
3.1	Apresentação da empresa fornecedora dos dados	44
3.2	Caracterização do problema	45
3.3	Descrição do equipamento a analisar	46
3.3.1	Eclusa de navegação	47
3.3.1.1	Subsistema 1 - Unidade energética	47
3.3.1.2	Subsistema 2 – Acumuladores	48
3.3.1.3	Subsistema 3 – Grupo de circulação	49
3.3.1.4	Subsistema 4- Servomotor	50
3.3.1.5	Subsistema 5 – Refrigeração	50
3.4	Recolha de dados	51
3.5	Análise dos dados	51
3.5.1	Distribuição dos tempos até à falha subsistemas	51
3.6	Análise FMEA	53
3.6.1	Identificação dos componentes, das suas funções e dos seus modos de falha	54
3.6.1.1	Subsistema 1 – Unidade Energética	55
3.6.1.2	Subsistema 2 – Acumuladores	56
3.6.1.3	Subsistema 3 – Grupo de Circulação	57
3.6.1.4	Subsistema 4 – Servomotor	57

3.6.1.5	Subsistema 5 – Refrigeração.....	58
3.6.2	Identificação dos efeitos de falha e consequências de falha	59
3.6.3	Cálculo do RPN	59
3.6.4	Resultados da análise FMEA.....	63
3.7	Análise de criticidade às posições funcionais	64
3.8	Execução da análise de fiabilidade.....	66
3.8.1	Resultados da análise ao subsistema 1-Unidade Energética.....	68
3.8.2	Resultados da Análise ao subsistema 2-Acumuladores	70
3.8.3	Resultados da Análise ao subsistema 3- Grupo de Circulação	72
3.8.4	Resultados da Análise ao subsistema 4 – Servomotores	75
3.8.5	Resultados da Análise ao subsistema 5 – Refrigeração.....	76
3.8.6	Análise aos Modos de Falha (Pareto)	78
3.9	Programação dos Planos Preventivos	80
3.9.1	Definição de Blocos de Intervenções	81
3.9.2	Definição dos Planos de Manutenção	82
3.9.2.1	Ações de Manutenção do Subsistema 1 – Unidade Energética (Bloco A)	83
3.9.2.2	Ações de Manutenção do Subsistema 2 – Acumuladores (Bloco B).....	84
3.9.2.3	Ações de Manutenção do Subsistema 3 – G de Circulação (Bloco A).....	84
3.9.2.4	Ações de Manutenção do Subsistema 4 – Servomotores (Bloco A)	84
3.9.2.5	Ações de Manutenção do Subsistema 5 – Refrigeração (Bloco B)	85
4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	89
4.1	Conclusões	89
4.2	Propostas de trabalhos futuros.....	91
5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	95
5.1	Artigos, Livros e Apontamentos de aula	95
6	ANEXOS.....	101

6.1	Anexo1 - Recolha de Dados.....	101
6.2	Anexo 2 - Análise FMEA	103
6.3	Anexo 3 - Análise de Criticidade dos Equipamentos.....	106
6.4	Anexo 4 - Modos de falha por subsistema.....	107
6.5	Anexo 5 - <i>Template</i> Plano de Manutenção.....	112
6.6	Anexo 6 – <i>Esquemas Óleo-Hidráulicos – Conjunto dos Subsistemas</i>	114

INTRODUÇÃO

- 1.1 Contextualização
- 1.2 Objetivos
- 1.3 Metodologia
- 1.4 Estrutura da dissertação
- 1.5 Organização participante
- 1.6 Ferramentas computacionais

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo faz uma introdução ao trabalho desenvolvido através da apresentação de uma contextualização sobre o problema em aberto, dos objetivos do trabalho e da metodologia de investigação seguida. É ainda apresentada uma descrição da estrutura do documento, uma breve referência à empresa participante no estudo e uma referência às ferramentas computacionais utilizadas.

1.1 Contextualização

As atuais exigências do mercado tornam necessário que as organizações industriais melhorem o seu desempenho, alinhando as suas práticas de qualidade com a tentativa de capitalizar todas as possíveis fontes tradicionais e não tradicionais relativamente a vantagens competitivas (Vecchi & Brennan, 2009).

Segundo os autores Demirbag e Sahadev (2008), a orientação de qualidade da organização está ligada a um entendimento generalizado entre os membros da organização e a implementação de políticas de qualidade, bem como a práticas e sistemas orientados para alcançar metas e objetivos previamente estabelecidos (Demirbag & Sahadev, 2008). Desta forma, o conceito da gestão organizacional deve ser composto por valores orientados para a definição de responsáveis pela qualidade, prevenção e manutenção (Jinhui Wu et al., 2011).

A manutenção assume-se como um dos principais contribuidores para o bom desempenho e rentabilidade das organizações industriais. A escolha de uma política de manutenção assertiva é fundamental para que as organizações consigam manter a sua competitividade (Chan & Prakash, 2012).

Segundo os autores Efthymiou et al. (2012), os custos de manutenção podem chegar a cerca de 30% dos custos globais de funcionamento de um equipamento e representam até 60 a 75% dos custos totais do ciclo de vida deste (Efthymiou et al., 2012). Estes custos podem ser minimizados através da implementação de políticas de manutenção preventiva e preditiva, muitas vezes baseadas em metodologias estatísticas que permitem prever a ocorrência das avarias. Abordagens teóricas, juntamente com abordagens heurísticas e empíricas permitem definir/otimizar planos de manutenção (Maletič et al., 2014).

Portanto, seja qual for a situação económica da organização industrial, é fundamental implementar e/ou melhorar estratégias de manutenção, de forma que a disponibilidade dos equipamentos, em termos de boa condição de operacionalidade, seja assegurada. Nessa perspetiva, torna-se necessário que as organizações selecionem uma estratégia adequada que minimize os custos diretos e maximize a fiabilidade dos equipamentos (Chan & Prakash, 2012).

1.2 Objetivos

O objetivo geral do trabalho apresentado neste documento é o estudo e aplicação de ferramentas e metodologias com vista à conceção e implementação de uma estratégia de manutenção para um equipamento específico de uma central hidroelétrica. Este objetivo geral materializa-se nos seguintes objetivos específicos:

- Identificação dos tipos de manutenção existentes;
- Identificação de critérios de ações para seleção dos tipos de manutenção;
- Identificação da relação entre fiabilidade e manutenção;
- Seleção da melhor estratégia de manutenção para o equipamento em estudo;
- Desenvolvimento de uma análise FMEA ao equipamento em estudo;
- Análise de criticidade ao equipamento em estudo;
- Desenvolvimento de uma análise de fiabilidade tendo em conta os requisitos impostos pelo cliente final;
- Desenvolvimento de planos de manutenção;
- Carregamento da informação adquirida numa ferramenta de trabalho no sistema de manutenção da Navipa.

1.3 Metodologia

O desenvolvimento do trabalho aqui apresentado baseou-se na metodologia de investigação *Action Research*. Esta metodologia tem como base as ações de resolução de problemas, implementadas num contexto colaborativo com a análise ou investigação colaborativa orientada por dados para compreender as causas subjacentes, permitindo previsões futuras sobre mudanças.

Neste processo, o investigador deve estar diretamente envolvido na resolução de problemas, participando na inserção das soluções encontradas (Machado & Davim, 2020). Por essa razão, percebe-se que esta estratégia pode ser definida como um conjunto de metodologias de investigação que incluem ações, reflexão e investigação, utilizando, para isso, um processo repetitivo que vai alternando entre ação e reflexão crítica (Nogueira et al., 2013).

A metodologia *Action Research*, devido à sua natureza iterativa, pode representar-se por uma ligação que compreende quatro fases, a de diagnóstico, de planeamento, a de implementação de ações e de avaliação, conforme representado na Figura 1.

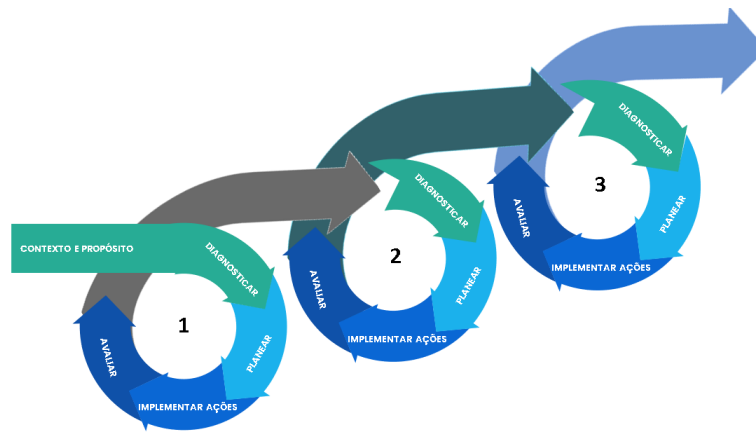


Figura 1 - Espiral da *Action Research* (Adaptado de (Saunders et al., 2009))

A fase inicial, diagnosticar, pode ser descrita como sendo a fase de análise de um problema, para que o mesmo possa ser definido de maneira correta. Posteriormente a essa fase, deve seguir-se para as fases de planeamento e implementação de ações, que têm como objetivo o planeamento das ações que poderão resolver o problema definido para se poder proceder à implementação das mesmas. Salienta-se que, no fim, todos os resultados obtidos, devem ser analisados, assim como se deve proceder ao registo de todo o trabalho desenvolvido (Saunders et al., 2009). Este ciclo deve ser percorrido até aos problemas encontrados estarem resolvidos, completando assim todo o processo (French, 2009).

Para este trabalho em concreto, na primeira fase, fez-se a análise da história e evolução da Manutenção, identificaram-se os tipos de manutenção e indicadores existentes. Posteriormente, analisou-se de que forma a análise da Fiabilidade poderia contribuir para implementação de um plano de manutenção mais eficaz.

As etapas da metodologia relativa à parte prática foram:

- Recolha de dados;
- Análise preliminar dos dados;
- Análise e estudo dos subsistemas;
- Elaboração do FMEA aos componentes constituintes dos subsistemas;
- Análise de criticidade aos componentes constituintes dos subsistemas
- Análise de fiabilidade aos subsistemas;

- Criação de ações de manutenção;
- Implementação da ferramenta em produtivo.

1.4 Estrutura da dissertação

Para além deste capítulo inicial, este relatório contém mais 3 capítulos principais, cujo resumo se encontra na Tabela 1.

Tabela 1 - Capítulos da Dissertação

Capítulo 1	Introdução	Este capítulo faz uma contextualização do problema, introduz os objetivos do trabalho, a metodologia aplicada durante o desenvolvimento, e, por fim, descreve a empresa estudada.
Capítulo 2	Revisão Bibliográfica	Este capítulo aborda os conceitos, metodologias e ferramentas relevantes para o desenvolvimento do trabalho. Encontra-se, dividido em 3 subcapítulos, sendo que o primeiro faz uma breve introdução à manutenção, o segundo introduz a fiabilidade e o terceiro aborda a metodologia da Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM) e as ferramentas necessárias para implementar a mesma.
Capítulo 3	Estudo Prático e Análise Crítica	Neste capítulo é efetuada uma descrição sobre o problema em estudo, seguindo-se da apresentação dos resultados de uma análise FMEA e de Fiabilidade, tendo em vista a implementação de uma política RCM.
Capítulo 4	Conclusões e propostas de trabalhos futuros	Este capítulo encerra o documento com um resumo das contribuições mais relevantes do trabalho desenvolvido. É ainda realizada uma análise crítica dos resultados obtidos e discutidas algumas possibilidades de trabalho futuro-

1.5 Organização participante

Este estudo contou com a participação da empresa Navipa que forneceu informação útil para o desenvolvimento da parte prática. A Navipa é uma empresa que atua no mercado óleo-hidráulico e que tem como foco, no seu trabalho, a inovação e evolução dos métodos de qualidade, ambiente e segurança. Para além de Portugal, a Navipa também opera nas centrais hidroelétricas de Angola e Malásia.

1.6 Ferramentas computacionais

Em relação a ferramentas computacionais utilizadas, o *MS Excel* da *Microsoft* serviu para a criação da base de dados referente à revisão bibliográfica. A Figura 2 mostra um *screenshot* da base de dados criada em *Excel*.

ID	Titulo	Year	Author	Journal	Year	Year	Year	Year	Year	Year
1	The impact of quality management attention on maintenance performance	2009	George Bernard, Margot Bennett and Melissa Gilbertson	INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH	11	6	162	15	1	1
2	Reliability, availability and maintainability analysis for railway infrastructure management	2009	Mehmet C. Ozdemir, Subhanagari, Gokul G. Subramanian	STRUCTURAL AND INFRASTRUCTURE CONGRESS	7	1	107	15	1	1
3	Improving internal logistics of a bus manufacturing using the lean technique	2007	Muhammad I. Alshamir, Usama, Fawziya, LP (PhD), Lina (MSc), Ali, M. El-Sher, Samir, Hani, Yehia, Mohamed A. El-Deghary, (Empire, Tunisia), (Empire, Tunisia)	INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTIVITY AND PERFORMANCE MANAGEMENT	26	1	107	15	1	1

Figura 2 - Base de Dados da revisão Bibliográfica em Ms Excel (Fonte Própria)

O *VosViewer* foi o *software* utilizado para criar a rede de análise Bibliométrica. Um *screenshot* da ferramenta encontra-se na Figura 3.

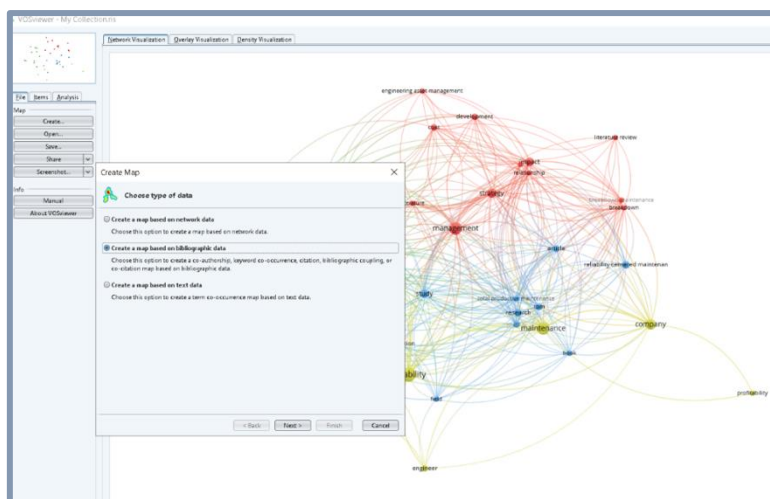


Figura 3 - Criação de redes Bibliométricas – VosViewer (Fonte Própria)

Para a recolha de dados, foi utilizado o software de gestão, PHC, a Figura 4 apresenta um *screenshot* do mesmo.

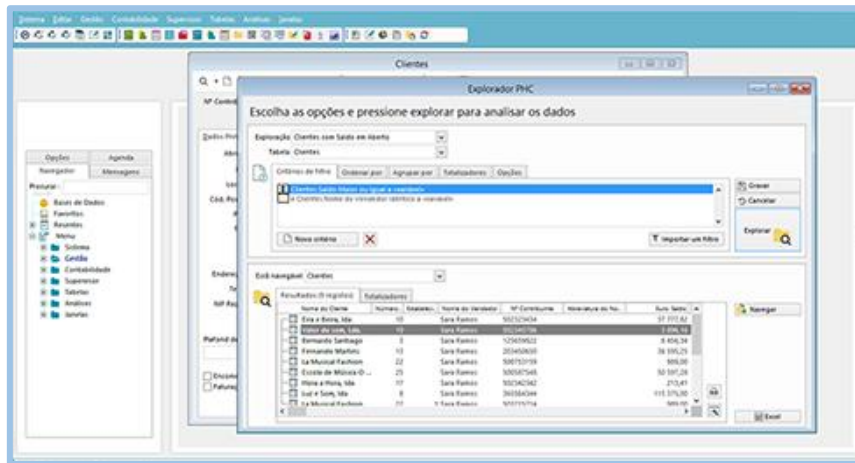


Figura 4 - Software de Gestão PHC (Fonte Própria)

Para a realização do cálculo fiabilístico, foi utilizado o software Relyence, a Figura 5 apresenta um *screenshot* do mesmo.

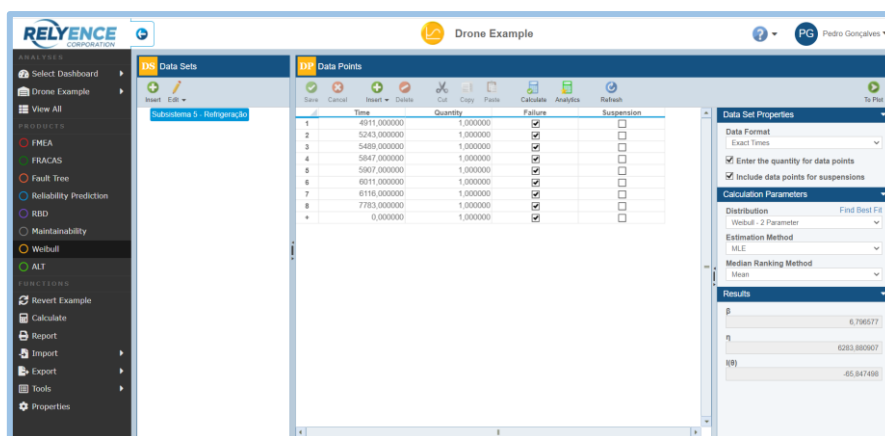


Figura 5 - Software Relyence (Fonte Própria)

A ferramenta proposta foi desenvolvida em *Visual Basic* em conjunto com o *MS Excel da Microsoft*. Um *screenshot* da ferramenta encontra-se na Figura 6.



Sistemas	Subsistema	Componentes	Figura	Tipo de Sistema <small>(Reparável ou não reparável)</small>
Descarregador de Cheias Eclusa de Navegação	Acumuladores	Pistão Reservatório Regulador Bloco de Segurança c/ Elemento Lógico		Reparável
Tomada de Água Descarregador de Cheias Eclusa de Navegação Eclusa de Peixe	Circulação	Tubagem de Pressão Tubagem de Retorno Tubagem de Pilotagem Válvula de 2 vias Regulador de Caudal		Reparável

Figura 6 - Criação da ferramenta de trabalho- Visual Basic + MS Excel (Fonte Própria)

Para a realização dos esquemas hidráulicos e validação de funcionamento de cada subsistema, foi utilizado o software Fluidsim-6, a Figura 7 apresenta *screenshot* do mesmo.

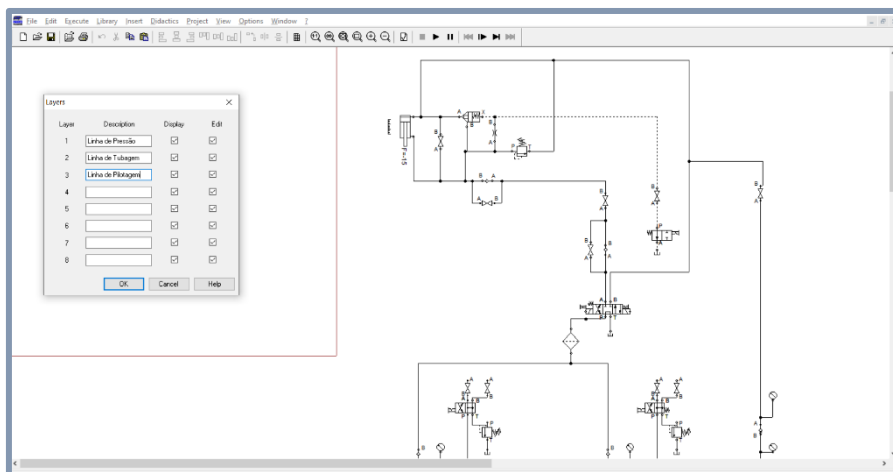


Figura 7 - Esquema Hidráulico (Fonte Própria)

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- 2.1 Pesquisa bibliográfica
- 2.2 A importância da manutenção e sua gestão
- 2.3 Fiabilidade
- 2.4 Manutenção Centrada na Fiabilidade
- 2.5 Análise crítica da Revisão Bibliográfica

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta uma revisão da literatura sobre o tema em estudo e foca, essencialmente, três pontos: (1) resumo de publicações relevantes na área do trabalho; (2) aspetos teóricos relacionados com o tema manutenção; (3) aspetos teóricos relacionados com o tema fiabilidade.

2.1 Pesquisa bibliográfica

A pesquisa bibliográfica foi realizada nas bases de dados do *ScienceDirect*, *Research Gate* e *Web of Science* (WoS), numa janela temporal compreendida entre 4 de novembro de 2021 e 20 de Janeiro de 2022. A maior parte dos artigos considerados foram publicados após 2010, existindo alguns casos de exceção, devido à qualidade dos mesmos.

Os critérios utilizados para identificar os artigos mais relevantes para este relatório foram:

- Tipo de publicação;
- Ano;
- Número de citações (*Research Gate e ScienceDirect*) e/ou H-Index (WoS);
- Palavras-chave.

O *H-Index* é um indicador que une o número de publicações e o número de citações num único indicador (Gaviria-Marin et al., 2019).

As palavras-chave inseridas no campo de pesquisa do presente relatório foram as seguintes:

- *Maintenance*;
- *Maintenance, Reliability*;
- *Maintenance, Reliability e Reliability Centred Maintenance*.

Para o mapeamento referente ao material bibliográfico foi utilizado o *software* VOSViewer. Este *software* permite a visualização de resultados de redes bibliométricas, com base em indicadores como a citação, acoplamento bibliográfico, co-citação e a co-ocorrência (van Eck & Waltman, 2010) .

A primeira análise bibliométrica realizou-se a partir do cluster “Maintenance”. A Figura 8 mostra a rede obtida. Os temas mais relacionados com a palavra “Maintenance” são “reliability”, “management”, “analysis” e “company”, sendo que os temas “reliability” e “company” integram o mesmo cluster do tema “Maintenance”. Os termos “engineer”, “maintainability” e “profitability” integram também o cluster do tema “Maintenance”.

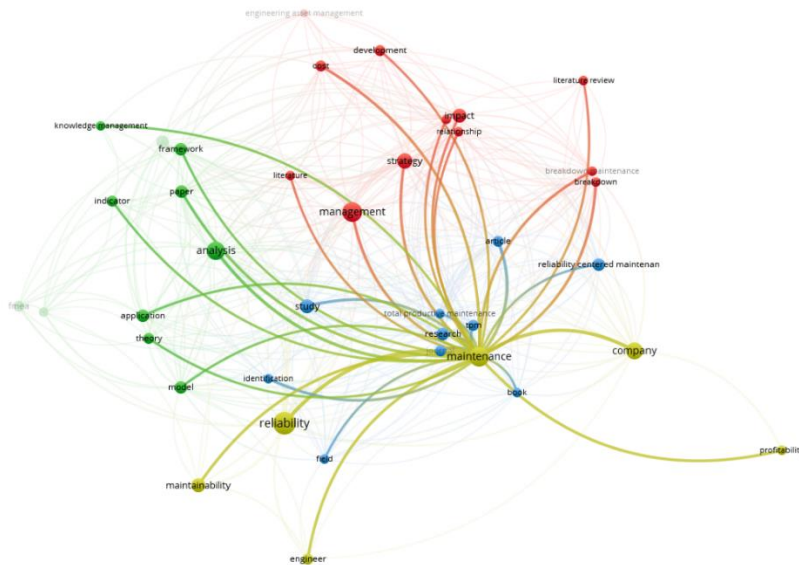


Figura 8 - Cluster referente a palavra-chave "Maintenance" (Fonte Própria)

A segunda análise bibliométrica realizou-se a partir do cluster “Reliability”. A rede obtida é ilustrada na Figura 9. Os temas mais relacionados com a palavra “reliability” são “maintenance”, “management”, “analysis” e “company”, como já era esperado.

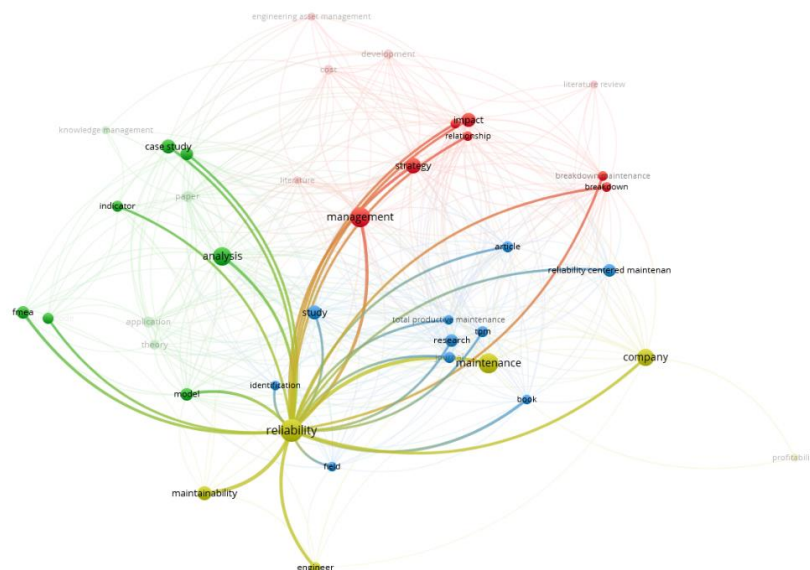


Figura 9 - Cluster referente a palavra-chave "Reliability" (Fonte Própria)

Entre os dez tópicos mais mencionados, encontram-se: “Reliability”, “Maintenance”, “Management”, “Reliability Centred Maintenance”, “Research”, “Strategy”, “Breakdown Maintenance”, “Competiveness”, “Case Study” e “Fmed”. É importante notar que os tópicos “Reliability” e “Maintenance” encontram-se no mesmo *cluster* e estão fortemente relacionados. Neste *cluster* estão também os tópicos “company”, “engineer”, “profitability”.

Na literatura relacionada com a Fiabilidade e Manutenção é possível encontrar vários trabalhos. A revisão levada a cabo teve como principal objetivo analisar outros trabalhos dentro da área de estudo, de forma a conhecer os resultados desses projetos, tornando-se, de certa forma, um guia para o projeto que irá ser realizado. A Tabela 2, mostra um resumo de alguns trabalhos consultados sobre o tema em estudo, os mesmos foram dispostos conforme por ordem de relevância científica do artigo.

Tabela 2 - Resumo de artigos realizados nas diversas áreas abordadas durante o relatório

Referências Bibliográficas	Descrição do Trabalho
(van Eck & Waltman, 2010)	Os autores Eck & Waltman (2010) apresentam o <i>VOSviewer</i> , um programa informático que permite a construção e visualização de mapas bibliométricos. O documento é composto por três partes. Na primeira parte é fornecida uma visão geral da funcionalidade do <i>VOSviewer</i> para a exibição de mapas bibliométricos. Na segunda parte é discutida a implementação técnica de partes específicas do programa. Na terceira parte é demonstrada a capacidade do <i>VOSviewer</i> através da utilização do programa para construir e exibir um mapa de co-citação de cerca de 5000 revistas científicas.
(Afefy, 2010)	Este artigo descreve a aplicação de uma metodologia de Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM) no desenvolvimento de um plano de manutenção para um fabricante de caldeiras a vapor. A aplicação da metodologia de RCM mostrou que o principal tempo entre falhas dos equipamentos da instalação e a probabilidade de falhas súbitas dos equipamentos foi reduzido.
(Martins et al., 2020)	Este artigo trata da aplicação de um conjunto de métodos e filosofias para melhorar a Manutenção

Preventiva, numa empresa dedicada ao desenvolvimento, produção e manutenção de transformadores de potência. Após a identificação dos principais problemas, foi aplicada uma estratégia de manutenção mista, baseada na RCM e na Manutenção Produtiva Total (TPM). Assim, a principal contribuição deste trabalho foi a de mostrar que a reunião de diferentes ferramentas de forma organizada e a partilha de informação e responsabilidades com os trabalhadores pode resultar em poupanças importantes para a empresa, tornando a função de manutenção mais eficaz.

(Peter Poor et al., 2019)

O principal objetivo deste artigo é expor as mudanças nas estratégias de gestão da manutenção no contexto de revoluções industriais. Ao longo da uma revisão bibliográfica, o artigo resume as características de cada revolução industrial.

(Azid et al., 2019)

Neste artigo, o autor estuda o conceito TPM e RCM e as suas relações. O resultado do estudo mostra que o TPM começou nos anos 70, enquanto o RCM começou nos anos 60. As bases de fundação dos mesmos, iniciaram-se nos anos 50, com a *Breakdown Maintenance*. O TPM trata, basicamente, da eliminação de falhas através de atividades do dia-a-dia, envolvendo todo o trabalho de força, enquanto o conceito de RCM é melhorar a fiabilidade do equipamento. O objetivo do TPM é conseguir zero avarias, zero defeitos e zero acidentes, enquanto o do RCM é preservar as funções. Embora ambos estejam a utilizar ferramentas diferentes, ambos estão ligados entre si através da ferramenta *Lean* e podem aumentar a qualidade do produto, a fiabilidade do equipamento, aumentar a segurança e aumentar o lucro.

(Achamu et al., 2018)

O principal objetivo deste estudo foi a melhoria da Eficácia Global do Equipamento numa empresa têxtil de Bahirdar, através da implementação do sistema integrado de TPM com a RCM.

O estudo visa, inicialmente, entrevistas, revisão de documentação e registos históricos, observação direta e participativa. Foram utilizados como métodos de recolha de dados durante a investigação para identificar os principais problemas e áreas problemáticas da empresa e concluiu, incondicionalmente, que a elevada taxa de falhas não planeadas e a perda do desempenho existem na empresa. O estudo salienta como combinar a RCM com a implementação e execução das diferentes Manutenções Produtivas Totais, para melhorar a atenção global do equipamento.

(Demir et al., 2016)

Este artigo enfatiza a importância da fiabilidade para os circuitos eletrónicos de potência e apresenta os testes necessários. Como estudo de caso, é discutido o cálculo do ponto de fusão dos fusíveis. Deste modo, o autor apresenta também o cálculo do ponto de fusão do fusível por energia de arranque e a determinação da elegibilidade para melhorar a fiabilidade do circuito do condutor conduzido. O conjunto de testes foi concebido como estudo de caso.

(Maletič et al., 2014)

Através da análise da relação entre as dimensões de orientação da gestão da qualidade, foram retirados a partir de dados de uma amostra de organizações eslovenas com o intuito de abordar a Manutenção e Gestão. Os resultados indicam que a orientação da gestão da qualidade é um importante fator de previsão do desempenho da manutenção. Os resultados da análise de dados mostram também que as dimensões de orientação da gestão da qualidade estão positivamente relacionadas com o desempenho da manutenção.

(Shafiee & Sørensen, 2019)

Através da recolha de dados sobre métodos de estratégias de manutenção, este artigo pretende otimizar as decisões de manutenção e os procedimentos de inspeção em parques eólicos. A conceção de programas de inspeções e manutenções

rentáveis para parques eólicos, é uma tarefa complexa, que envolve um elevado grau de incerteza, devido à diversidade de ativos e aos seus correspondentes modos de falha. Também é influenciada pelas condições de transporte dependentes do tempo, procura imprevisível de peças sobressalentes, espaço insuficiente ou fraca acessibilidade para manutenção e reparação.

2.2 A importância da manutenção e sua gestão

A manutenção e a gestão de bens são processos empresariais fundamentais para garantir a disponibilidade de ativos físicos a um risco e custo mínimos, equilibrando, ao mesmo tempo, os interesses de várias partes participantes.

A gestão de ativos desempenha um papel potencialmente significativo na indústria de produção, controlando o ciclo de vida dos ativos, desde o conceito até à eliminação. Tam e Price (2008), por exemplo, abordam a relação entre estas dimensões de decisão empresarial dentro de um quadro genérico de gestão de ativos. A natureza das atividades do sistema de gestão de ativos de engenharia requer um envolvimento interdisciplinar ou colaborativo dentro de uma organização.

Nesta perspetiva, a gestão da manutenção e dos seus ativos foi definida como um sistema de gestão que planeia e controla as atividades relacionadas com os ativos e as suas relações, de forma a assegurar que os mesmos cumprem com os requisitos da estratégia competitiva pretendida da organização (El-Akruti et al., 2013).

Para alcançar a excelência operacional, é necessária a interoperabilidade interempresarial dos sistemas para apoiar a gestão da informação e a integração entre várias partes envolvidas (Frolov et al., 2010).

A estratégia de manutenção pode ser influenciada tanto por fatores internos, como externos, e deve estar alinhada com o objetivo geral da empresa. A combinação de técnicas de gestão e as decisões administrativas são de importância primordial para estabelecer uma estratégia de manutenção adequada. Deste modo, para um aumento do tempo de vida dos equipamentos e a disponibilidades dos mesmos, a manutenção surge como uma das principais atividades necessárias a ser considerada para o efeito (Martins et al., 2020).

2.2.1 Definição de Manutenção

Segundo a norma NP EN 13306 (2007), a manutenção é definida como:

"a combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão durante o ciclo de vida de um produto destinado a retê-lo, ou a restaurá-lo num estado em que possa executar uma função necessária".

Contudo, a definição de manutenção não é um conceito universal, diferindo de autor para autor. Por exemplo, segundo Aju Kumar et al. (2019), a manutenção é um conjunto de ações que devem ser efetuadas de forma a devolver ao equipamento condições de trabalho que lhe permitam desempenhar todas as funções a que se destina (Aju kumar et al., 2019).

Em suma, e sem perda de generalidade, a manutenção pode ser definida como um conjunto de ações direcionadas com o intuito de garantir o bom funcionamento dos equipamentos e instalações, de maneira a garantir a estabilidade da produção, nas melhores condições de qualidade, segurança, fiabilidade e disponibilidade, com o mínimo de custos totais.

2.2.2 História e evolução da Manutenção

Todas as organizações, seja com ou sem fins lucrativos, indústria ou serviços, têm ativos que utilizam para alcançar os seus objetivos. Para que esses ativos possam desempenhar adequadamente as funções para as quais foram adquiridos, necessitam de ser mantidos ou repostos nas condições adequadas para o fazer. O papel da manutenção é assegurar que os ativos estão em condições de desempenhar as funções que se pretende que desempenhem (Higgins & Liu, 2018).

Até à década de 1940, a manutenção era considerada apenas como um mal necessário e que resultava num custo inevitável, a única manutenção que ocorria era a Manutenção Corretiva (CM) (Peter Poor et al., 2019).

De acordo com Pham (2003), a evolução da investigação operacional, as suas aplicações durante a Segunda Guerra Mundial e a subsequente utilização na indústria, levaram à utilização generalizada da Manutenção Preventiva (PM) (Pham, 2003).

Desde os anos 50 que os modelos de investigação operacional para a manutenção têm aparecido a um ritmo cada vez maior. Nessa altura o impacto das ações de manutenção no desempenho empresarial ainda não tinham sido abordados, portanto a manutenção era vista apenas, como uma questão técnica (Waeyenbergh & Pintelon, 2002). Nos anos 70, a manutenção já não era vista como uma função isolada, e havia alguns esforços de integração com outras funções na empresa, uma vez que a manutenção era agora vista como um contribuinte de lucro (Waeyenbergh & Pintelon, 2002)

Algumas novas abordagens surgiram, tais como a Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM), onde a ligação entre fiabilidade e manutenção é reconhecida. No âmbito da abordagem RCM, a manutenção é realizada a nível de componentes. Ao mesmo tempo, os japoneses desenvolveram a Manutenção Produtiva Total (TPM) no contexto do fabrico. Neste última política, a manutenção é vista em termos do seu impacto no fabrico, através do seu efeito na disponibilidade de equipamento, taxa de produção e qualidade de produção (Peter Poor et al., 2019).

Tanto o RCM como o TPM são atualizações dos últimos modelos de pesquisa de operações para PM (Azid et al., 2019).

A evolução do papel da manutenção industrial é uma consequência da mudança de paradigma trazida pelo desenvolvimento tecnológico e empresarial. A manutenção de máquinas e equipamentos era, antes, considerada como um mal necessário, ou seja, era uma parte inevitável do processo produtivo e das instalações que envolvia reparações e substituições de peças em caso de falhas/avarias. Atualmente, a manutenção é vista como sendo uma estratégia importante para o desenvolvimento de negócios e possui um impacto financeiro significativo dentro das organizações (Achamu et al., 2018).

2.2.3 Tipos de Manutenção

Quanto aos tipos de manutenção, existem diversas designações. Segundo Mobley (2002), a manutenção divide-se em duas partes, sendo elas a manutenção preventiva e a manutenção corretiva. A manutenção preventiva divide-se, por sua vez, em manutenção sistemática e manutenção preditiva. Na Figura 12 apresentam-se as ramificações de Mobley (Mobley, 2002).

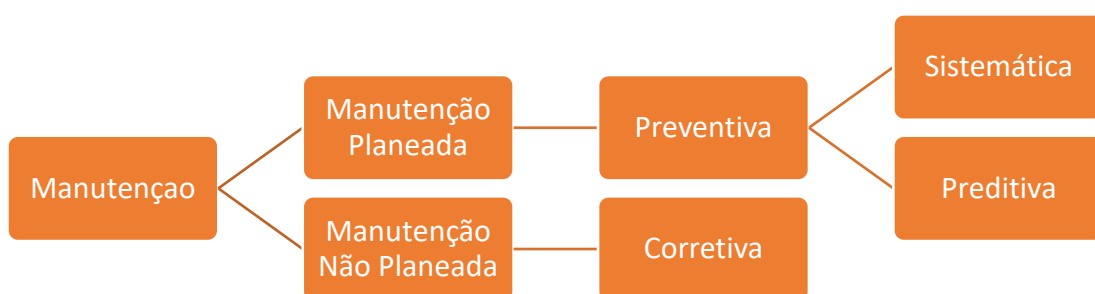


Figura 12 - Tipos de Manutenção (Adaptado (Mobley, 2002))

A Tabela 3, enumera os principais tipos de manutenção descritos na literatura e resume, sucintamente, o propósito de cada um.

Tabela 3 - Definição de Tipos de Manutenção

Tipo de Manutenção	Definição
Manutenção Preventiva	A manutenção preventiva, consiste em ações de manutenção planeadas, com o objetivo de prevenir as avarias e manter o equipamento em funcionamento, prolongado a vida do equipamento e evitando paragens inesperadas do mesmo. Baseia-se na estimativa que o equipamento poderá falhar num determinado período de tempo (Ahuja & Khamba, 2008).
Manutenção Corretiva	De acordo com a norma NP EN 13306:2017, a manutenção corretiva é uma ação reativa, efetuada após a ocorrência de uma avaria. Tem como objetivo a reposição de um equipamento para um estado em que o mesmo possa desempenhar a sua função. Como as avarias são ocorrem em momentos inesperados, este tipo de manutenção não é planeado.
Manutenção Preventiva Sistemática	Este tipo de manutenção é realizado em intervalo de tempos fixos e quando estamos perante falhas que não se conseguem identificar com antecedência, tendo como objetivo a minimização das mesmas. (Mobley, 2002).
Manutenção Preventiva Preditiva	Este tipo de intervenção é realizada para prever as falhas que possam acontecer através da análise de dados de operação do equipamento (Mobley, 2002).

2.2.4 Níveis de Manutenção

A preservação de equipamento através da manutenção, requer que o conhecimento do operador ou técnico seja assegurada através das competências dos mesmos.

Segundo a norma EN 13306:2017, existem 5 níveis, cada um destes corresponde ao grau de complexidade da operação de manutenção a ser realizada, bem como ao nível de especialização necessário e à importância dos recursos, tais como ferramentas, tecnologia e espaço a serem implementados.

A tabela seguinte, enumera os diferentes níveis de manutenção descritos na literatura e resume, sucintamente, a tarefa e o responsável pelos mesmos.

Tabela 4 - Níveis de Manutenção

Nível	Tarefa	Responsável
1.º	Ações simples necessárias para a operação e efetuadas em componentes facilmente acessíveis ou de forma segura	Operador
2.º	Ações que requerem procedimentos simples e/ou ferramentas auxiliares	Operador ou Técnico
3.º	Operações que requerem procedimentos complexos e/ou equipamentos de suporte portáteis, que necessitam de uma operação complexa previstos nas instruções de manutenção.	Técnico
4.º	Operações cujos procedimentos envolvem o domínio de uma técnica ou tecnologia específica e/ou o uso de equipamento de suporte especializado.	Técnico especializado
5.º	Operações cujos procedimentos envolvem <i>know-how</i> , utilizando técnicas ou tecnologias específicas, processo e/ou equipamentos de suporte industrial.	Técnico especializado ou fabricante

2.2.5 Indicadores da Manutenção

Os indicadores de desempenho¹ são uma das principais formas de medir os resultados da aplicação de ações de manutenção, estes são deveras importantes para os gestores

¹ Key performance indicator (KPI), na literatura em Inglês.

de manutenção, dado que permitem de uma forma rápida, avaliar o desempenho de equipas, processos e equipamentos.

Existem vários indicadores de desempenho, e a questão é saber quais são os mais importantes para não perder tempo a seguir aqueles que não são muito relevantes.

Esta seleção é conseguida através de uma análise minuciosa e não deve ser feita de uma forma isolada, ou seja, deve ser o resultado da relação do departamento de manutenção com outros setores de uma organização (Muchiri et al., 2011) .

Algumas das medidas de desempenho de manutenção mais frequentemente utilizadas são: Tempo médio entre falhas (MTBF), Tempo médio de reparação (MTTR), Disponibilidade (D), Taxa de Falha (λ) e Fiabilidade (Zhao et al., 2010).

Na Tabela 5, encontram-se listados os principais indicadores de manutenção.

Tabela 5 - Indicadores de Manutenção

Indicadores de Manutenção	Descrição
Tempo médio entre falhas (MTBF)	Trata-se de um dos indicadores mais importantes para o sector da manutenção. Consiste em medir o tempo médio total de bom funcionamento entre as falhas de um equipamento reparável, tornando-se uma grande ferramenta para medir a fiabilidade da máquina.
Tempo médio de reparação (MTTR)	Este indicador está ligado à facilidade que uma equipa de manutenção encontra na substituição do equipamento em condições de desempenhar as suas funções após uma falha. Entre outras palavras, <i>este</i> indicador de desempenhos indica o tempo médio para a reparação.
Disponibilidade (D)	“Probabilidade” de um recurso estar pronto a usar, num certo ambiente.
Taxa de falha (λ)	É a probabilidade de um item falhar no intervalo de tempo pequeno, sabendo que estava operacional no início desse intervalo.
Fiabilidade	Probabilidade de um equipamento desempenhar as suas funções, sob certas condições, num determinado período.

2.3 Fiabilidade

Neste subcapítulo são apresentados conceitos associados à fiabilidade e a sua aplicação em sistemas de engenharia modernos. Não se trata de uma descrição profunda, mas de uma descrição que permita o entendimento deste documento sem necessidade de recorrer a documentação auxiliar. Para além dos requisitos de fiabilidade, a análise de segurança durante o funcionamento de um equipamento é normalmente executada com base em conceitos e técnicas de análise de risco, tais como, análise quantitativa de risco, análise de árvore de falhas, e análise de modo de falha e efeitos, que são examinados neste capítulo. Finalmente, os tópicos de manutenção são discutidos em pormenor, incluindo, tanto a manutenção corretiva, como a manutenção preventiva, uma vez que os sistemas de engenharia modernos devem confiar em ações de manutenção para apoiar o seu desempenho durante toda a sua vida operacional.

2.3.1 Definição de Fiabilidade

A fiabilidade é definida como a capacidade de um item executar uma função solicitada, sem falhas, durante um determinado intervalo de tempo (Jardine & Tsang, 2005).

A fiabilidade está interessada em quanto tempo qualquer bem, componente ou sistema, funciona verdadeiramente, sem erros. (Demir et al., 2016). Está também intrinsecamente associada à incerteza, que também representa um desafio no planeamento da manutenção, onde a flexibilidade deve ser permitida para acomodar imprevistos falhas (Hidirov & Guler, 2019).

2.3.2 Fiabilidade e Manutenção

A gestão da manutenção de equipamentos industriais é uma função importante, mas ainda relativamente negligenciada. Os benefícios da manutenção baseada no estado e na previsão são óbvios, uma vez que a realização da manutenção, quando uma potencial falha se aproxima, utiliza melhor a vida útil remanescente da unidade de equipamento. Quando se podem prever falhas, as paragens podem ser planeadas com a menor perturbação possível da operação e os danos colaterais devidos a falhas podem ser evitados. Se as atividades de manutenção forem executadas com demasiada frequência, a fiabilidade melhorará, mas, o custo da manutenção pode potencialmente aumentar para níveis insatisfatórios (Shafiee & Sørensen, 2019). Por este motivo, encontrar o custo ótimo para as operações de inspeção e manutenção requer um equilíbrio entre os objetivos de fiabilidade e o custo para atingir esses objetivos.

Não é possível, no entanto, ou tecnicamente viável, uma manutenção baseada em condições e previsão para todo o equipamento ou partes do mesmo. Nem todas as

falhas têm indicadores mensuráveis e algumas falhas progridem tão rapidamente que a detecção de falhas não é praticamente viável (Pintelon & Gelders, 1992).

As tarefas preventivas do sistema de máquinas reduzirão a probabilidade da ocorrência de uma falha, mas geralmente, não têm impacto nas consequências das falhas (Yavuz et al., 2019). Desta forma, a equipa de manutenção realizará intervenções atempadas para a sustentabilidade da função do equipamento.

Deste modo, a utilização de fiabilidade em manutenção, pode contribuir para a criação de planos de manutenção assertivos, sendo um recurso importante na mesma.

2.3.3 Tipologia de causas de falha

A falha é, muitas vezes, definida como a cessação de funcionamento ou, mais frequentemente, degradação de um parâmetro de funcionamento até um nível considerado insatisfatório.

Existem, essencialmente, dois tipos de falha em meio industrial: (1) a falha imprevisível; (2) a falha previsível. Falhas imprevisíveis são aquelas que ocorrem de forma súbita e são normalmente denominadas de “falhas catastróficas”. As falhas previsíveis ocorrem de forma lenta e progressiva e são denominadas de “falhas por degradação” ou “falhas por deriva” (Assis, 2010).

Segundo Assis (2010), existem diversos fatores que podem estar na causa-raiz da falha de um equipamento. É possível classificar as falhas como indicado na Tabela 6 (Assis, 2010).

Tabela 6 - Tipos de Falha

Tipo de Falhas	Descrição
Falhas funcionais	Ultrapassagem de limites mínimos ou máximos previamente especificados para a função de um equipamento.
Avaria	Estado de um ativo físico, após a falha e antes de ser repostado.
Funcionamento degradado	Muitas falhas de função não implicam necessariamente a paragem do equipamento, podendo continuar em funcionamento degradado até surgir a oportunidade de corrigir.

Falhas potenciais

Condição física identificável, que inicia a proximidade de uma falha.

Falhas ocultas

Falhas presentes em equipamentos que não estão a desempenhar uma função e que apenas são detetadas através de inspeções.

2.3.4 Análise de risco de falha (*Hazard Analysis*)

A análise de risco de falha é uma técnica que tem como objetivo encontrar formas de minimizar a possibilidade de perdas ou dano do sistema, de acordo com Basu (2012), o processo engloba cinco passos. Os passos encontram-se descritos na Figura 13 (Basu, 2012).

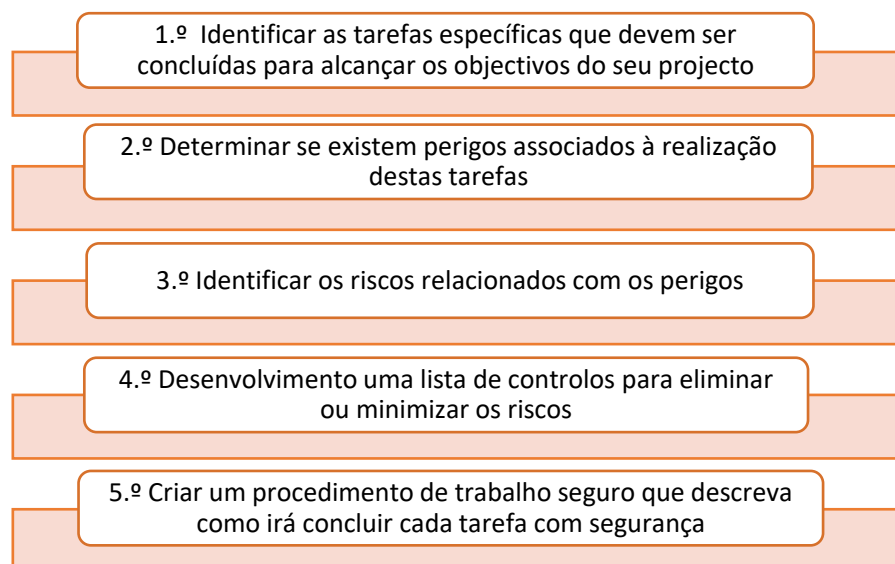


Figura 13 - Etapas de uma análise de risco de falha (Adaptado (Basu, 2012))

2.3.5 Análise de modos e efeitos de falha (FMEA)

A Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA) é uma ferramenta qualitativa e sistemática que serve para identificar como um produto ou um processo pode falhar. A utilização desta ferramenta também ajuda a encontrar as possíveis causas de falhas e a probabilidade de as falhas serem detetadas antes da sua ocorrência.

Muitas vezes, as falhas são detetadas através de testes extensivos e modelação preditiva nas fases posteriores ao desenvolvimento. O desafio é conceber em qualidade e

fiabilidade no início do processo e garantir que os defeitos nunca surjam em primeiro lugar (Zhou & Tang, 2018).

A ferramenta FMEA atribui um valor numérico, de uma forma qualitativa, a cada risco associado a um tipo de problema, tendo em conta os fatores como a gravidade do problema (G), a probabilidade de ocorrência (O) e a probabilidade de deteção da falha (D), produzindo, posteriormente indicadores sobre a prioridade das ações necessárias para contrariar ou evitar estas falhas (Zhou & Tang, 2018).

A prioridade do risco é determinada pelo *Risk Priority Number* (RPN) dado pelo produto dos três fatores de risco descritos anteriormente, e que pode ser expresso por (1):

$$RPN = G \times O \times D \quad (1)$$

Quanto maior for o valor do RPN, maior é o risco de falha. Os componentes com valores elevados de RPN devem ser alvo de atenção de forma a evitar que os mesmos fiquem comprometidos (Smith, 2011).

Segundo Subriadi & Najwa (2020) a implementação da ferramenta FMEA baseia-se em sete etapas, conforme podemos verificar na Figura 14 (Subriadi & Najwa, 2020).

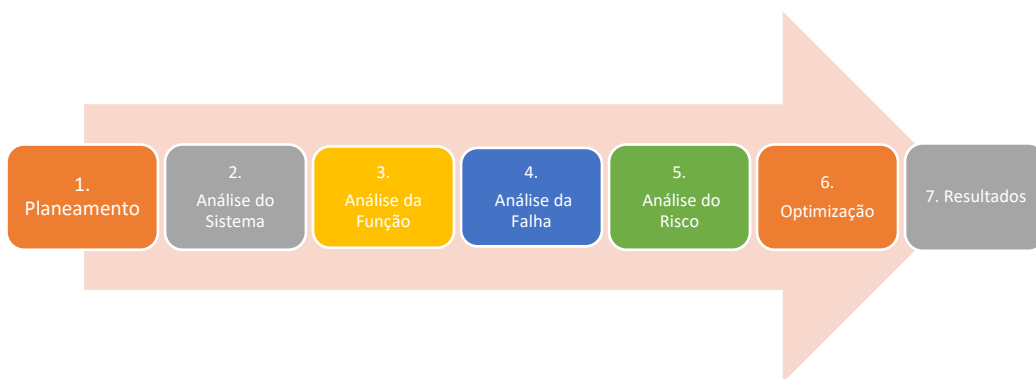


Figura 14 - Etapas de implementação de um FMEA (Subriadi & Najwa, 2020)

A tabela seguinte mostra uma descrição de cada etapa da implementação da ferramenta FMEA.

Tabela 7 - Descrição das Etapas de Implementação de um FMEA

Etapa	Descrição
1. Planeamento	O estudo inicia-se com uma definição objetiva e cuidadosa do planeamento.
2. Análise do Sistema	A Análise do Sistema utiliza os parâmetros de análise estabelecidos na etapa anterior para

	identificar cada componente do sistema ou equipamento.
	Pense na etapa de Análise de Funções como explorando o que o produto deve estar a fazer e como essa funcionalidade é facilitada.
3. Análise da Função	Utilizando a Análise do Sistema, desenvolvida na etapa 2, cada elemento é analisado separadamente em termos da sua função e do requisito correspondente.
4. Análise da Falha	Nesta etapa, devem ser analisados, os modos de falha, os efeitos de falha e as causas da mesma.
	A Gravidade, Ocorrência e Detecção de cada cadeia de falha são avaliadas nesta etapa.
5. Análise do Risco	Este tipo de análise estabelece um nível de prioridade de ação necessário para reduzir o risco de o sistema não funcionar como pretendido.
6. Otimização	O principal objetivo desta etapa é o desenvolvimento de ações que diminuam o risco e otimizem o sistema.
7. Resultados	Após a implementação do estudo FMEA, todos os resultados devem ser devidamente documentados.

A ferramenta FMEA tem muitas vantagens, é simples de utilizar, poupa tempo e é altamente eficaz na identificação de falhas que podem ocorrer num sistema, permitindo, ainda, identificar os seus efeitos e consequências (Mzougui & Felsoufi, 2019).

2.3.6 Cálculo de Fiabilidade

A fiabilidade é a probabilidade de que um sistema funcionará corretamente, durante um determinado período de tempo t , sendo representada por $R(t)$ (Woo, 2020). É possível para representar a função de fiabilidade pela fórmula da equação (2):

$$R(t) = 1 - F(t), \quad t > 0 \quad (2)$$

em que $F(t)$ é a probabilidade do sistema falhar antes do período de tempo t e que se relaciona com a função densidade de probabilidade da variável aleatória T , que representa o tempo até à falha, $f(t)$, através da expressão apresentada em (3).

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (3)$$

A função de fiabilidade pode também representar-se pela expressão seguinte:

$$R(t) = P(T > t) = \int_t^{\infty} f(u)du, \quad t > 0 \quad (4)$$

2.3.7 Função de risco

A identificação da taxa instantânea de falha ou função de risco é essencial para a quantificação da fiabilidade (Li et al., 2020). Esta taxa pode ser expressa pela equação (5) (Ebeling, 2004):

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \frac{f(t)}{R(t)}, \quad t > 0 \quad (5)$$

Para Δt pequeno $\Delta t \times f(\xi)/R(t) \approx \Delta t \times \lambda(t)$, portanto $\Delta t \times \lambda(t)$ representa a proporção de peças que falharão entre t e $t + \Delta t$, dentre aquelas que estavam em funcionamento no instante t (Ramos, 2021).

No caso de monotonia, esta função apresenta três formas típicas: (1) crescente, (2) decrescente; (3) constante. Na Figura 15, pode-se verificar o comportamento das mesmas.

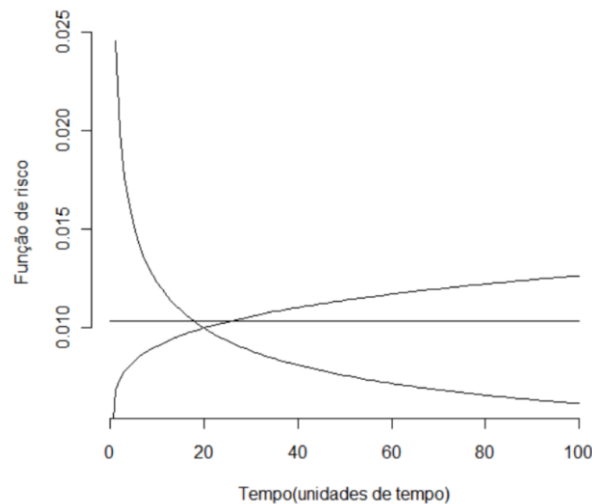


Figura 15 - Gráfico da Função de Risco (Ramos, 2021)

Tabela 8 - Descrição dos riscos em função do tipo de Função de Risco

Tipo de Função	Descrição do Risco
$\lambda(t)$ crescente	O risco de falha aumenta com o passar do tempo
$\lambda(t)$ constante	O risco não se altera com o passar do tempo
$\lambda(t)$ decrescente	O risco diminui à medida que o tempo passa

2.3.8 Curva da Banheira

A curva da banheira descreve o comportamento da função de risco tendo em conta as três formas monótonas assinadas acima, consistindo numa taxa de falha decrescente, seguida por uma função constante e posteriormente uma função crescente da Função de Risco (Dhillon, 2006). A Figura 16 ilustra um exemplo da curva da banheira.

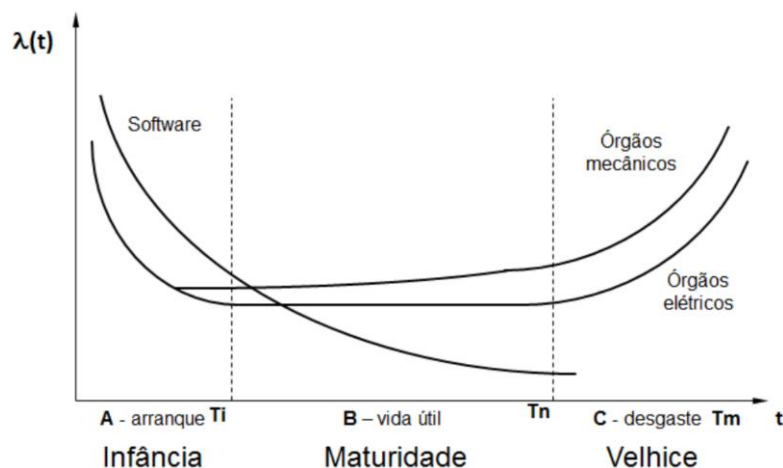


Figura 16 - Curva da Banheira (Ramos, 2021)

É possível observar uma elevada taxa de falha no início do tempo de vida do produto, que diminui com o tempo. Esta fase é chamada fase de infância ou arranque e a elevada taxa de falha deve-se a várias causas, tais como, conceção incorreta e defeitos de fabrico. Uma solução para reduzir o impacto desta fase é conceber adequadamente cada produto e realizar testes de stress nas primeiras fases iniciais de desenvolvimento, para avaliar e descobrir problemas específicos de produção (Sifonte & Reyes-Picknell, 2017).

Após a primeira fase, o equipamento entra no chamado período de maturidade ou vida útil. Esta fase é caracterizada por uma pequena e constante taxa de risco onde a principal fonte de avarias é o acaso, ou seja, as falhas podem ocorrer devido a causas

imprevisíveis (Ebeling, 2004). No final da vida útil, devido ao envelhecimento do equipamento, à carga cíclica, entre a outras razões, o sistema passa por uma fase de desgaste, onde manifesta uma taxa de risco crescente que culmina com a avaria do sistema (Ebeling, 2004).

As descrições das causas prováveis das três distribuições são descritas na Tabela 9 (Kosky et al., 2013).

Tabela 9 - Tipos de Falhas e causas Prováveis

Tipo de Falha	Descrição das causas prováveis
Fase inicial ou arranque	Normalmente, relacionadas com o fabrico, por exemplo, soldaduras, juntas, ligações, sujidade, impurezas, fissuras, isolamento ou falhas de revestimento e ajustes ou posicionamentos incorretos.
Fase de vida útil	Normalmente, assume-se que são falhas relacionadas com o stress. Ou seja, flutuações aleatórias de stress que excedam a resistência dos componentes.
Fase de desgaste ou arranque	Devido à corrosão, oxidação, avaria do isolamento, desgaste por fricção, fadiga, etc.

Apesar da curva da banheira possuir a mesma tipologia para sistemas não reparáveis e sistemas reparáveis, não significa que sejam exatamente o mesmo para ambos. Nos sistemas não reparáveis, ela representa a flutuação da taxa de risco conforme a sua idade. Nos sistemas reparáveis, ela representa as falhas em função do tempo de vida útil (Woo, 2020).

2.3.9 Distribuições de probabilidades

Apesar de existir um vasto conjunto de distribuições de probabilidade com ampla aplicação na modelação do tempo até à falha, as distribuições mais utilizadas são a distribuição exponencial e a distribuição Weibull (Smith, 2011).

A distribuição exponencial é dos modelos mais simples. As principais características desta distribuição são:

- Função de risco constante - significa que os componentes não estão sujeitos a desgaste (O'Connor et al., 2019).

- Sem memória - por essa razão, um produto que tem estado a funcionar há muitas horas tem a mesma probabilidade de falha, do que um produto que só funcionou poucas horas.

Se T representar a duração até falhar, ou seja, T é uma variável aleatória (v.a.) contínua que toma todos os valores não negativos, T terá uma distribuição exponencial de parâmetro $\lambda > 0$ se e só se tiver uma taxa de falhas constante e igual a λ (Ramos, 2021). A função densidade de probabilidade é dada pela equação (6):

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, t > 0 \quad (6)$$

e a função de fiabilidade é dada pela equação (7)

$$R(t) = e^{-\lambda t}, t > 0 \quad (7)$$

O valor médio e o desvio padrão de uma variável exponencial é dada pelo inverso do parâmetro da distribuição.

Outra distribuição muito usada é a distribuição Weibull. Trata-se de uma distribuição versátil pois pode assumir várias formas e pode aproximar o comportamento de muitas outras distribuições de probabilidade (Kosky et al., 2013).

A distribuição de Weibull pode ser controlada por 2 ou 3 parâmetros (Weibull biparamétrica ou triparamétrica (Ramos, 2021), cuja descrição se encontra na tabela seguinte.

Tabela 10 - Tipos de Parâmetros na Distribuição de Weibull

Parâmetro	Fórmula	Descrição
Parâmetro de posição	τ	Período de vida garantida. Quando este parâmetro assume o valor 0, as falhas ocorrem desde a origem dos tempos e tem-se a distribuição de Weibull com 2 parâmetros. Não existem razões matemáticas que impeçam que este parâmetro seja negativo. Contudo, na maior parte das aplicações, $\tau \geq 0$.
Parâmetro de escala	$\eta > 0$	É o tempo abaixo do qual ocorrem, aproximadamente, 63% das falhas.
Parâmetro de forma	$\beta > 0$	Carateriza a forma da distribuição. Pode servir como indicador para um diagnóstico, pois os

valores deste parâmetro são característicos de um determinado tipo de avaria.

A v.a. T segue uma distribuição de Weibull com parâmetro de forma β ($\beta > 0$), parâmetro de escala η ($\eta > 0$) e parâmetro de posição τ , [$T \sim Weibull(\beta, \eta, \tau)$] se a sua função densidade de probabilidade for dada pela expressão (8):

$$f(t) = \left(\frac{\beta}{\eta}\right) \left(\frac{t-\tau}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\tau}{\eta}\right)^\beta}, t > 0 \quad (8)$$

A função de fiabilidade é dada por pela expressão (9) :

$$R(t) = \int_t^\infty f(u)du = e^{-\left(\frac{t-\tau}{\eta}\right)^\beta}, t > 0 \quad (9)$$

A função de risco é dada pela expressão (10):

$$R(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \left(\frac{\beta}{\eta}\right) \left[\frac{t-\tau}{\eta}\right]^{\beta-1}, t > 0 \quad (10)$$

A distribuição de Weibull é bastante usada e aplicada para estimar a vida útil restante dos componentes (Kapur & Pecht, 2014). As diferentes abordagens de distribuição Weibull foram estudadas durante um período de tempo considerável e aplicadas, revelando bons resultados na modelação do processo de falhas (Fidanoglu et al., 2017).

A distribuição normal, uma das mais populares em modelação estatística, tem também aplicação na modelação do tempo até à falha. Pode ser útil em situação em que o tempo se distribui de forma simétrica em torno do eixo que passa pelo tempo médio e onde há uma grande concentração de tempos em torno desse valor médio. A v.a. T segue uma distribuição de normal com média μ ($\mu > 0$) e desvio padrão σ ($\sigma > 0$) [$T \sim N(\mu, \sigma)$] se a sua função densidade de probabilidade for dada pela expressão seguinte:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2}, t > 0 \quad (11)$$

A função de fiabilidade é dada por pela expressão (12)

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right), t > 0, \quad (12)$$

onde $\Phi(t) = \int_0^t \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u^2}{2}} du$ representa a função distribuição de uma v.a. com distribuição normal de média 0 e desvio padrão 1.

É importante notar que o suporte da distribuição normal é o conjunto dos números reais, contudo como se está a tratar da v.a. tempo até à falha, esse suporte ficou, no contexto desta dissertação resumido ao conjunto dos números reais não negativos.

2.3.10 Fiabilidade de sistemas

É frequente existirem vários modos de falha num sistema com múltiplos componentes. As diferentes ligações entre os modos de falha podem formar sistemas em série, paralelos e mistos e outras configurações mais complexas. De acordo com a dependência temporal dos modos de falha, o sistema também pode ser categorizado como estático e dinâmico (De Carlo, 2013). A fiabilidade dinâmica enfatiza a avaliação da segurança da estrutura sob excitação aleatória. Os modos de falha também apresentam características dependentes no tempo, devido à degradação do desempenho da estrutura no ciclo de vida (Chen et al., 2022).

As configurações do sistema são frequentemente representadas graficamente, com diagramas de blocos, em que cada componente ou modo de falha é representado por um bloco e as ligações entre eles expressam a configuração e tipo de sistema (De Carlo, 2013). A Figura 17 contém um sistema de quatro componentes em série.

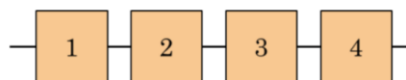


Figura 17 - Diagrama de bloco de um sistema de 4 componentes em série (De Carlo, 2013)

Um sistema em paralelo é uma configuração tal que, enquanto nem todos os componentes do sistema falharem, o sistema inteiro funciona. Conceptualmente, numa configuração paralela, a fiabilidade total do sistema é maior do que a fiabilidade de qualquer componente de um sistema (De Carlo, 2013). Uma representação gráfica de um sistema paralelo com 4 componentes é mostrada na Figura 18 .

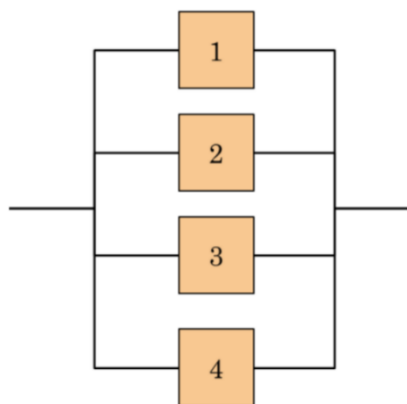


Figura 18 - Diagrama de bloco de um sistema de 4 componentes em paralelo (De Carlo, 2013)

Outra configuração comum dos componentes são os sistemas paralelos em série, os componentes são configurados utilizando combinações em série e configurações paralelas. A Figura 19 representa um exemplo para essa configuração.

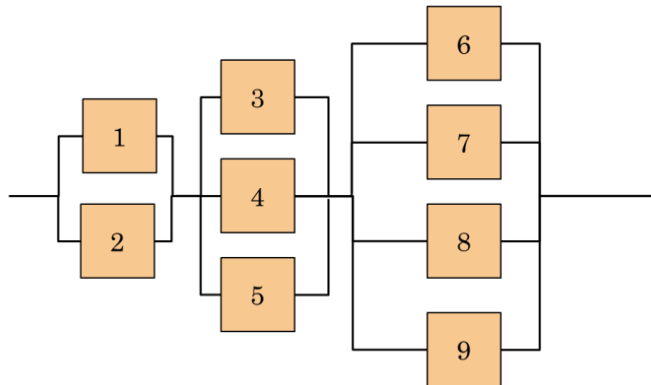


Figura 19 - Diagrama de bloco de um sistema de 9 componentes em paralelos em série (De Carlo, 2013)

Após examinar os componentes, o passo seguinte é o cálculo da fiabilidade de cada componente/modo de falha e o conseqüente cálculo da fiabilidade do sistema. Por vezes os sistemas são complexos e não podem ser modelados por variantes dos sistemas mostrados acima, pelo que é frequente recorrer a algoritmos próprios para o cálculo da fiabilidade dos sistemas (De Carlo, 2013).

2.4 Manutenção Centrada na Fiabilidade

2.4.1 Conceitos do RCM

A Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM) teve origem na indústria aeronáutica, na década de 1960, tendo mais tarde progredido para as indústrias militar, nuclear e petrolíferas (Igba et al., 2013; Márquez, 2007). A RCM é uma estratégia de manutenção que aplica as várias técnicas e fundamentos da manutenção corretiva, preventiva e proativa, com o intuito de aumentar a probabilidade de um equipamento funcionar de forma adequada durante todo o seu período de vida ao mínimo custo de manutenção. Estas principais estratégias de manutenção, em vez de serem aplicadas independentemente, são integradas para tirar partido dos seus respetivos pontos fortes, a fim de maximizar a fiabilidade das instalações e do equipamento, minimizando ao mesmo tempo os custos do ciclo de vida (Eriksen et al., 2021). Por outras palavras, RCM traduz-se num método de análise sistemático, que permite planear a manutenção preventiva de um sistema, com base na identificação dos seus modos de falha, estabelecendo prioridades levando em linha de conta a segurança e os custos de manutenção (Tang et al., 2017).

2.4.2 Procedimentos do RCM

A estrutura da RCM é mostrada na Figura 20, que ilustra os tipos de manutenção e a constituição das mesmas. Esta metodologia pode englobar a Manutenção Reativa, Preventiva, Preditiva e Proativa (Afefy, 2010).

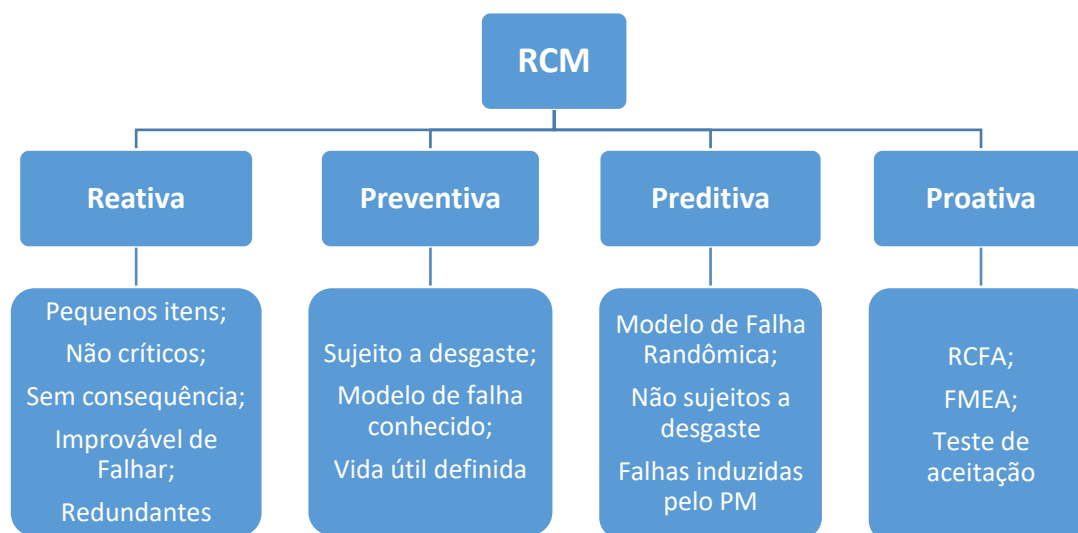


Figura 20 - Componentes de um programa RCM (Adaptado (Afefy, 2010))

Segundo o autor Afley (2010), a RCM é utilizada majoritariamente na manutenção preditiva, no entanto a mesma, também reconhece a utilização de outros tipos de manutenção. Na Tabela 11, apresenta-se a distribuição das mesmas em termos percentual (Afefy, 2010).

Tabela 11 - Percentagem de Tipo de Manutenção utilizado no RCM

Tipo de Manutenção	%
Manutenção Corretiva	<12
Manutenção Preventiva	23 a 35
Manutenção Preditiva	45 a 55

Na Tabela 12, descrevem-se os passos para a abordagem sistemática, normalmente utilizada para implementar a função de preservação de um sistema com base no RCM.

Tabela 12 - Etapas para Implementação de um RCM

Etapa	Função	Descrição da Função
Etapa 1	Seleção do sistema e recolha de dados	Inicialmente é necessário selecionar o tipo de sistema a ser analisado e alocar os recursos que irão ser precisos análise do FMEA.
Etapa 2	Definir Funções	Neste ponto, é necessário definir a função do equipamento selecionado. Deve-se saber como funciona, é essencial conhecer a função do sistema selecionado para que se possa adequar a melhor estratégia de manutenção para o mesmo.
Etapa 3	Determinar o tipo de falhas funcionais	Neste ponto, é necessário identificar diferentes formas pelas quais o equipamento e o sistema selecionados podem falhar. A definição de modos de falha deve ser um dos principais objetivos, para que se possa determinar formas de o preservar antes da sua ocorrência.
Etapa 4	Usar o FMEA	É essencial identificar de que maneira o falha afeta o sistema. Para isso, utiliza-se o FMEA para designar os tipos de modo de modos de falha, e, por conseguinte, as causas e seus efeitos da mesma.
Etapa 5	Escolha do tipo de manutenção utilizada	Este passo é crucial. A identificação da estratégia correta de manutenção é essencial para que o RCM seja bem executado.
Etapa 6	Implementar o plano de manutenção	Nesta fase, deve-se implementar o plano de manutenção identificado.
Etapa 7	Foco na melhoria contínua	RCM é um processo que requer melhoria e manutenção contínuas. Por conseguinte, após a implementação da estratégia de manutenção, é necessário revê-la e verificá-la regularmente.

Segundo J.P. Pinto (2013), para se conseguir utilizar os indicadores de forma correta, é necessário ter em conta vários aspetos, conforme descrito na Tabela 13 (Pinto, 2013).

Tabela 13 - Aspetos para utilização de indicadores de Manutenção

Aspetos	Descrição
Utilidade	Indicadores adequados às diversas situações
Clareza	Indicadores de fácil compreensão
Fidelidade	Resultados fidedignos para cada situação
Sensibilidade	Rápido ajuste dos indicadores consoante a situação
Unicidade	Apenas um indicador para cada situação
Hierarquização	Indicadores ajustados à área correspondente
Complementaridade	A atividade de manutenção deve ser coberta pelo conjunto dos indicadores

2.4.3 Vantagens e Desvantagens do RCM

A principal força por detrás da invenção da RCM é a necessidade de desenvolver uma estratégia de manutenção que possa abordar adequadamente a disponibilidade e segurança dos sistemas sem criar um requisito de custos totalmente impraticável. Os benefícios da RCM incluem o seguinte (Sifonte & Reyes-Picknell, 2017):

- Redução de custos através da eliminação de manutenção ou revisões desnecessárias;
- Redução da probabilidade de falhas súbitas do equipamento;
- Capacidade de concentrar as atividades de manutenção em componentes críticos.
- Aumento da fiabilidade dos componentes;
- Incorporação da análise da causa raiz.

Segundo os autores Sifonte & Reyes-Picknell, as desvantagens podem ser as seguintes (Sifonte & Reyes-Picknell, 2017):

- Pode ter um custo elevado de arranque, formação, equipamento, significativo;
- Potencial de poupança, que não é prontamente visto pela Gestão.

2.5 Análise crítica da Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica levada a cabo permitiu identificar critérios de seleção das ações de manutenção e quando estas devem ser realizadas com o objetivo de se delinear um quadro de estratégia de manutenção.

A RCM surge como a metodologia a ser estudada para uma possível melhoria da manutenção de um sistema óleo-hidráulico em centrais Hidroelétricas. Para uma correta implementação desta metodologia, é necessária a cooperação de todos os envolvidos, de forma a obter um bom conjunto de dados, nomeadamente, lista de defeitos, prováveis causas e ações de manutenção aplicadas.

ESTUDO PRÁTICO E ANÁLISE CRÍTICA

- 3.1 Apresentação da empresa fornecedora dos dados
- 3.2 Caracterização do problema
- 3.3 Descrição do equipamento a analisar
- 3.4 Recolha de dados
- 3.5 Análise dos dados
- 3.6 Análise FMEA
- 3.7 Análise de criticidade às posições funcionais
- 3.8 Execução da análise de fiabilidade
- 3.9 Programação dos Planos Preventivos

3 ESTUDO PRÁTICO E ANÁLISE CRÍTICA

Após a revisão bibliográfica e a consequente seleção da metodologia a seguir, este é o capítulo da implementação da mesma, aplicando as diversas ferramentas de análise e definindo os planos de manutenção de um subsistema de uma central hidroelétrica, da qual a organização Navipa é responsável pela manutenção.

A Figura 21, ilustra as etapas do trabalho prático, que iniciam com a recolha de dados e termina com uma proposta de planos de manutenção, passando por uma análise pormenorizada das avarias.

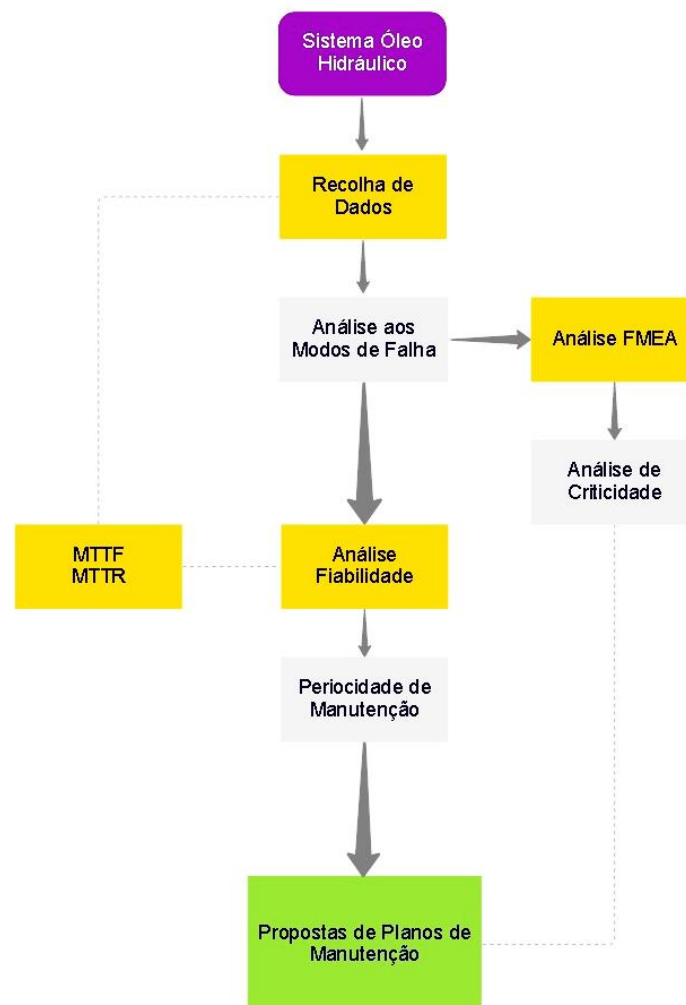


Figura 21 - Modelo de Investigação (Fonte Própria)

3.1 Apresentação da empresa fornecedora dos dados

Os dados usados nesta dissertação foram fornecidos pela empresa Navipa e encerram informação sobre avarias de um sistema óleo-hidráulicos de uma central hidroelétrica da qual a organização Navipa é responsável pela manutenção.

A Navipa, Equipamentos Industriais, Lda é uma empresa com sede social em Lisboa, sendo a delegação norte localizada na zona Industrial da Maia. Iniciou a sua atividade em 30 de junho de 1981 e opera em todo o território nacional e estrangeiro, atuando, essencialmente, nas seguintes áreas de negócio:

- Estudos, projetos e fornecimento de sistemas óleo-hidráulicos;
- Análise, transformação e redimensionamento de sistemas óleo-hidráulicos;
- Assistência técnica e manutenção em instalações Óleo-Hidraulicas;
- Fornecimento de componentes óleo-hidráulicos.

A Navipa destaca-se pelo fornecimento de diversos equipamentos e sistemas óleo-hidráulicos de média e alta pressão. Na Figura 22, está representada a árvore de produtos comercializados pela Navipa.

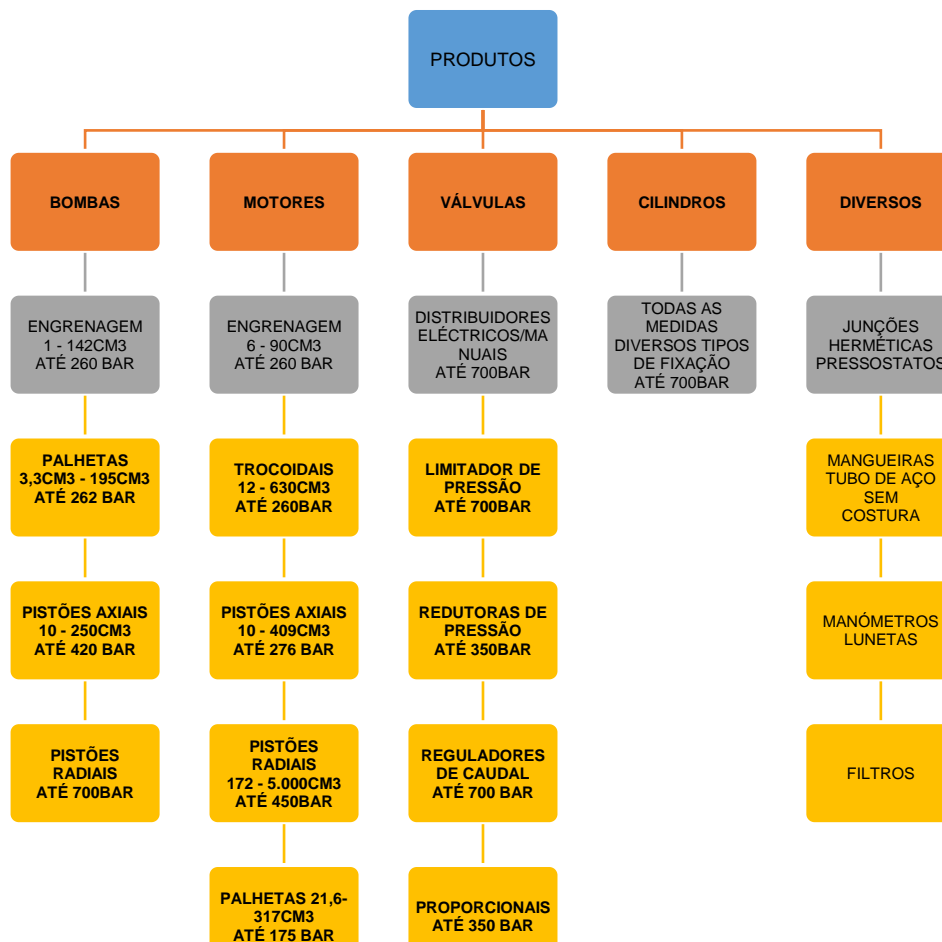


Figura 22 - Produtos comercializados pela Navipa (Fonte: Navipa)

A política de manutenção da Navipa, assenta, basicamente, num tipo de manutenção reativa, ou seja, uma manutenção corretiva, que é realizada apenas quando há uma falha ou avaria, não possuindo qualquer tipo de processo operativo definido.

3.2 Caracterização do problema

O equipamento analisado nesta dissertação faz parte de um contrato de manutenção onde a Navipa se compromete a prestar serviços de manutenção e assistência a esse e a outros equipamentos.

Conforme já referido, os serviços de manutenção prestados pela Navipa resumem-se a ações de manutenção corretiva. Esta opção está muito relacionada com o facto da empresa fornecedora dos equipamentos – a Sorefame - Sociedades Reunidas de Fabricações Metálicas – ter sido extinta em 2005, tendo o seu *know-how* desaparecido com esta extinção.

Tendo consciência de todos os inconvenientes da prática de uma manutenção corretiva, tanto a Navipa como a empresa cliente final, pretendem transitar para uma política de uma manutenção preventiva de forma a manter os equipamentos em corretas condições de funcionamento, contribuindo dessa forma para uma maior durabilidade e para um menor índice de avarias nos equipamentos.

A periodicidade de manutenção do equipamento é a principal diferença entre estes dois tipos de metodologias. Na manutenção corretiva, a operação só é feita quando há uma falha ou avaria, o que traz custos incontáveis para o cliente final, devido à impossibilidade de turbinar e também porque os equipamentos se encontram obsoletos, ou seja, não existem peças de substituição o que acarreta grandes custos sempre que existe uma avaria. Em contrapartida, na manutenção preventiva, como o nome indica, o equipamento possui planos de manutenção para evitar e prevenir as avarias mais complicadas, reduzindo assim o número de paragens.

Assim, numa perspetiva de maximização de recursos, otimização de processos e redução de custos relacionados com atividades de manutenção, entre outros, a Navipa, juntamente com o cliente final sentiu a necessidade de desenvolver um sistema de manutenção que se baseasse no histórico de falhas dos componentes e, desta forma, promover a fiabilidade e responder da melhor forma aos problemas acima descritos.

Numa primeira fase, na definição do plano de manutenção vai considerar-se que deverá haver lugar a intervenção sempre que a probabilidade de falha do sistema é de, pelo menos, 10%.

3.3 Descrição do equipamento a analisar

Um sistema hidráulico é um sistema onde a unidade energética é fonte de transformação de energia mecânica em energia hidráulica de alta pressão, necessária para operar os subsistemas hidráulicos de um sistema, tais como, acumuladores, motores hidráulicos, servomotores, etc.

Nas subsecções seguintes, será feita uma breve descrição dos equipamentos que serão alvo de estudo.

A energia elétrica, produzida através de uma central hidroelétrica, é uma das mais antigas e maiores fontes de energia renovável. Utiliza o fluxo natural da água em movimento para gerar eletricidade. As centrais hidroelétricas controlam a quantidade de água, através de sistemas hidráulicos, sendo assim possível manter a velocidade correta da turbina sob diferentes exigências de carga. A posição de abertura das grandes comportas de água é controlada por cilindros hidráulicos que são fornecidos em função da força que a água poderá fazer sobre os mesmos.

Os sistemas incluídos no equipamento óleo hidráulico da central em estudo são apresentados na Figura 23.

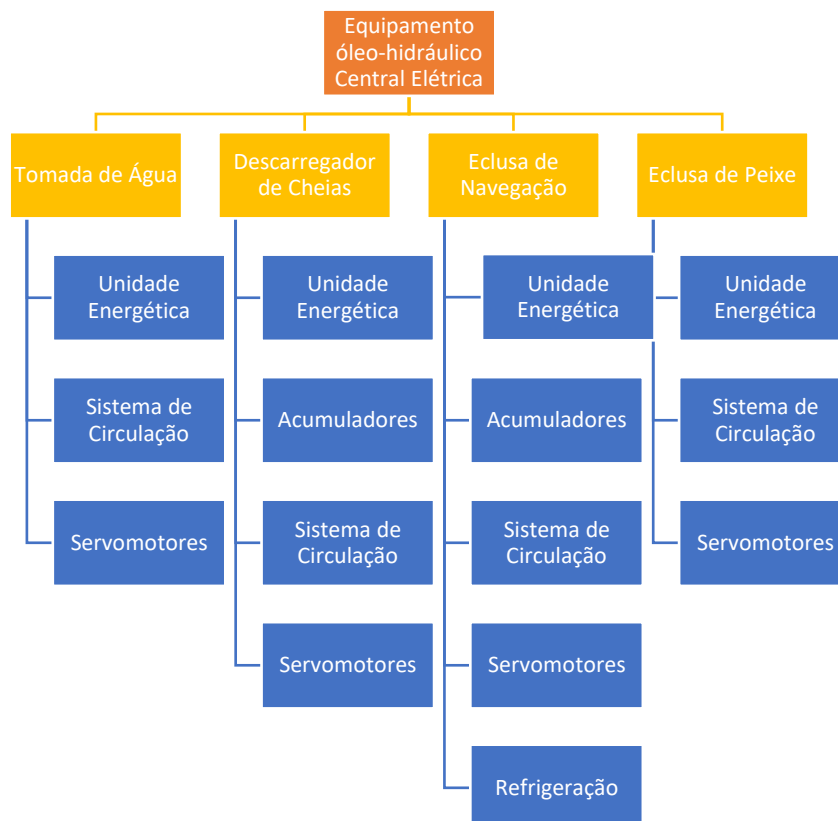


Figura 23 - Sistemas constituintes da Central Hidroelétrica em estudo (Fonte Navipa)

Como a central hidroelétrica em estudo possui vários equipamentos com a mesma tipologia, ainda que em sistemas diferentes, optou-se pela análise e estudo do sistema com a maior abrangência de subsistemas e componentes, neste caso será a eclusa de navegação.

De salientar que parte do processo de análise possui informação confidencial, nomeadamente, requisitos estratégicos de produção aplicados às centrais elétricas onde a Navipa intervém. Face a este facto, apenas serão revelados os respetivos resultados da mesma, ocultando assim dados como o nome do cliente final e custos associados ao estudo.

3.3.1 Eclusa de navegação

Uma eclusa de navegação, consiste numa câmara retangular com lados fixos, extremidades móveis e equipamento para enchimento e esvaziamento. Quando uma eclusa é cheia até ao nível superior, as comportas a montante são abertas para as embarcações passarem, após o fecho das comportas a montante, a água é extraída até que o nível da eclusa seja novamente aspirado para o nível inferior. O enchimento ou esvaziamento da câmara é efetuado através de comportas acionadas hidráulicamente ou mecanicamente (Barbulescu, 2015). A Figura 24 mostra um esquema de funcionamento de uma eclusa de navegação.

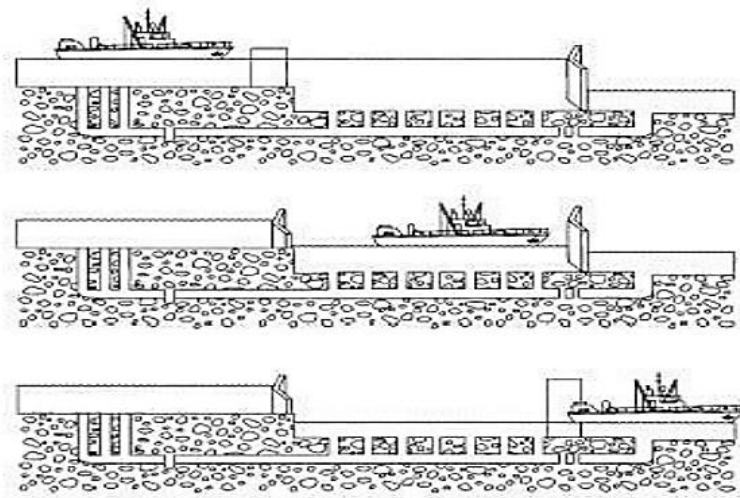


Figura 24 - Exemplo de funcionamento de uma eclusa de navegação (Barbulescu, 2015)

3.3.1.1 Subsistema 1 - Unidade energética

As unidades hidráulicas fornecem o fluxo de óleo, até à pressão especificada, para um sistema. Devem também manter o fluído a uma temperatura, limpeza e nível de qualidade adequados. Este fluído terá de ser armazenado num reservatório e a

temperatura do mesmo deverá permanecer dentro de um intervalo específico para garantir um funcionamento consistente do sistema.

A unidade energética em questão tem cerca 400 Lts de capacidade útil de óleo e é constituída por dois grupos Motor-Bomba a trabalhar em simultâneo, garantindo, deste modo, que no caso de falha de um deles poderemos operar a comporta com 50% da velocidade. Cada um dos dois grupos Motor-Bomba é constituído por um agregado de bombas, em que durante a fase de abertura até equilibragem de águas, apenas as bombas do estágio de baixa cilindrada e alta pressão trabalham. O sistema dispõe ainda de uma válvula limitadora de alta pressão e outra de baixa pressão, cada uma associada a uma Electroválvula de Pressurização do circuito. Existe ainda um filtro de pressão, um filtro de retorno, quatro filtros de aspiração, um filtro de ar e enchimento, dois manómetros e reguladoras de caudal. Na Figura 25, encontra-se representada a unidade energética em questão.



Figura 25 Unidade Energética Sorefame (Fonte: Navipa)

3.3.1.2 *Subsistema 2 – Acumuladores*

Normalmente, nas centrais hidroelétricas, os acumuladores são usados com reserva de energia em caso de emergência ou como amortecimento para suavização de movimentos pulsantes. Basicamente, são reservatórios que armazenam pressão no seu interior. O acumulador é dotado de um bloco que dispõe de um elemento lógico e regulador de caudal, assim como do respetivo pistão que se encontra dentro do reservatório. Na Figura 26 encontra-se uma imagem dos acumuladores em acima referidos.



Figura 26 - Unidade Energética Sorefame (Fonte: NAVIPA)

3.3.1.3 *Subsistema 3 – Grupo de circulação*

O Grupo de circulação é constituído por diversas tubagens hidráulicas, acessórios, reguladores de caudal, blocos distribuidores e tomadas de pressão. Estes componentes permitem o transporte de fluídos de um componente para outro com regulação. Na Figura 28 e Figura 27 encontram-se as imagens do subsistema em questão.



Figura 28 - Grupo de Circulação à saída do Servomotor (Fonte: Navipa)



Figura 27 - Grupo de Circuito à saída da Unidade Energética (Fonte: Navipa)

3.3.1.4 Substema 4- Servomotor

Um servomotor é um atuador que permite um controlo preciso de um movimento linear. Basicamente, consiste num cilindro hidráulico acoplado a um indicador de posição, com sensores fins de curso que medem a sua posição e que requer um automático concebido especificamente para uso do mesmo. Estes, são, tipicamente, utilizados para pressionar, puxar, empurrar ou levantar algo que requer uma força excepcional.

O servomotor em estudo é dotado de um bloco de servomotor que dispõe de um elemento lógico com limitadora de pressão e uma válvula de retenção. O servomotor dispõe de indicador mecânico de posição, onde são instalados três fins de curso redundantes (CG001/CG005, CG003/CG007 e CG004/CG008) mais dois singulares (CG002 E CG006). Nas posições da comporta, sinalizadas por dois fins de curso por posição, será admitida no automático, uma tolerância na temporização dos mesmos. Na Figura 29 encontra-se um desenho do servomotor fornecido pela Sorefame.

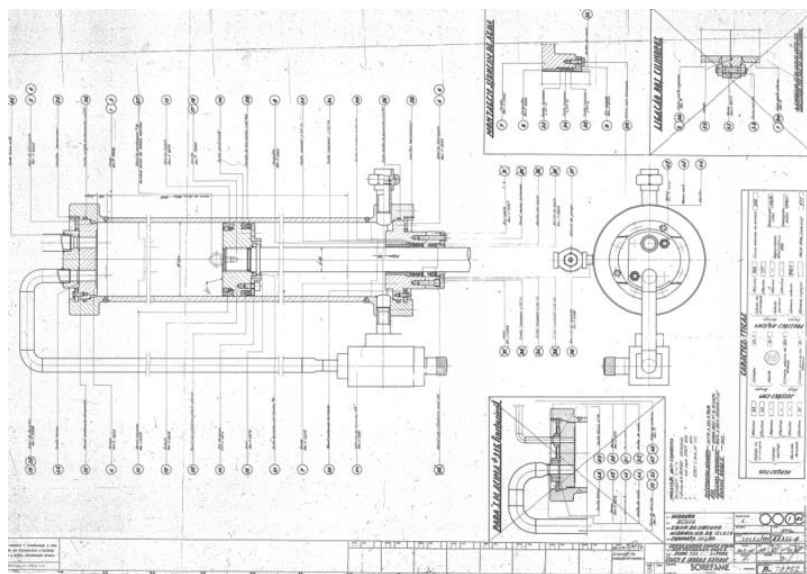


Figura 29 - Desenho do servomotor Sorefame (Fonte Navipa)

3.3.1.5 Substema 5 – Refrigeração

A refrigeração hidráulica, também conhecida como permutador de calor, tem como principal função evitar que o sistema hidráulico atinja uma temperatura excessiva. Neste caso, o óleo passa num núcleo, que é arrefecido a partir de uma ventoinha para reduzir o calor gerado pelo funcionamento constante dos subsistemas existentes no circuito.

Este subsistema é constituído pelo reservatório, filtro de entrada, termostato, pressostato e ventoinha. A Figura 30 mostra uma imagem do grupo de refrigeração em estudo.



Figura 30 - Grupo de refrigeração (Fonte: Navipa)

3.4 Recolha de dados

Para realização de uma análise quantitativa foram recolhidos dados relativamente aos tempos de falhas e de reparação. Esses dados possuem informação temporal, que são revestidos de incerteza, que é aqui modelada através de uma distribuição de probabilidade.

Conforme já referido acima, os dados foram disponibilizados pela empresa Navipa e estão apresentados, sob forma de tabela, Anexo1 - Recolha de Dados. Durante um período de tempo foram registados, para cada falha, o tempo até à ocorrência de falha em horas, o modo de falha, o componente que falhou/avariou e o subsistema que inclui o componente.

3.5 Análise dos dados

3.5.1 Distribuição dos tempos até à falha subsistemas

A Figura 31 mostra os diagramas caixa de bigodes para o tempo até à falha, em horas, por subsistema. Em termos de mediana, o subsistema 4, o servomotor, é o que apresenta menores tempos até à falha, ou que indica que é este subsistema que falha com mais frequência, seguindo o subsistema 3, o grupo de circulação e o subsistema 5, a refrigeração. A unidade energética e os acumuladores apresentam tempos medianos

de falha próximos das 6000 horas, sendo a variabilidade dos tempos nestes dois subsistemas semelhante. É ainda importante notar que os subsistemas com mais falhas no período de tempo correspondente à recolha de dados foram a unidade energética e a refrigeração.

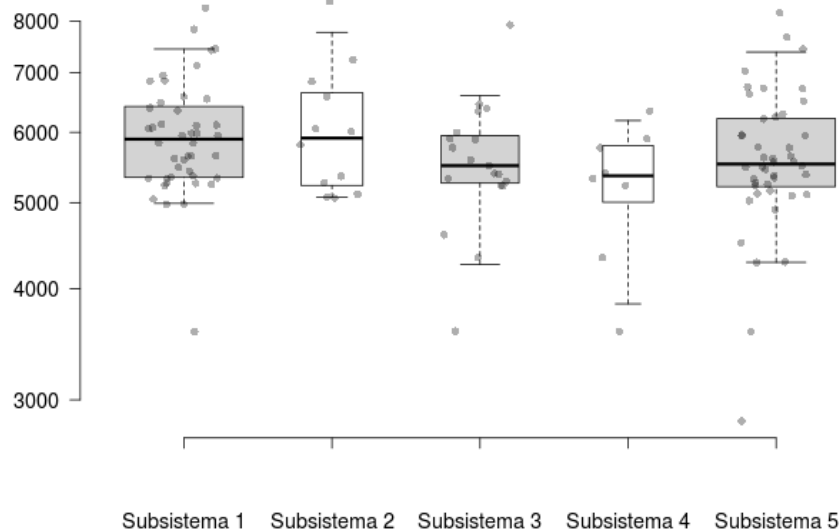


Figura 31 - Diagrama caixa de bigodes dos tempos até à falha por subsistema (Fonte Própria)

Para uma análise mais precisa, apresenta-se, na Tabela 14, as cinco estatísticas (a observação mais pequena – mínimo; primeiro quartil ou 25.º percentil; mediana, segundo quartil ou 50.º percentil; terceiro quartil ou 75.º percentil; a maior observação – máximo) representadas nos diagramas de bigodes anteriores.

Tabela 14 – Estatísticas sumário dos tempos até à falha (em horas) segundo o subsistema

	Unidade energética	Acumuladores	Sistema de circulação	Servomotores	Refrigeração
Máximo	7444,65	7773,75	6595,80	6186,05	7387,05
3.º quartil	6415,75	6646,25	5950,50	5799,25	6218,50
Mediana	5894,00	5910,50	5503,00	5360,50	5527,00
1.º quartil	5337,50	5228,00	5259,00	5005,75	5211,25
Mínimo	4991,05	5068,70	4260,80	3847,20	4283,60
n	44	12	19	8	41

3.6 Análise FMEA

A análise FMEA foi executada com o intuito de se obter uma percepção dos tipos de falha e do risco da sua ocorrência para o sistema. Os resultados serão úteis na elaboração dos planos de manutenção.

Conforme abordado no subcapítulo 2.3, o FMEA é um método analítico que permite detetar possíveis falhas e prever os efeitos dos erros em todo o sistema. O método é indutivo, o que significa que, com base na análise de um caso individual, são tiradas conclusões gerais.

Cada subsistema será analisado separadamente, identificando-se assim as falhas funcionais, os modos de falha, os efeitos de falha e das consequências das mesmas para cada subsistema.

Da equipa que contribuiu para a realização da análise FMEA fez parte o diretor do departamento de manutenção, o responsável do FMEA, 2 técnicos óleo-hidráulicos (mecânicos), 1 electricista e 1 técnico de automação. Trata-se de uma equipa multidisciplinar e especializada, com elevada experiência em manutenção hidromecânica e que está envolvida em várias áreas.

Após a definição da equipa de trabalho foi necessário criar a documentação que serviu como base para a elaboração dos FMEA. Foi, então, criado um ficheiro Excel com programação em *Visual Basic*, que constituiu o modelo para todos os FMEA que foram realizados. A Figura 32 exemplifica a ferramenta elaborada.

F.M.E.A. - ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E EFEITOS para Plano de Manutenção											
Sistema:	Eclusa de Navegação			Subsistema:	Acumuladores				Folha:	1-1	
Elaborado por:	Pedro Gonçalves			Data:	02/06/2022				Revisão	0	
Aprovado por:	Paulo Figueiredo			Número:	22-002-M				Local	-	
Observações:											
Ponto da Falha			Análise da Falha			Avaliação de Risco				Resolução Recomendada	
Subsistema	Nome do Componente	Função do componente	Modo de Falha	Potencial Causa de Falha	Consequências/ Efeitos da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR	Ações Recomendadas	

Figura 32 - Modelo elaborado para aplicação do FMEA (Fonte Própria)

A ferramenta exige os preenchimentos dos seguintes campos:

- Sistema analisado;
- Nome do técnico que elaborou o FMEA;
- Nome do responsável que aprovou o FMEA;
- Campo para preenchimento de observações;
- Nome no subsistema analisado;
- Número da folha;

- Data da elaboração do FMEA;
- Versão do FMEA;
- Número de registo do documento no PHC;
- Local do equipamento analisado;
- *Id* do subsistema;
- Nome do componente;
- Função do componente;
- Modo de Falha possível;
- Potencial Causa da Falha;
- Consequência da Falha;
- Classificação da Ocorrência;
- Classificação da Detecção;
- Classificação da Severidade;
- Resultado do RPN.

3.6.1 Identificação dos componentes, das suas funções e dos seus modos de falha

A identificação dos diferentes componentes do equipamento, das suas funções e dos respetivos modos de falha é crucial para se conseguir realizar uma análise o mais realista possível. Após a identificação dos componentes, listados por subsistemas nas subsecções seguintes, seguiram-se os passos da análise funcional do componente e dos possíveis modos de falha. Na Tabela 15 encontra-se uma descrição destes dois últimos passos.

Tabela 15 - Fatores para estudo e validação do FMEA

Tipo de Análise	Descrição
Análise funcional do componente	Para este estudo é indispensável perceber qual a função a desempenhar por cada componente, tendo em consideração as expectativas e as exigências conferidas pelos clientes, bem como dos requisitos definidos a cumprir.
Identificação dos modos potenciais de falha	Após a definição das funcionalidades mencionadas no ponto anterior é necessário identificar os modos potenciais de falha, realizando um levantamento das formas como a disfuncionalidade do componente se manifesta e descrevendo o afastamento em relação à função requerida ou requisito do cliente.

Relativamente aos modos de falha, foram identificados 14 de diferentes tipos. Após esta identificação, e de forma a simplificar a exposição nos subcapítulos seguintes, codificaram-se os tipos de modo de falha conforme o que está representado na Tabela 16.

Tabela 16 - Codificação dos modos de falha possíveis

ID	Modos de falha
MD 1	Passagem de óleo bloqueada
MD 2	Fuga
MD 3	Caudal insuficiente
MD 4	Pressão insuficiente
MD 5	Sobreaquecimento
MD 6	Cavitação
MD 7	Vibração intensa
MD 8	Falha Hidráulica
MD 9	Degaste por Corrosão
MD 10	Degaste por Fadiga
MD 11	Colmatação
MD 12	Ruído Intenso
MD 13	Falha Mecânica
MD 14	Falha Elétrica

3.6.1.1 Subsistema 1 – Unidade Energética

A Tabela 17 mostra a função de cada componente pertencente ao subsistema 1, a unidade energética. Esta unidade inclui 11 componentes principais. São ainda mostrados os possíveis modos de falha para cada componente.

Tabela 17 - Componentes, Funções e Modos de Falhas do Subsistema 1 – Unidade Energética

Componentes	Função	Modos de falhas possíveis
Grupo Motor Bomba	Transformação de Energia Mecânica em energia Hidráulica	MD 7, MD 6, MD 3, MD 13, MD 5
Placa Base	Bloco que realiza o circuito projetado e assenta válvulas de cartucho e electroválvulas	MD 1, MD 2, MD 9
Electroválvulas	Comutam a direção do caudal do óleo	MD 13, MD 2
Filtro de Pressão	Filtra as impurezas no canal de saída	MD 11
Filtro de Aspiração	Filtra as impurezas no canal de aspiração	MD11
Filtro de Retorno	Filtra as impurezas no canal de Retorno	MD 11
Filtro de Ar	Filtra as impurezas no ar do sistema	MD 11
Manómetro	Visualização de Pressão no Sistema	MD 10, MD 8
Limitadora de Pressão	Regulação da Pressão no Sistema	MD 13 e MD 2
Regulador de Caudal	Regulação de Caudal no Sistema	MD 14
Reservatório	Armazenamento de todos os componentes e do óleo	MD 9

3.6.1.2 Subsistema 2 – Acumuladores

A Tabela 18 mostra a função de cada componente pertencente ao subsistema 2 - acumuladores. Esta unidade inclui 4 componentes principais. São ainda mostrados os possíveis modos de falha para cada componente.

Tabela 18 - Componentes, Funções e Modos de Falhas do Subsistema 2 – Acumuladores

Componentes	Função	Modos de falhas possíveis
Pistão	Faz a separação do Óleo para o Gás	MD10

Reservatório	Armazenamento de Óleo e Gás	MD9
Regulador	Comuta a direção do caudal do óleo	MD13
Bloco de segurança com elemento lógico	Regula a Pressão do Acumulador	MD1, MD2 e MD9

3.6.1.3 Subsistema 3 – Grupo de Circulação

Tabela 19 mostra a função de cada componente pertencente ao subsistema 3, o grupo de circulação. Esta unidade inclui 5 componentes principais. São ainda mostrados os possíveis modos de falha para cada componente.

Tabela 19 - Componentes, Funções e Modos de Falhas do Subsistema 3 – Grupo de Circulação

Componentes	Função	Modos de falhas possíveis
Tubagem de pressão, retorno e pilotagem	Direcionamento do caudal	MD9
Válvula de 2 vias	Interrompe a direção do Caudal	MD13
Regulador de caudal	Regula o caudal	MD13
Bloco distribuidor	Bloco que distribui o caudal conforme o circuito projetado	MD1, MD2 e MD 9
Tomada de pressão	Verificação de medição da Pressão	MD8

3.6.1.4 Subsistema 4 – Servomotor

A Tabela 20 mostra a função de cada componente pertencente ao subsistema 4, o servomotor. Esta unidade inclui 6 componentes principais. São ainda mostrados os possíveis modos de falha para cada componente.

Tabela 20 - Componentes, Funções e Modos de Falhas do Subsistema 4 – Servomotor

Componentes	Função	Modos de falhas possíveis
-------------	--------	---------------------------

Indicador de posição	Indica a posição do Servomotor	MD9 e MD14
Haste	Atuador Mecânico	MD 9
Pistão	Executa a vedação da Câmara Menor da Câmara maior	MD10 e MD2
Porta vedantes	Vedação da Câmara Menor e executa o guiamento da haste.	MD9 e MD2
Câmara	Alojamento do óleo em pressão	MD9 e MD2
Bloco hidráulico	Bloco que realiza o circuito projetado e assenta válvulas de cartucho de segurança	MD1, MD2 e MD9

3.6.1.5 Subsistema 5 – Refrigeração

A Tabela 21 mostra a função de cada componente pertencente ao subsistema 5, a refrigeração. Esta unidade inclui 5 componentes principais. São ainda mostrados os possíveis modos de falha para cada componente.

Tabela 21 - Componentes, Funções e Modos de Falhas do Subsistema 5 – Refrigeração

Componentes	Função	Modos de falhas possíveis
Reservatório	Reservatório que aloja o circuito de refrigeração	MD5 e MD9
Filtro de Entrada	Filtra as impurezas no canal de entrada	MD11
Termostato	Utilizado como sistema de medição e proteção da temperatura	MD9 e MD14
Pressostato	Utilizado como sistema de medição e proteção da pressão	MD9 e MD14
Ventoinha	Utilizado para arrefecimento do óleo	MD9, MD13 e MD14

3.6.2 Identificação dos efeitos de falha e consequências de falha

Para a realização desta fase da análise do trabalho foi necessária a colaboração da equipa de manutenção da Navipa. Todos os elementos da equipa contribuíram de forma ativa para a identificação das falhas funcionais, modos de falha, efeitos de falha e consequências de falha.

Em paralelo, foi utilizada outra informação, nomeadamente,

- Consulta do histórico de avarias dos equipamentos no software de gestão da empresa o PHC;
- Visualização de avarias no local e na oficina de reparação da Navipa;
- Manuais técnicos de equipamentos análogos;
- Consulta de apontamentos das disciplinas da licenciatura e mestrado, quando aplicável.

Desta forma garantiu-se uma pesquisa exaustiva e abrangente para todos os componentes resultando numa melhor e mais eficaz análise FMEA.

Para cada modo potencial de falha realizou-se um levantamento das consequências dos efeitos potenciais negativos, ao nível do rendimento do componente e do produto, do grau de descontentamento do cliente, dos requisitos definidos e dos aspetos de segurança.

De modo, a perceber a razão pela qual a exigência ou requisito falha e onde se deve atuar, identificaram-se e descreveram-se as causas prováveis para cada modo potencial de falha.

3.6.3 Cálculo do RPN

Após todo o levantamento efetuado, a etapa seguinte é a atribuição de níveis de severidade, de ocorrência e de deteção, de forma a obter-se o Nível de Prioridade de Risco (RPN) e posteriormente, caso se verifique necessário, definir ações direcionadas para os modos potenciais de falha mais críticos. O RPN é um índice que quantifica a necessidade de atuar sobre uma falha. É possível calcular este índice através do produto da classificação dos três índices severidade, ocorrência e deteção, conforme visto anteriormente (Fernandes et al., 2022).

Existem, na literatura, diferentes tabelas de classificação da severidade do modo de falha, da ocorrência da deteção (Mzougui & Felsoufi, 2019).

No que respeita à severidade do modo de falha (S), a Tabela 22, mostra uma possível classificação. Com esta classificação pode-se avaliar o impacto do efeito do modo de falha sobre o funcionamento do componente que está a ser analisado, bem como do produto final e do cliente (Institute Ford Design, 2004) .

Tabela 22 - Classificação do índice de severidade do modo de falha (S) (Adaptado ((Institute Ford Design, 2004))

Efeito	Severidade do efeito	Índice de severidade
Perigoso sem aviso prévio	A utilização do produto coloca problemas de segurança ou viola qualquer disposição legal. A falha ocorrerá sem aviso prévio.	10
Perigoso com aviso prévio	A utilização do produto coloca problemas de segurança ou viola qualquer disposição legal. A falha ocorrerá com aviso prévio.	9
Muito alto	100% do produto pode ter de ir para o lixo. O produto final fica inoperacional, perde as funções primárias. Cliente muito insatisfeito.	8
Alto	Os produtos podem ter de ser escolhidos e uma porção (< 100%) ir para o lixo. O produto final fica operacional, mas com nível reduzido de desempenho. Cliente insatisfeito.	7
Moderado	Os produtos podem ter de ser escolhidos e uma porção (< 100%) ir para o lixo. O produto final fica operacional, mas algum(s) item(s) ficam inoperacionais. Cliente sente alguma insatisfação.	6
Baixo	100% do produto pode ter de ser retrabalhado. O produto final funciona, mas algum(s) item(s) de conforto/ conveniência funcionam com nível de desempenho reduzido. Cliente sente desconforto.	5
Muito baixo	O produto pode ter de ser escolhido e uma porção (< 100%) retrabalhada. Defeito notado pela maioria dos clientes. Cliente sente algum desconforto.	4
Menor	Uma porção (< 100%) do produto pode ter de ser retrabalhada ou corrigido na linha de montagem do cliente. Defeito notado pela média dos clientes. Grande inconveniente ao cliente.	3
Muito menor	Defeito notado por clientes acurados. Ligeiro inconveniente ao cliente.	2
Nenhum	Nenhum efeito. Cliente não deteta a falha.	1

No que respeita à classificação do índice de ocorrência do modo de falha (O), a Tabela 23 mostra uma possível classificação. Este índice designa a frequência ou a probabilidade de aparecimento do modo de falha.

Tabela 23 - Classificação do índice de ocorrência do modo de falha (O) (Adaptado de ((Institute Ford Design, 2004))

Probabilidade de Falha	Taxa de falhas possíveis	Índice de ocorrência
Muito alta: A falha é quase inevitável	≥ 1 em 2	10
	1 em 3	9
Alta: Geralmente associada a processos similares onde se observam muitas falhas	1 em 8	8
	1 em 20	7
Moderada: Geralmente associada a processos em que se observam falhas ocasionais, mas não em larga proporção	1 em 80	6
	1 em 400	5
	1 em 2.000	4
Baixa: Verificam-se falhas isoladas em processos	1 em 15.000	3
Muito baixa: Só algumas falhas isoladas em quase todos os processos idênticos	1 em 150.000	2
Improvável: Falha é improvável. Não se verificam falhas em processos muito semelhantes	≤ 1 em 1.500.000	1

Finalmente, e no que respeita à classificação do índice de deteção do modo de falha (D), a Tabela 24 mostra uma possível classificação. Este índice está relacionado com a probabilidade de o procedimento de controlo não detetar a causa da falha ou do modo potencial de falha, antes de chegar ao cliente.

Tabela 24 Classificação do índice de deteção do modo de falha (D) (Adaptado de ((Institute Ford Design, 2004))

Deteção	Deteção do defeito	Índice de deteção
Quase impossível	Nenhum sistema de controlo conhecido capaz de detetar.	10
Muito remota	Probabilidade bastante remota de detetar a falha com os controlos correntes.	9
Remota	Probabilidade remota de detetar a falha com os controlos correntes.	8
Muito Baixa	Probabilidade bastante baixa de detetar a falha com os controlos correntes.	7
Baixa	Probabilidade baixa de detetar a falha com os controlos correntes.	6
Moderada	Probabilidade moderada de detetar a falha com os controlos correntes.	5
Moderadamente alta	Probabilidade moderadamente alta de detetar a falha com os controlos correntes.	4
Alta	Probabilidade alta de detetar a falha com os controlos correntes.	3
Muito alta	Probabilidade muito alta de detetar a falha com os controlos correntes.	2
Quase certa	É quase certo que os controlos correntes detetam o modo de falha. Controlos de deteção seguros são conhecidos em processos similares.	1

Salienta-se que a Navipa estabeleceu que os componentes que apresentarem um RPN superior a 100 deverão ser alvo de atenção especial na elaboração do plano de manutenção.

Tal como referido anteriormente, a multiplicação dos três índices resulta no valor RPN. Quanto maior este valor, mais crucial e mais prioritária é a intervenção na resolução do problema. Para este trabalho foram consideradas três escalas de RPN:

- Verde: para valores de RPN inferiores a 35;
- Amarelo: para valores de RPN compreendidos entre os 35 e os 99;
- Vermelho: para valores de RPN igual ou superiores a 100.

Todas as falhas que apresentam um valor RPN superior a 100 são as prioritárias, seguidas das que estão compreendidas entre 35 e 99. As falhas com índice inferior a 35 não significa que não serão também tratadas, apenas que terão uma importância inferior quando comparadas às restantes.

3.6.4 Resultados da análise FMEA

Na ferramenta foram processados cerca de 59 modos de falhas, num total de 5 subsistemas. Na Figura 33, pode verificar-se a distribuição do índice RPN. Observou-se que modos de falha/componente enquadram-se na categoria superior a 100 e tal como referido acima, considera-se necessário implementar ações preventivas para estas situações. Os restantes modos de falha/componentes, que estão classificados na categoria de risco moderado e risco baixo, serão alvo também de atenção, embora sem o grau de importância dos componentes acima.

Um exemplo de uma análise FMEA completa aplicada, pode encontrar-se no Anexo 2 - Análise FMEA.

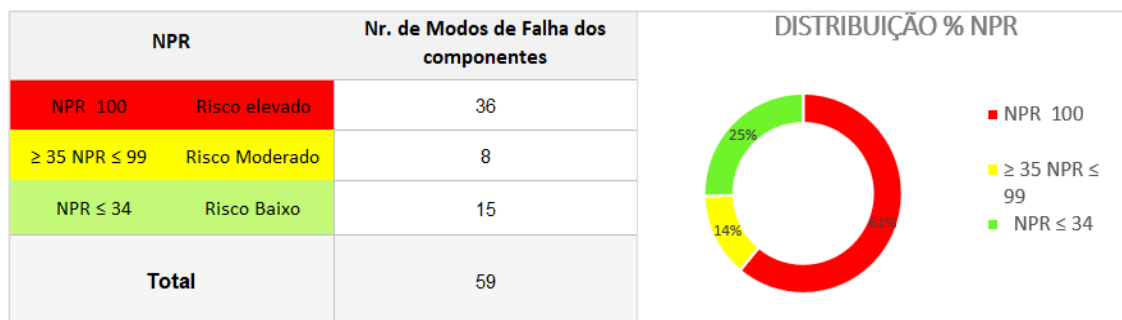


Figura 33 - Dashboard geral referente aos cinco subsistemas analisados (Fonte Própria)

Na Tabela 25, podem-se encontrar resultados detalhados por subsistema.

Tabela 25 - Resultados Gerais dos cinco subsistemas analisados

Subsistema	NPR ≤ 34	≥ 35 NPR ≤ 99	NPR 100
1 - Unidade energética	3	3	17
2 – Acumuladores	2	-	4
3 -Sistema de circulação	2	1	7
4 – Servomotor	4	1	6
5 – Refrigeração	2	3	2

Tendo em conta os resultados mostrados na tabela anterior, é fácil concluir que a unidade energética é a mais crítica, já que no total de modos observados nessa unidade, aproximadamente, 74% apresentam um NPR superior ou igual a 100. Este resultado está de acordo com o esperado, já que, normalmente, a unidade energética é equipamento com maior desgaste e é considerado como o “coração” de um sistema hidráulico.

O sistema de circulação também parece ser um subsistema crítico, já que 70% do modo de falha/componente estão classificados na parte mais grave do NPR. O subsistema menos crítico parece ser a refrigeração, seguindo-se o servomotor e os acumuladores.

O facto de a Refrigeração ter-se revelado como o subsistema menos crítico, também era esperado, já que os seus componentes apresentam os valores mais baixos de índice de severidade.

Embora a gravidade dos efeitos das falhas possa parecer subjetiva, a FMEA oferece métodos que quantificam as repercussões das falhas. Isto permite então que a organização realize ações que reduzam ou mesmo eliminem efetivamente os riscos (Fernandes et al., 2022).

3.7 Análise de criticidade às posições funcionais

A identificação dos componentes críticos e a sua priorização para a implementação da manutenção preventiva é uma tarefa importante. É também uma das etapas essenciais de uma manutenção centrada na fiabilidade (Gupta & Mishra, 2018).

Dado que a Navipa já possuía a sua própria análise de criticidade, adaptou-se parte da mesma, à ferramenta de trabalho. Esta consiste numa matriz de ativos do tipo ABC, com 6 tipos de procedimentos de classificação que a Navipa e o Cliente Final consideraram relevantes, nomeadamente:

- Segurança e meio ambiente;
- Qualidade e produtividade;
- Tempo de operação;
- Produção;
- Frequência da falha;
- Manutenibilidade.

Os critérios de atribuição definidos encontram-se representados na Figura 34.

Categoria	Segurança e Meio Ambiente	Qualidade e Produtividade	Tempo de Operação	Produção	Frequência da falha	Manutibilidade
A	Acidentes pessoais, agressão ao meio ambiente e danos materiais.	Produtos com defeito, redução da velocidade de produção.	24 horas por dia.	Cessa todo o processo.	Intervalo menor que seis meses.	O tempo e/ou custos dos reparos são elevados.
B	Exposição a riscos de acidentes ao meio ambiente ou do património.	Variação da qualidade ou da produção.	Dois turnos.	Cessa parte do processo.	Em média uma vez por ano.	O tempo e/ou custos dos reparos são suportáveis.
C	Nenhum risco.	Não afeta.	Ocasionalmente ou não faz parte do processo produtivo.	Não afeta.	Raramente ocorre.	O tempo e/ou custos dos reparos são irrelevantes.

Figura 34 -Critérios da classificação da criticidade dos componentes (Fonte Própria)

A Figura 35 ilustra os resultados da análise de criticidade. Observou-se que, 19 componentes, num total de 35, são considerados com Categoria A, ou seja, altamente críticos, o que corresponde a cerca de 54% de todos os componentes englobados. Nas categorias B e C, 14% e 32% componentes, respetivamente.

Os resultados da análise de criticidade às posições funcionais, juntamente com os resultados dos FMEA constituem um auxiliar importantíssimo na definição dos planos manutenção.

A prioridade para elaboração desses mesmos planos irão ser as categorias A e B. Todos os componentes com categoria C irão apenas ser alvo de inspeção visual, dado que são considerados como componentes com posições funcionais não críticos.

Um exemplo de uma análise de Criticidade completa aplicada, pode encontrar-se no Anexo 3 - Análise de Criticidade dos Equipamentos .

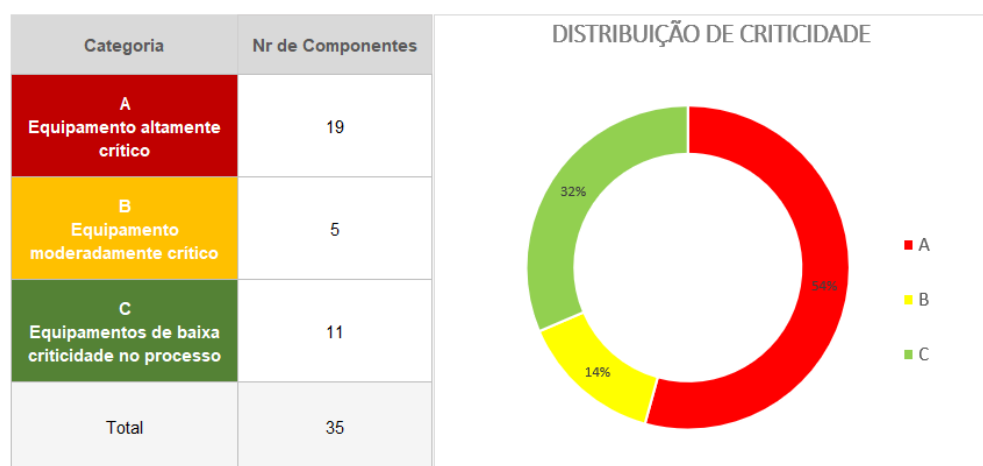


Figura 35 - Critérios e Resultados da Avaliação de Criticidade (Fonte Própria)

3.8 Execução da análise de fiabilidade

A Navipa passou a registar no PHC, desde meados dos anos 90, todas as intervenções no equipamento óleo-hidráulico, o que permitiu criar uma base de dados sólida para a análise de fiabilidade dos sistemas constituintes do mesmo. Na Figura 36 encontra-se representada a metodologia adotada para a execução da análise de fiabilidade.

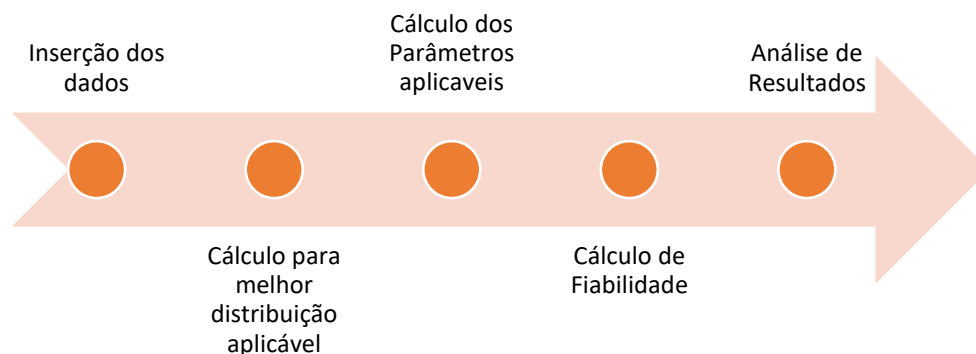


Figura 36 - Metodologia de análise de Fiabilidade aplicada (Fonte Própria)

Após a obtenção do histórico de falhas dos subsistemas, foi necessário o isolamento dos dados de falha de cada subsistema no sentido de se obter o histórico de falhas por subsistema (tempos até à falha - TTF). Na modelação dos dados foi usado o *software* Relyence. Na Figura 37 pode encontrar-se um *screenshot* do *software* utilizado.

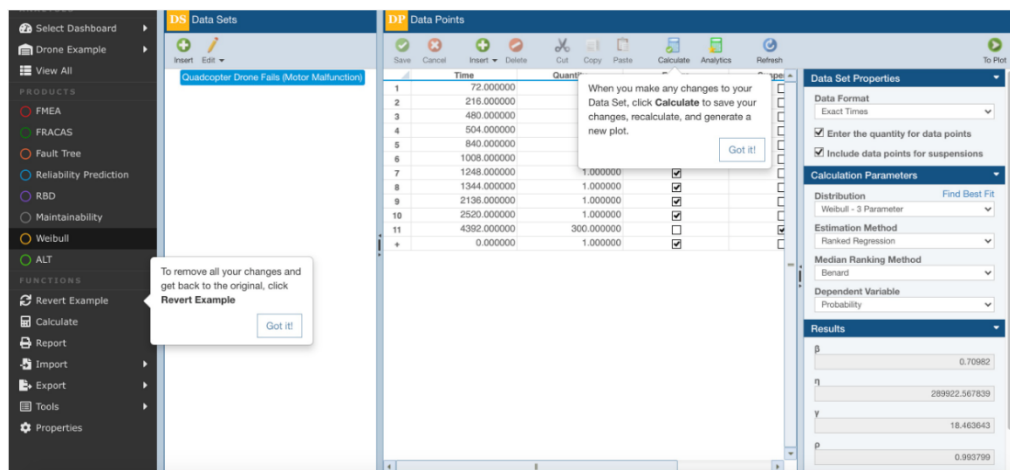


Figura 37 - Introdução de TTS no software (Fonte Própria)

Posteriormente à introdução dos dados de falha do subsistema em análise no *software* Relyence, seguiu-se a etapa da seleção da distribuição de probabilidade adequada para o tempo até à falha. Nesta etapa recorreu-se à função *Best fit* que ajusta várias distribuições de probabilidade aos dados e retorna uma lista ordenada com as distribuições ajustadas. Na ordenação das distribuições foram considerados os resíduos (diferença entre a distribuição teórica e a distribuição empírica) como critério. Na Figura 38 pode ver-se a lista de distribuições candidatas consideradas.

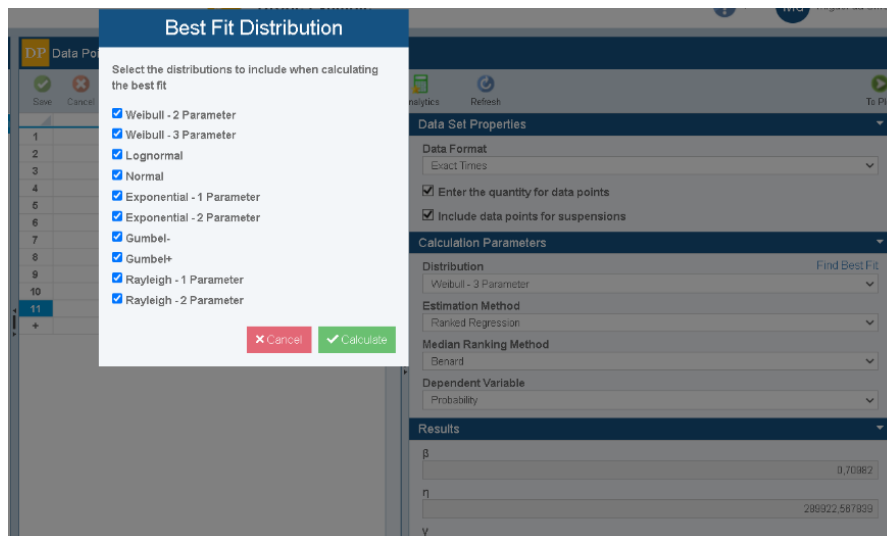


Figura 38 - Escolha da opção "Best Fit" (Fonte Própria)

Uma vez selecionada uma distribuição de probabilidade que se ajuste bem aos dados, ficam reunidas todas as condições para a obtenção de indicadores fiabilísticos necessários. A obtenção desses indicadores é conseguida através da utilização da funcionalidade *Calculate* conforme se pode observar na Figura 39.

Time	Quantity	Failure	Sus
1	2840,000000	1,000000	
2	4283,000000	1,000000	
3	4287,000000	1,000000	
4	4505,000000	1,000000	
5	5024,000000	1,000000	
6	5048,000000	1,000000	
7	5091,000000	1,000000	
8	5108,000000	1,000000	
9	5120,000000	1,000000	
10	5157,000000	1,000000	
11	5228,000000	1,000000	
12	5265,000000	1,000000	
13	5319,000000	1,000000	
14	5333,000000	1,000000	
15	5360,000000	1,000000	
16	5368,000000	1,000000	
17	5381,000000	1,000000	
18	5450,000000	1,000000	
19	5497,000000	1,000000	
20	5533,000000	1,000000	
21	5556,000000	1,000000	
22	5559,000000	1,000000	
23	5618,000000	1,000000	

Figura 39 - Ferramenta com os parâmetros calculados, após a seleção do comando "Calculate" (Fonte Própria)

O software permite a obtenção de gráficos ilustrativos do comportamento temporal das falhas. A Figura 40 mostra o exemplo de um gráfico (taxa de falhas em função do tempo) que se pode obter com o *software*.

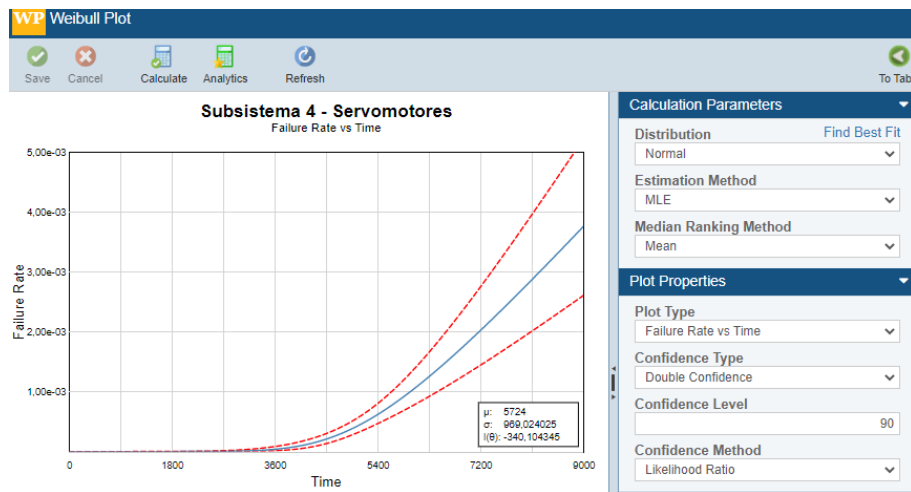


Figura 40 - Exemplo de seleção de Gráfico de Taxa de Falha vs Tempo (Fonte Própria)

As etapas acabadas de descrever foram aplicadas aos dados de cada subsistema. Em seguida, apresentam-se os resultados, para cada subsistema, da aplicação do procedimento.

É importante notar que, apesar de ser estar a lidar com subsistemas reparáveis, neste trabalho considerou-se que os tempos até à avaria/falha são independentes e identicamente distribuídos, pressuposto exigido na modelação dos tempos até falha/avaría por uma distribuição de probabilidade. Este pressuposto é violado sempre a ocorrência de avarias apresenta tendência, ou seja, o risco de avaria aumenta ou diminui com o tempo ou apresenta uma mistura destas duas situações. No caso de existência de tendência, deve recorrer-se a processos estocásticos para modelar o processo de ocorrência de avarias.

3.8.1 Resultados da análise ao subsistema 1-Unidade Energética

Dado que o histórico de falhas referente ao subsistema 1 – Unidade Energética é bastante extenso, optou-se por disponibilizar os dados em anexo a este documento (Anexo 4 - Modos de falha por subsistema).

A Tabela 26 e Figura 41 mostram os resultados da aplicação do procedimento acima descrito ao histórico de tempos até à falha do subsistema 1.

Tabela 26 - Resultados do subsistema 1 – Unidade Energética

Subsistema: 1 – Unidades Energética

Método de estimação dos parâmetros	MLE ²
Distribuição de probabilidade	Normal
Parâmetros da distribuição	$\mu= 5883,5$ h; $\sigma= 911$ h
MTBF (h)	5884
MTTR (h)	56
Fiabilidade mínima requerida (%)	90
Intervalo de confiança para B_{10} (%)	90
Tempo de operação mínimo (h)	4455
B_{10} (h)	4716
Tempo de operação máximo (h)	4936

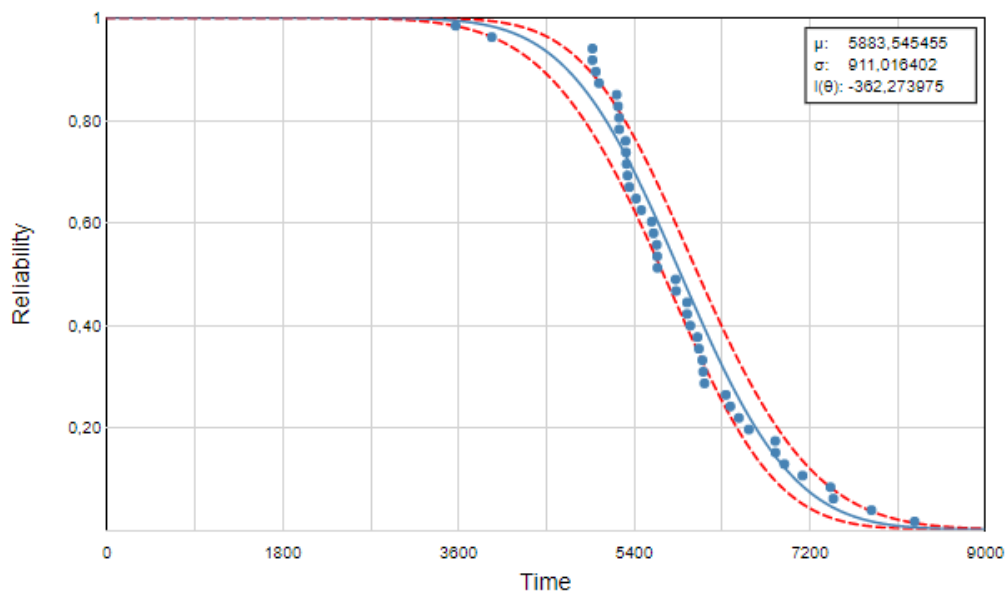


Figura 41 - Fiabilidade em função do tempo de operação da Unidade Energética (Fonte Própria)

Na tabela anterior, B_{10} representa o tempo abaixo do qual ocorrem 10% das falhas/avarias. Ora, como a Navipa e o cliente final estabeleceram que a periodicidade de intervenção deveria corresponder ao tempo abaixo do qual ocorrerem apenas 10%

² Método de máxima verosimilhança ou Maximum Likelihood Estimation (MLE) na literatura em Inglês.

das falhas, os limites de um intervalo de confiança para B_{10} constituem bons limites para o intervalo da periodicidade de intervenção.

A partir dos resultados obtidos podem retirar-se as seguintes conclusões:

- A distribuição normal de média 5883,5 h e desvio padrão 911h foi a distribuição que melhor se ajustou aos dados de falha do subsistema 1;
- Este subsistema apresenta um MTBF de, cerca de, 5884 h e um MTTR de 56 h;
- 90% das falhas/avarias ocorrem depois das de probabilidade de falha nas 4716 horas ($B_{10}=4716$ horas);
- Seguindo os requisitos que o cliente final definiu em conjunto com a Navipa, a referência dos intervalos na elaboração do plano de manutenção preventivo deverá ser entre as 4455 horas e as 4936 horas (intervalo de confiança para B_{10}).

3.8.2 Resultados da Análise ao subsistema 2-Acumuladores

Na Tabela 27 encontra-se representado o histórico de falhas referente ao subsistema 2 - Acumuladores.

Tabela 27 - Histórico de falhas do subsistema 2 - Acumuladores

Id	TTF	Tempo Acumulado (h)	Componente	Modo de Falha
1	8420	8420	Bloco de Segurança	Fuga
2	7245	15665	Regulador	Falha Mecânica
3	6845	22510	Bloco de Segurança	Fuga
4	6580	29090	Regulador	Falha Mecânica
5	6010	35100	Pistão	Desgaste por Fadiga
6	5111	40211	Pistão	Fuga
7	6054	46265	Regulador	Falha Mecânica
8	5075	51340	Reservatório	Fuga
9	5267	56608	Bloco de Segurança	Fuga
10	5355	61963	Regulador	Falha Mecânica

11	5061	67024	Bloco de Segurança	Fuga
12	5811	72834	Reservatório	Fuga

Na Tabela 28 e Figura 42 são mostrados os resultados do procedimento descrito anteriormente para a definição da periodicidade de intervenção.

Tabela 28 - Resultados do Subsistema 2 - Acumuladores

Subsistema: 2 – Acumuladores	
Método de estimação dos parâmetros	MLE
Distribuição de probabilidade	Exponencial Biparamétrica
Parâmetros da distribuição	$\lambda=0,001; \eta= 960,1; \gamma=5061; I(\theta)=-94.4$
MTBF (h)	5939
MTTR (h)	61
Fiabilidade mínima requerida (%)	90
Intervalo de confiança para B_{10} (%)	90
Tempo de operação mínimo (h)	5136
B_{10} (h)	5167
Tempo de operação máximo (h)	5218

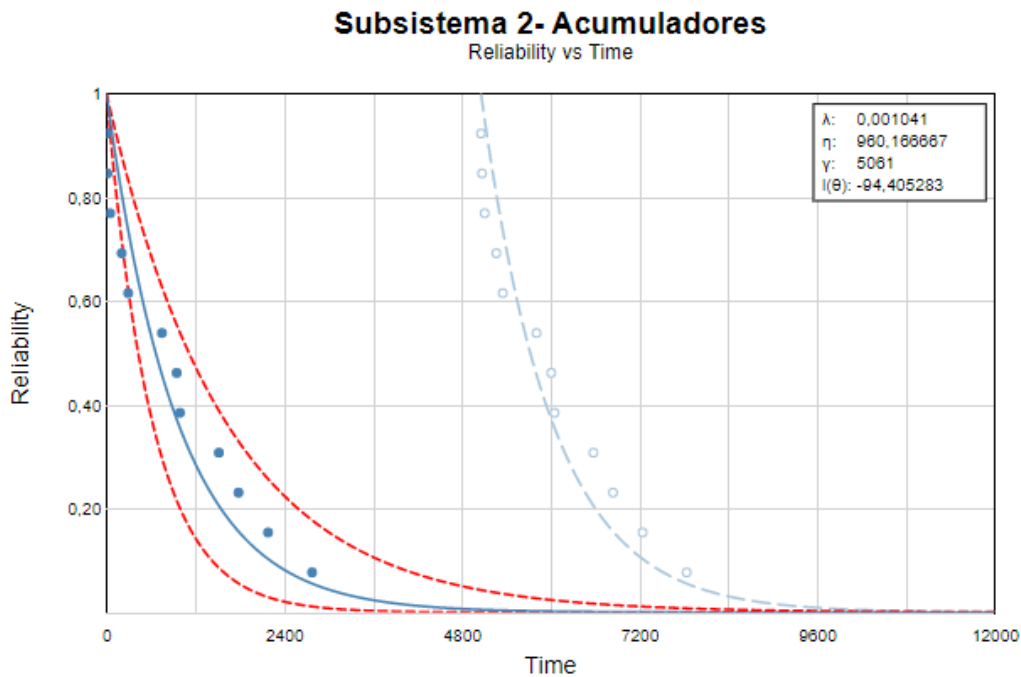


Figura 42 - Fiabilidade vs tempo de operação dos Acumuladores (Fonte Própria)

A partir dos resultados obtidos podem retirar-se as seguintes conclusões:

- A distribuição Exponencial Biparamétrica com uma função gama de 5061 h e um parâmetro escala de 960h, foi a distribuição que melhor se ajustou aos dados de falha do subsistema 2;
- Este subsistema apresenta um MTBF de, cerca de, 5939 h e um MTTR de 61 h;
- 90% das falhas/avarias ocorrem depois das de probabilidade de falha nas 5167 horas ($B_{10}=5167$ horas);
- Seguindo os requisitos que o cliente final definiu em conjunto com a Navipa, a referência dos intervalos na elaboração do plano de manutenção preventivo deverá ser entre as 5136 horas e as 5218 horas (intervalo de confiança para B_{10}).

3.8.3 Resultados da Análise ao subsistema 3- Grupo de Circulação

Na Tabela 29, encontra-se representado o histórico de falhas, referente ao subsistema 3 – Grupo de Circulação.

Tabela 29 - Histórico de falhas do subsistema 3 – Grupo de Circulação

Id	TTF	Tempo	Componente	Modo de Falha
----	-----	-------	------------	---------------

Acumulado (h)				
1	3584	3584	Bloco Distribuidor	Passagem de óleo bloqueada
2	5325	8909	Tomada de Pressão	Falha Hidráulica
3	5229	14138	Tubagem de Pressão	Fuga
4	5395	19533	Válvula de 2 vias	Falha Mecânica
5	6339	25872	Bloco Distribuidor	Fuga
6	5902	31774	Regulador de Caudal	Falha Mecânica
7	4336	36110	Tubagem de Pressão	Fuga
8	5765	41875	Bloco Distribuidor	Degaste por Corrosão
9	4600	46475	Tubagem de Pilotagem	Degaste por Corrosão
10	7926	54400	Bloco Distribuidor	Fuga
11	5220	59621	Tubagem de Pressão	Fuga
12	5289	64910	Tubagem de Retorno	Degaste por Corrosão
13	5503	70413	Bloco Distribuidor	Passagem de óleo bloqueada
14	5383	75796	Tubagem de Pressão	Fuga
15	5585	81381	Válvula de 2 vias	Falha Mecânica
16	6448	87829	Bloco Distribuidor	Fuga
17	5999	93828	Tomada de Pressão	Falha Hidráulica
18	6382	100210	Tubagem de Pilotagem	Degaste por Corrosão
19	5888	106098	Bloco Distribuidor	Degaste por Corrosão

Após a introdução dos dados TTF no software *Relyence* e posterior realização de todo o processo de análise de fiabilidade, conforme descrito acima, foi possível obter os resultados desejados, os mesmos encontram-se representados na Tabela 30, assim

como a imagem do gráfico de Fiabilidade em função do tempo de trabalho, representado em horas, conforme a Figura 43.

Tabela 30 - Resultados do Subsistema 3 – Grupo de Circulação

Subsistema: 3 - Grupo de Circulação	
Método estatístico	MLE
Distribuição de probabilidades	Weibull Triparamétrica
Parâmetros da distribuição	$\beta=1,9$; $\eta= 1650,8$; $\gamma=41651$; $l(\theta)=-153$
MTBF (h)	5584
MTTR (h)	53
Fiabilidade mínima requerida (%)	90
Intervalo de confiança para B_{10} (%)	90
Tempo de operação mínimo (h)	4051
B_{10} (h)	4672
Tempo de operação máximo (h)	4855

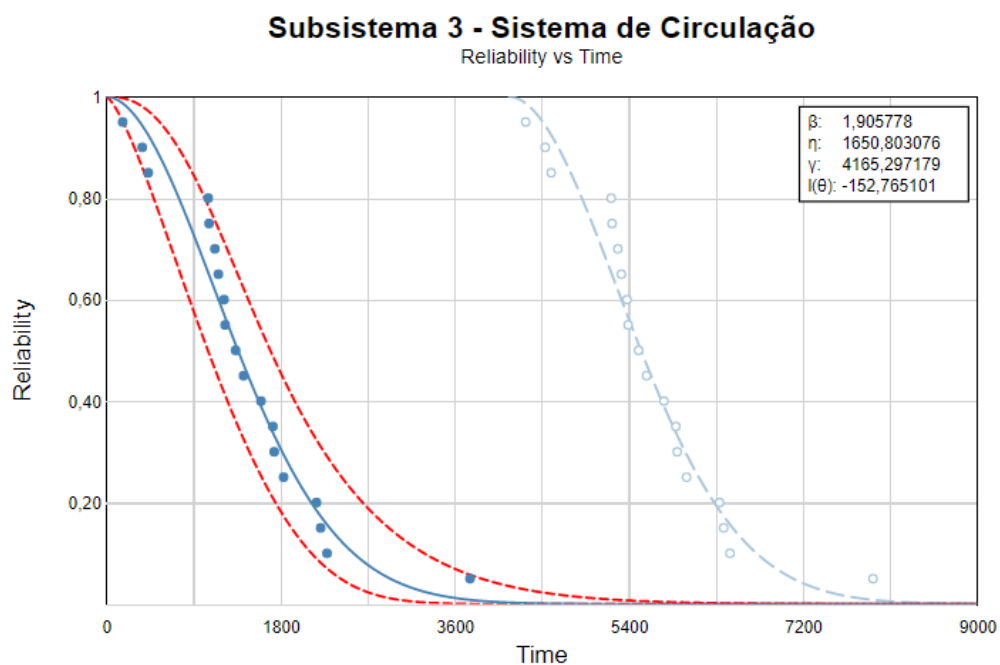


Figura 43 - Fiabilidade vs Tempo de Operação do Grupo de Circulação (Fonte Própria)

A partir dos resultados obtidos podem retirar-se as seguintes conclusões:

- A distribuição Weibull Triparamétrica com uma função gama de 4165 h e um parâmetro escala de 1650 h, foi a distribuição que melhor se ajustou aos dados de falha do subsistema 3;
- Este subsistema apresenta um MTBF de, cerca de, 5584 h e um MTTR de 53 h;
- 90% das falhas/avarias ocorrem depois das de probabilidade de falha nas 4672 horas ($B_{10}=4672$ horas);
- Seguindo os requisitos que o cliente final definiu em conjunto com a Navipa, a referência dos intervalos na elaboração do plano de manutenção preventivo deverá ser entre as 4051 horas e as 4855 horas (intervalo de confiança para B_{10}).

3.8.4 Resultados da Análise ao subsistema 4 – Servomotores

Dado que o histórico de falhas referente ao Subsistema 4 -Servomotores é extenso, o mesmo encontra-se representado no Anexo 4 - Modos de falha por subsistema.

Após a introdução dos dados TTF no software *Relyence* e posterior realização de todo o processo de análise de fiabilidade, conforme descrito acima, foi possível obter os resultados desejados, os mesmos encontram-se representados na Tabela 31, assim como a imagem do gráfico de Fiabilidade em função do tempo de trabalho, representado em horas, conforme a Figura 44.

Tabela 31 - Resultados do Subsistema 4 Servomotores

Subsistema: 4 – Servomotores	
Método estatístico	MLE
Distribuição de probabilidades	Normal
Parâmetros da distribuição	$\mu= 5724$; $\sigma= 969$; $l(\theta)= -340,1$
MTBF (h)	5724
MTTR (h)	50
Fiabilidade mínima requerida (%)	90
Intervalo de confiança para B_{10} (%)	90
Tempo de operação mínimo (h)	4194
B_{10} (h)	4482
Tempo de operação máximo (h)	4723

A partir dos resultados obtidos podem retirar-se as seguintes conclusões:

- A distribuição normal de média 5724 h e desvio padrão 969 h foi a distribuição que melhor se ajustou aos dados de falha do subsistema 4;
- Este subsistema apresenta um MTBF de, cerca de, 5884 h e um MTTR de 50 h;
- 90% das falhas/avarias ocorrem depois das de probabilidade de falha nas 4482 horas ($B_{10}=4482$ horas);
- Seguindo os requisitos que o cliente final definiu em conjunto com a Navipa, a referência dos intervalos na elaboração do plano de manutenção preventivo deverá ser entre as 4194 horas e as 4723 horas (intervalo de confiança para B_{10}).

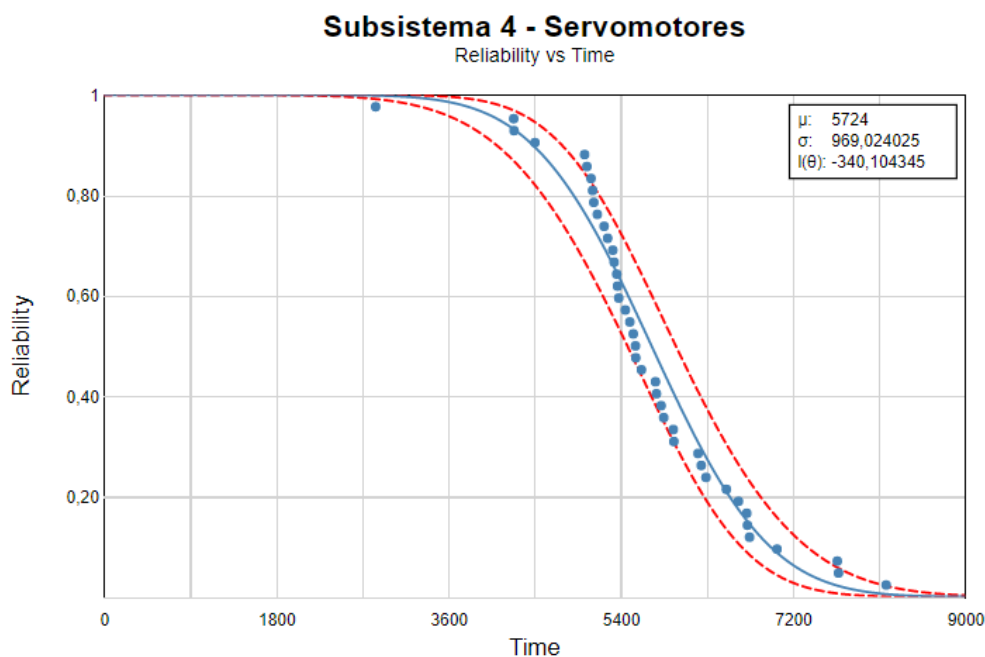


Figura 44 - Fiabilidade vs Tempo de Operação dos Servomotores (Fonte Própria)

3.8.5 Resultados da Análise ao subsistema 5 – Refrigeração

Na Tabela 32 , encontra-se representado o histórico de falhas, referente ao subsistema 5 - Refrigeração.

Tabela 32 -Histórico de falhas do subsistema 5 - Refrigeração

Id	TTF	Tempo Acumulado (h)	Componente	Modo de Falha
1	5243	5243	Filtro de Entrada	Colmatação

2	5489	10732	Pressostato	Falha Elétrica
3	4911	15643	Filtro de Entrada	Sobreaquecimento
4	6116	21759	Pressostato	Falha Elétrica
5	6011	27770	Filtro de Entrada	Colmatação
6	5907	33677	Filtro de Entrada	Colmatação
7	7783	41460	Filtro de Entrada	Sobreaquecimento
8	5847	47307	Termostato	Falha Elétrica

Após a introdução dos dados TTF no software *Relyence* e posterior realização de todo o processo de análise de fiabilidade, descrito acima, foi possível obter os resultados desejados, os mesmos encontram-se representados na Tabela 33, assim como a imagem do gráfico de Fiabilidade em função do tempo de trabalho, representado em horas, conforme a Figura 45.

Tabela 33 - Resultados do Subsistema 5 – Refrigeração

Subsistema: 5 - Refrigeração	
Método estatístico	MLE
Distribuição de probabilidades	Weibull Triparamétrica
Parâmetros da distribuição	$\beta=1,2$; $\eta= 1123$; $\gamma=4861,9$; $l(\theta)= -63,4$
MTBF (h)	5913
MTTR (h)	48
Fiabilidade mínima requerida (%)	90
Intervalo de confiança para B_{10} (%)	90
Tempo de operação mínimo (h)	4924
B_{10} (h)	5047
Tempo de operação máximo (h)	5232

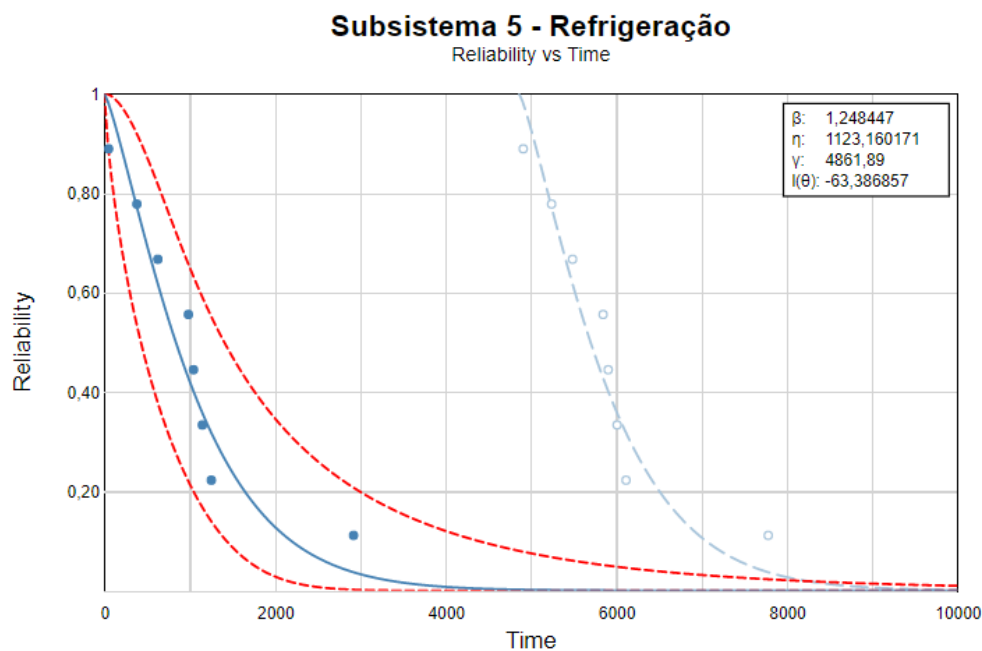


Figura 45 - Fiabilidade vs Tempo de Operação da Refrigeração (Fonte Própria)

A partir dos resultados obtidos podem retirar-se as seguintes conclusões:

- A distribuição Weibull Triparamétrica com uma função gama de 4861,9 h e um parâmetro escala de 1123 h, foi a distribuição que melhor se ajustou aos dados de falha do subsistema 5;
- Este subsistema apresenta um MTBF de, cerca de, 5913 h e um MTTR de 48 h;
- 90% das falhas/avarias ocorrem depois das de probabilidade de falha nas 5047 horas ($B_{10}=5047$ horas);
- Seguindo os requisitos que o cliente final definiu em conjunto com a Navipa, a referência dos intervalos na elaboração do plano de manutenção preventivo deverá ser entre as 4924 horas e as 5232 horas (intervalo de confiança para B_{10}).

3.8.6 Análise aos Modos de Falha (Pareto)

Após a realização da análise de Fiabilidade, consequentemente à mesma realizou-se uma Análise de Pareto.

Esta análise baseia-se na observação de que os resultados operacionais e a riqueza económica não estão distribuídos uniformemente e que alguns *inputs* contribuem mais do que outros. É referida como a regra 80/20, uma nomenclatura que popularizou um conceito económico complexo introduzido por Vilfredo Pareto, um economista italiano do século XIX. O conceito subjacente é que a maioria dos problemas (cerca de 80%) são

frequentemente causados por um pequeno número de fontes (cerca de 20%) (Powell & Sammut-Bonnici, 2015).

Neste caso, pretendeu-se identificar os modos de falhas mais recorrentes, para se poder executar uma avaliação correta na elaboração dos planos preventivos. A Figura 46 e a Tabela 34 contêm os resultados dessa análise.

Tabela 34 - Tabela com análise Pareto

ID	Modo de Falha	n	% Relativa	% Acumulado
MD 2	Fuga	38	30,6%	30,6%
MD 9	Degaste por Corrosão	14	11,3%	41,9%
MD 11	Colmatação	12	9,7%	51,6%
MD 13	Falha Mecânica	11	8,9%	60,5%
MD 1	Passagem de óleo bloqueada	10	8,1%	68,5%
MD 8	Falha Hidráulica	10	8,1%	76,6%
MD 14	Falha Elétrica	10	8,1%	84,7%
MD 4	Pressão insuficiente	6	4,8%	89,5%
MD 5	Sobreaquecimento	3	2,4%	91,9%
MD 7	Vibração intensa	3	2,4%	94,4%
MD 12	Ruído Intenso	2	1,6%	96,0%
MD 3	Caudal insuficiente	2	1,6%	97,6%
MD	Cavitação	2	1,6%	99,2%
MD 10	Degaste por Fadiga	1	0,8%	100,0%
Total		124		

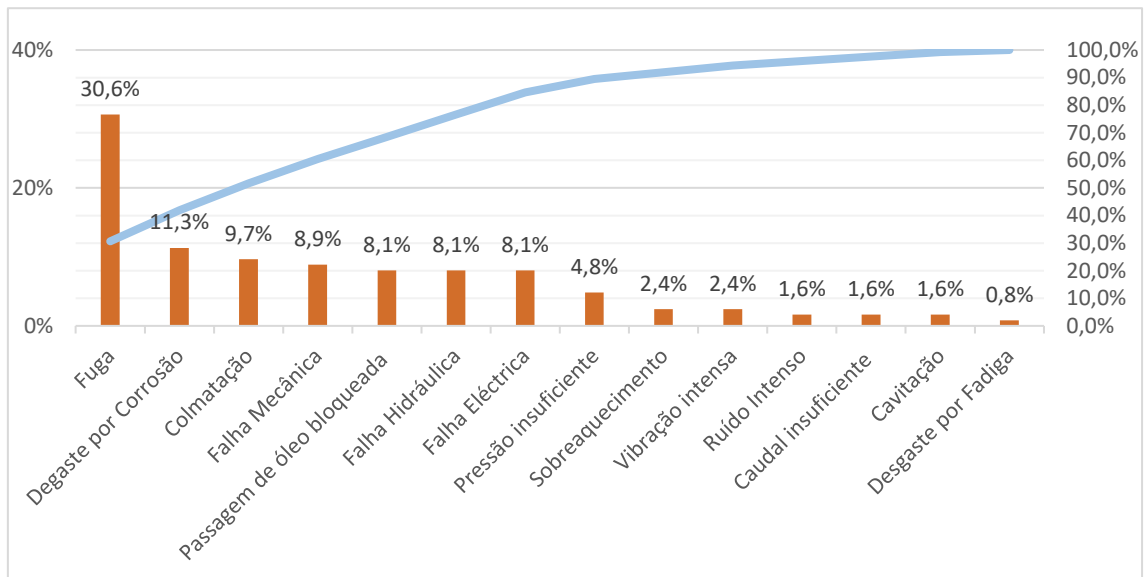


Figura 46 - Distribuição Percentual da Análise Pareto (Fonte Própria)

Sendo assim, através da análise de Pareto, pode verificar-se que:

- Cerca de 30.6 % das falhas provêm modo de falha Fugas, provenientes de componentes com maior incidência no Servomotor, Unidade Energética e Grupo de Circulação;
- Cerca de 11.3 % das falhas provêm modo de falha Desgaste por corrosão, provenientes de componentes como o Servomotor, o que faz sentido dado que a maior parte da tubagem existente é em Aço Carbono ST 37.2 e também pelo facto, de a proteção anticorrosiva existente do subsistema já possuir cerca de 30 anos;
- Cerca de 9.7 % falhas provêm do modo de falha Colmatação, o que se explica devido ao facto de não estar estabelecido nenhuma periodicidade de manutenção em relação aos elementos dos diversos subsistemas;
- As restantes, são falhas secundárias que serão tratadas com um diferente nível de priorização e englobadas no Plano de Manutenção apresentado no subcapítulo adiante.

3.9 Programação dos Planos Preventivos

Após a obtenção e análise dos resultados da análise de Fiabilidade e também aos seus modos de falhas, estão reunidas as condições para a elaboração do plano de manutenção preventivo. Numa primeira fase, esta etapa será constituída pela definição de blocos de paragem para a implementação das ações preventiva.

Posteriormente, com ajuda do FMEA e da análise de criticidade, serão definidas o tipo de ações a serem realizadas em cada subsistema.

Realce-se que estes blocos requerem a confirmação por parte do cliente final para a sua implementação em produtivo, ou seja, dado que o tempo de operação de um sistema óleo-hidráulico varia de ano para ano, este pode ficar condicionado em função dessa situação e também em relação à disponibilidade da central.

3.9.1 Definição de Blocos de Intervenções

Na Figura 47, retirada da ferramenta de trabalho, estão representados os dados referente aos intervalos de operação previstos para as ações de manutenção preventiva.

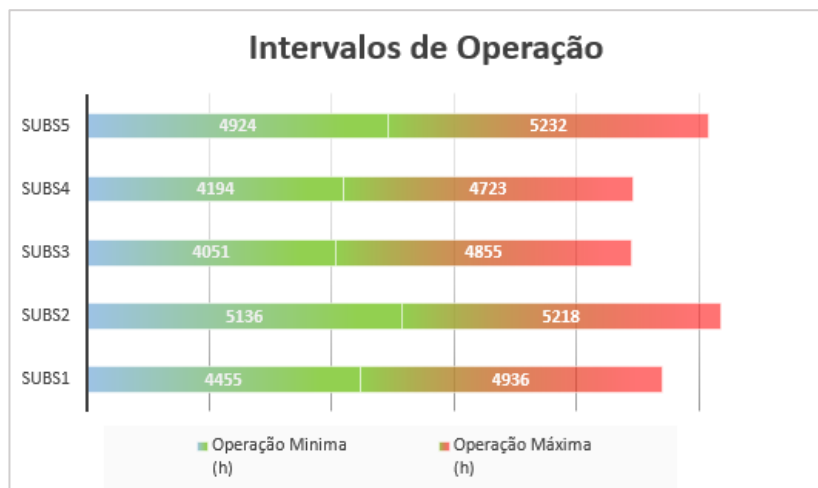


Figura 47 - Intervalos de Operação Mínima e Máxima (Fonte Própria)

Fazendo o cruzamento entre os intervalos em que pode programar a operação de implementação da ação preventiva, com o intuito de maximizar o tempo de operação e ao mesmo tempo minimizar o número de blocos, obtemos os blocos de intervenção conforme representando na Tabela 35.

Tabela 35 - Definição de Blocos para as Ações Preventivas

Blocos	ID do Subsistema	Periodicidade (h)
Bloco A	SUBS1; SUBS3 e SUBS4	4600
Bloco B	SUBS2 e SUBS5	5100

Após a manutenção ser efetuada é muito importante medir a resultados da implementação da mesma, pelo que se aconselha à realização de auditorias de manutenção e também de uma nova análise de fiabilidade da central. Depois definida a estratégia de manutenção, o passo seguinte é a execução do plano de manutenção.

3.9.2 Definição dos Planos de Manutenção

Na elaboração das ações de manutenção, foram consideradas as seguintes necessidades:

- Necessidade de estabelecer um objetivo de manutenção;
- Capacidade da equipa de trabalho e recursos disponíveis;
- Identificação das falhas dos subsistemas;
- Aquisição de material, componentes para o efeito;
- Afetação de recursos com base nas especializações;
- Fixação das datas de manutenção com base no tempo de operação dos subsistemas.

Para definição das ações de manutenção, foi tido em conta todo o estudo presente, na Figura 49 e Figura 48, encontra-se o plano referente ao Servomotores e as respetivas ações, enquadradas num documento feito especificamente para o efeito. Toda a informação que tiver de ser registada, deve ser feita nesse mesmo *template*, que se encontra no Anexo 5 - *Template* Plano de Manutenção .

Referência nr.	Elaborado por:	Revisão	Datas
EN_SMI	Pedro Gonçalves	0	__/__/__

Item nr.	Description
1	Indicador de Posição
2	Haste
3	Plástico
4	Porta Vedantes
5	Câmara
6	Bloco Hidráulico

Item Nr.	Torque / Notas
1	Chave Allen 8 – 12 kgf/mm ²
8	Chave de Boca 22- Usar Loctite #545 ou Equivalente
9	Chave Allen 5 – Usar Loctite #542 ou Equivalente
11	Chave Allen 8 – 12 kgf/mm ²
12	Chave Allen 8 – 12 kgf/mm ²

To maintain your warranty, ave your products inspected and repaired by an authorised Naviipa centre.
www.na.zipa.pt

Figura 49 - PM com informação referente ao Servomotor a intervir (Fonte Própria)

DESCRICOÃO	RESULTADO	CONDIÇÕES DE REALIZAÇÃO	MATERIALS	RECURSOS HUMANOS
Inspeção Visual a todo o circuito interno				
Remover a sujidade, especialmente dos raspadores da haste				
Substituir quaisquer vedantes com fugas				
Substituir vedantes com danos				
Desmontar Fundo e Porta Vedantes				
Verificar Plástico e Superfícies internas da câmara				
Desmontar Bloco e executar uma verificação visual e funcional ao mesmo				
Inspeção geométrica à haste				
Verificação da espessura da camada de cromo da haste				
Verificação da espessura da Proteção anticorrosiva dos restantes componentes				
Decapar e aplicar PAC no local em caso de corrosão				
Verificar contactos dos sensores fins de curso.				

PROCEDIMENTOS E RESULTADO DA RECEÇÃO				
Ensaio Preliminar em obra				
Inspeção Visual geral	Verificação dos Documentos / Instrumentos ensaio			
	Ensaio visual geral			
	Ajustamento Quantitativo			
Controlo Dimensional do Servomotor	Controlar Emissões e/ou ruidos excessivos (Ensaio)			NAI (NAI) (NAI) (NAI)
	Controlo Dimensional do Ø Haste			
	Controlo Dimensional do Curso			
Ensaio de Pressão	Verificação funcional			
	Servomotor com haste recoberta			(1)
Ensaio Estático	Controlo deformações			(2)
	Clivoro com haste recoberta			(3)

Figura 48 - PM com ações preventivas referente ao Servomotor a intervir (Fonte Própria)

3.9.2.1 Ações de Manutenção do Subsistema 1 – Unidade Energética (Bloco A)

Na lista abaixo, são apresentadas as ações recomendadas, tendo em conta em conta a análise obtida, para o Subsistema 1 – Unidade Energética, que irá ficar no Bloco A.

- Verificação e aperto de parafusos e braçadeiras de tubos;
- Verificação dos acoplamentos da bomba e do motor;
- Apertar os parafusos das bombas, motores elétricos, válvulas e bloco de acordo com o torque indicado para o efeito;
- Verificação da existência de fugas;
- Substituir quaisquer acessórios ou tubos que continuem a vazar após serem apertados;
- Verificar alterações de temperatura no óleo;
- Verificar o sistema quanto a água ou sujidade no óleo;
- Verificar as leituras do manómetro;
- Monitorizar o ruído de funcionamento das bombas e motores elétricos para identificação de possíveis alterações nos componentes;
- Verificar possíveis fugas em grupos de válvulas, limpando um item antes de o inspecionar;
- Manter limpas as superfícies das tubagens, componentes e tanques;
- Verificar com os operadores para determinar se é necessário algum serviço ou manutenção;
- Verificar filtros de Ar, de Pressão, de Retorno e de Aspiração;
- Substituir quaisquer vedantes com fugas;
- Verificar o estado das mangueiras hidráulicas. Remover os principais acúmulos de sujidade. Se as mangueiras tiverem fissuras ou se o óleo se infiltrar entre a manga e a mangueira (a extremidade da mangueira está húmida), substituir a mangueira;
- Retirar amostra de óleo e analisar, se o mesmo possui qualquer tipo de contaminantes de acordo com a norma NAS1638 – NAS6 (Verificação de existência de contaminantes e desgaste);
- Drenar o tanque de óleo da unidade de potência e limpar o tanque;
- Verificar o estado do sistema hidráulico, testando todos os componentes acionados hidráulicamente;
- Verificar o livro de serviço para ver se os operadores de serviços registaram algum problema.

Informação adicional

Se o óleo tiver que de ser reutilizado, é necessário certificar que o dreno do mesmo seja efetuado em recipientes limpos.

Quando voltar a encher o depósito, certifique-se de filtrar o óleo novo ou reutilizado utilizando uma unidade de filtragem separada.

Não utilizar resíduos ou panos de algodão na limpeza do tanque.

Se houver um intervalo de tempo entre a limpeza e o reabastecimento do tanque, mantê-lo selado para evitar a entrada de humidade no interior do tanque.

Limpar cuidadosamente o interior do tanque utilizando, uma solução de limpeza aprovada pelo fornecedor de óleo.

3.9.2.2 Ações de Manutenção do Subsistema 2 – Acumuladores (Bloco B)

Na lista abaixo, são apresentadas as ações recomendadas, tendo em conta a análise obtida, para o Subsistema 2 – Acumuladores, que irá ficar no Bloco B.

- Verificação da pressão de pré-carga;
- Substituição de quaisquer vedantes com fugas.
- Verificação do Pistão e Superfícies internas do acumulador;
- Verificação da espessura da Proteção anticorrosiva dos restantes componentes;
- Decapar e aplicar PAC no local em caso de corrosão;
- Desmontar Bloco e executar uma verificação visual e funcional ao mesmo;
- Verificação visual e funcional ao regulador.

3.9.2.3 Ações de Manutenção do Subsistema 3 – G de Circulação (Bloco A)

Na lista abaixo, são apresentadas as ações recomendadas, tendo em conta em conta a análise obtida, para o Subsistema 3 –Circulação, que irá ficar no Bloco A.

- Inspeção Visual a todo o circuito;
- Verificação da existência de fugas;
- Substituição de acessórios ou tubos que continuem com fuga após serem apertados;
- Verificação e aperto de parafusos e braçadeiras de tubos com o torque indicado para o efeito;
- Substituição de quaisquer vedantes com fugas;
- Verificação da espessura da Proteção anticorrosiva dos restantes componentes;
- Decapar e aplicar PAC no local em caso de corrosão.

3.9.2.4 Ações de Manutenção do Subsistema 4 – Servomotores (Bloco A)

Na lista abaixo são apresentadas as ações recomendadas, para o Subsistema 4 – Servomotores, que irá ficar no Bloco A, tendo em conta a análise obtida.

- Inspeção Visual a todo o circuito interno;
- Remover a sujidade, especialmente dos raspadores da haste;

- Substituir quaisquer vedantes com fugas;
- Substituir vedantes com danos;
- Desmontar Fundo e Porta Vedantes;
- Verificar Pistão e Superfícies internas da camisa;
- Desmontar Bloco e executar uma verificação visual e funcional ao mesmo;
- Inspeção geométrica à haste;
- Verificação da espessura da camada de crómio da haste;
- Verificação da espessura da Proteção anticorrosiva dos restantes componentes;
- Decapar e aplicar PAC no local em caso de corrosão;
- Verificar contactos dos sensores fins de curso.

3.9.2.5 *Ações de Manutenção do Subsistema 5 – Refrigeração (Bloco B)*

Na lista abaixo são apresentadas as ações recomendadas, tendo em conta a análise obtida, para o Subsistema 5 – Refrigeração, que irá ficar no Bloco B.

- Inspeção Visual a todo o circuito de refrigeração;
- Verificação da espessura da Proteção anticorrosiva dos restantes componentes;
- Decapar e aplicar Proteção PAC no local em caso de corrosão;
- Verificar e limpar o filtro na tubagem da água de arrefecimento;
- Verificar e limpar o filtro na tubagem do óleo;
- Substituir quaisquer vedantes com fugas;
- Verificar Termómetro;
- Verificar contactos do Pressostato;
- Monitorizar o sons e vibrações.

CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.2 Propostas de trabalhos futuros

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 Conclusões

Para muitas instalações hidroelétricas, a utilização de práticas de manutenção centradas na fiabilidade melhora a disponibilidade da mesma, evitando assim várias interrupções forçadas (Wolter et al., 2022) .

A manutenção centrada na fiabilidade (RCM) e as práticas de manutenção baseadas na condição podem prolongar a duração entre rotinas de manutenção e melhorar a disponibilidade das unidades e eliminar algumas interrupções forçadas. Apesar destes benefícios justificarem o investimento inicial necessário para mudar as práticas tradicionais de manutenção, e os orçamentos mais elevados necessários para estes esforços de tipo preventivo, podem representar desafios (Wolter et al., 2022).

O primeiro objetivo do trabalho desenvolvido na presente dissertação teve como finalidade, numa primeira abordagem, a mitigação dos modos de falha de um sistema hidráulico com vários anos. Nesta fase, foi importante analisar os equipamentos existentes e os seus modos de falha possíveis. A análise FMEA permitiu compreender os tipos de modos de falha dos componentes e também perceber quais os componentes que são críticos. Foi confirmado o que os autores, Zhou & Tang, referem, ou seja, através da qualificação das falhas é possível identificar os modos de falha nos quais é necessário atuar primeiramente e hierarquizar as ações prioritárias de modo a melhorar os índices necessários (Zhou & Tang, 2018).

O segundo objetivo foi a elaboração de uma análise de Fiabilidade, tendo como finalidade a determinação dos períodos de manutenção, quando o subsistema tem 10% probabilidade de uma falha acontecer. Desta forma, pode-se impedir e reduzir a ocorrência das falhas e melhorar a deteção das mesmas antes da sua industrialização, permitindo identificar os componentes mais críticos e realizar um estudo aprofundado destes, com o intuito de realmente conseguir antever as falhas e criar as ferramentas necessárias para a sua deteção prévia.

O terceiro objetivo foi a definição dos planos de manutenção em função de tudo o que foi estudado e aplicado na presente dissertação.

Por fim, destaque para o quarto objetivo, que consiste na implementação total da ferramenta no produtivo. Este não foi totalmente cumprido, devido à falta de tempo e de recursos. Deste modo, e em concordância com a Navipa tomou-se a opção estratégica da realização deste ponto num futuro próximo.

A Navipa deve apresentar os resultados obtidos ao cliente final, para ajudar a determinar os horários de manutenção preventiva e inspeção conforme a disponibilidade da Central. A criação de um calendário de manutenção preventiva ajudará a garantir uma manutenção proactiva, em vez de se recorrer a uma manutenção reativa, que se torna dispendiosa, caso o equipamento comece a falhar inesperadamente.

Adicionalmente, foi também iniciado um processo de nomenclatura para que o mesmo se tornasse o denominador comum entre as operações da manutenção.

Por acréscimo, foram também realizados, no software Fluidsim-6 e Autocad 2022, os respetivos esquemas hidráulicos, conforme as normas atuais, DIN 19704-2 *Hydraulic steel structures - Part 2: Design and manufacturing* e ISO 1219-1:2012, esta atualização servirá, para uma melhor interpretação dos subsistemas por parte da equipa de trabalho, dado que somente existia um diagrama de ligações, com simbologia própria da Sorefame, que se encontrava desenquadrada aos relativamente às normas atuais.

Na Tabela 36, encontram-se representados os objetivos inicialmente propostos e os seus respetivos estados, até à data.

Tabela 36 - Análise dos objetivos inicialmente propostos

Objetivo	Estado
Análise FMEA	Concluído
Análise de Fiabilidade	Concluído
Análise de Criticidade	Concluído
Desenvolvimento de Planos de Manutenção	Concluído
Implementação da ferramenta em produtivo	Não Concluído

Conclui-se, que este estudo permitiu conhecer os diferentes equipamentos de 1ª geração Óleo-Hidráulicos existentes numa Central Hidroelétrica Portuguesa, equipamentos esses, que carecem de informação relativamente à sua manutenção.

A aplicação de várias ferramentas baseadas numa Manutenção Centrada em Fiabilidade, resultou no cruzamento de várias sinergias tendo em vista a otimização das operações de manutenção efetuadas pela Navipa, permitindo à mesma um maior controlo sobre a gestão do equipamento, de acordo com os requisitos do cliente final.

4.2 Propostas de trabalhos futuros

O principal objetivo desta dissertação, foi analisar e explorar os benefícios da integração de modelos de otimização de rendimento na manutenção de equipamento que se esta a tornar obsoleto em centrais hidroelétricas. No entanto, um tema tão vasto, apresenta sempre espaço possível para melhorar a implementação proposta, ou seja, existem caminhos por explorar.

Por conseguinte, num trabalho futuro, poderiam ser abordados os seguintes temas:

- O primeiro é a otimização da proposta atual, para reduzir o seu custo, através de uma análise posterior à implementação dos planos em produtivo;
- Um outro trabalho que se deve realizar é a prolongação do mesmo, ou seja, o FMEA, conseqüente RCM e análises de Fiabilidade são ferramentas dinâmicas, são processos interativos de melhoria continua, quanta mais informação melhor será o estudo, o que se propõe alargar o mesmo para outros sistemas e Centrais Hidroelétricas;
- Para análise dos modos de falha foi utilizado o FMEA, uma outra alternativa, que daria ao operador uma visualização gráfica das mesmas, seria a aplicação de uma análise da árvore de falhas (FTA). Tal como referem os autores Halme, Jari e Aikala, Antti (2012), esta possibilitaria a atribuição com foco e recursos nos componentes e subsistemas que são pouco fiáveis e propensos a falhas, através da a exploração de uma componente forte visual, que permite ao utilizador uma análise intuitiva no estudo de fiabilidade de sistemas complexos e dos seus subsistemas (Halme & Aikala, 2012);
- Por último, seria interessante que as partes envolvidas fizessem um controlo de custos após implementação do plano de ações, determinando, como os custos de manutenção estão a ser utilizados e a percentagem dos custos reais que são gastos no programa de manutenção preventiva, comparando assim com as despesas verificadas anteriormente na reparação corretiva, criando dessa forma a possibilidade de visualização de uma métrica ao longo do tempo para mostrar, analisar, e ajustar os programas de prevenção com base nas tendências observadas.

BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

5.1 Artigos, Livros e Apontamentos de aula

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

5.1 Artigos, Livros e Apontamentos de aula

- Achamu, G., Melese, A., Haile, B., & Sundaram, B. (2018). TPM and RCM Implementation in Textile Company for Improvement of Overall Equipment Effectiveness. *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering*, 4(10), 129–136. <https://doi.org/10.31695/IJASRE.2018.32914>
- Afey, I. H. (2010). Reliability-Centered Maintenance Methodology and Application: A Case Study. *Engineering*, 02(11), 863–873. <https://doi.org/10.4236/eng.2010.211109>
- Ahuja, I. P. S., & Khamba, J. S. (2008). Total productive maintenance implementation in a manufacturing organisation. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 3(3), 360. <https://doi.org/10.1504/IJPQM.2008.017504>
- Aju kumar, V. N., Gupta, P., & Gandhi, O. P. (2019). Maintenance performance evaluation using an integrated approach of graph theory, ISM and matrix method. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 10(1), 57–82. <https://doi.org/10.1007/s13198-018-0753-6>
- Assis, R. (2010). *Apoio a Decisão em Manutenção na Gestão de Ativos Físicos*. Lidel.
- Azid, N. A. A., Shamsudin, S. N. A., Yusoff, M. S., & Samat, H. A. (2019). Conceptual Analysis and Survey of Total Productive Maintenance (TPM) and Reliability Centered Maintenance (RCM) Relationship. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 530(1), 012050. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/530/1/012050>
- Barbulescu, L. (2015). *Designing A Modular Simulator For A Navigation Lock*. January 2012.
- Basu, S. (2012). Hazard Assessment. Em *Lees' Loss Prevention in the Process Industries* (pp. 284–404). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397189-0.00009-4>
- Chan, F. T. S., & Prakash, A. (2012). Maintenance policy selection in manufacturing firms using the fuzzy MCDM approach. *International Journal of Production Research*, 50(23), 7044–7056. <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.653451>
- Chen, G., Yang, D., Liu, Y., & Guo, H. (2022). System reliability analyses of static and dynamic structures via direct probability integral method. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 388, 114262. <https://doi.org/10.1016/j.cma.2021.114262>
- De Carlo, F. (2013). Reliability and Maintainability in Operations Management. Em *Operations Management*. InTech. <https://doi.org/10.5772/54161>
- Demir, M., Kahramanoglu, G., & Bekir Yildiz, A. (2016). Importance of reliability for power electronic circuits, case study: Inrush current test and calculating of fuse melting point. *2016 IEEE International Power Electronics and Motion Control Conference (PEPMC)*, 830–834. <https://doi.org/10.1109/EPEPMC.2016.7752101>
- Demirbag, M., & Sahadev, S. (2008). Exploring the antecedents of quality commitment

- among employees: an empirical study. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 25(5), 494–507. <https://doi.org/10.1108/02656710810873899>
- Dhillon, B. S. (2006). *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420006780>
- Ebeling, C. (2004). *An Introduction To Reliability and Maintainability Engineering*.
- Efthymiou, K., Papakostas, N., Mourtzis, D., & Chryssolouris, G. (2012). On a Predictive Maintenance Platform for Production Systems. *Procedia CIRP*, 3(1), 221–226. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2012.07.039>
- El-Akruti, K., Dwight, R., & Zhang, T. (2013). The strategic role of Engineering Asset Management. *International Journal of Production Economics*, 146(1), 227–239. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2013.07.002>
- Eriksen, S., Utne, I. B., & Lützen, M. (2021). An RCM approach for assessing reliability challenges and maintenance needs of unmanned cargo ships. *Reliability Engineering & System Safety*, 210, 107550. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107550>
- Fernandes, R. B., Cristina, A., Fontenla, C., Prestes, A., & Filho, M. (2022). *Methodology for risk management in dams from the event tree and FMEA analysis*. 45(3), 1–15.
- Fidanoglu, M., Ungor, U., Ozkol, I., & Komurgoz, G. (2017). Application of Weibull Distribution Method for Aircraft Component Life Estimation in Civil Aviation Sector. *Journal of Traffic and Logistics Engineering*. <https://doi.org/10.18178/jtle.5.1.40-44>
- French, S. (2009). Action research for practising managers. *Journal of Management Development*, 28(3), 187–204. <https://doi.org/10.1108/02621710910939596>
- Frolov, V., Mengel, D., Bandara, W., Sun, Y., & Ma, L. (2010). Building an ontology and process architecture for engineering asset management. Em *Engineering Asset Lifecycle Management* (pp. 86–97). Springer London. https://doi.org/10.1007/978-0-85729-320-6_11
- Gaviria-Marin, M., Merigó, J. M., & Baier-Fuentes, H. (2019). Knowledge management: A global examination based on bibliometric analysis. *Technological Forecasting and Social Change*, 140, 194–220. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.07.006>
- Gupta, G., & Mishra, R. P. (2018). Identification of Critical Components Using ANP for Implementation of Reliability Centered Maintenance. *Procedia CIRP*, 69, 905–909. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.122>
- Halme, J., & Aikala, A. (2012). Fault tree analysis for maintenance needs. *Journal of Physics: Conference Series*, 364, 012102. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/364/1/012102>
- Hidirov, S., & Guler, H. (2019). Reliability, availability and maintainability analyses for railway infrastructure management. *Structure and Infrastructure Engineering*, 15(9), 1221–1233. <https://doi.org/10.1080/15732479.2019.1615964>
- Higgins, C., & Liu, X. (2018). Modeling of track geometry degradation and decisions on safety and maintenance: A literature review and possible future research directions. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 232(5), 1385–1397. <https://doi.org/10.1177/0954409717721870>
- Institute Ford Design. (2004). Ford Failure Mode and Effects Analysis. Em *Ford Failure Mode and Effects Analysis* (p. 290).
- Jardine, A. K. S., & Tsang, A. H. C. (2005). *Maintenance, Replacement, and Reliability*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420044614>

- Jinhui Wu, S., Zhang, D., & Schroeder, R. G. (2011). Customization of quality practices: the impact of quality culture. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 28(3), 263–279. <https://doi.org/10.1108/02656711111109883>
- Kapur, K. C., & Pecht, M. (Eds.). (2014). *Reliability Engineering*. John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781118841716>
- Kosky, P., Balmer, R., & Wise, G. (2013). *Exploring Engineering*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2011-0-04445-9>
- Li, J., Chen, Y., & Zhang, Y. (2020). System Availability Modelling and Optimization considering Multigeneral Quality Characteristics. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2020/6409838>
- Machado, C., & Davim, J. P. (2020). *Research Methodology in Management and Industrial Engineering* (Vol. 153). Springer International Publishing.
- Maletič, D., Maletič, M., & Gomišček, B. (2014). The impact of quality management orientation on maintenance performance. *International Journal of Production Research*, 52(6), 1744–1754. <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.848480>
- Martins, L., Silva, F. J. G., Pimentel, C., Casais, R. B., & Campilho, R. D. S. G. (2020). Improving Preventive Maintenance Management in an Energy Solutions Company. *Procedia Manufacturing*, 51, 1551–1558. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.216>
- Mobley, R. K. (2002). Role of Maintenance Organization. Em *An Introduction to Predictive Maintenance* (pp. 43–59). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-075067531-4/50003-8>
- Muchiri, P., Pintelon, L., Gelders, L., & Martin, H. (2011). Development of maintenance function performance measurement framework and indicators. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 295–302. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.04.039>
- Mzougui, I., & Felsoufi, Z. El. (2019). Proposition of a modified FMEA to improve reliability of product. *Procedia CIRP*, 84, 1003–1009. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.315>
- Nogueira, J. M., Romero, D., Espadas, J., & Molina, A. (2013). Leveraging the Zachman framework implementation using action – research methodology – a case study: aligning the enterprise architecture and the business goals. *Enterprise Information Systems*, 7(1), 100–132. <https://doi.org/10.1080/17517575.2012.678387>
- O'Connor, A. N., Modarres, M., & Mosleh, A. (2019). *Probability Distributions Used in Reliability Engineering*.
- Peter Poor, David Ženišek, & Basl, J. (2019). Historical overview of maintenance management strategies: Development from breakdown maintenance to predictive maintenance in accordance with four industrial revolutions. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, July, 495–504.
- Pham, H. (2003). *Handbook of Reliability Engineering*. Springer International Publishing.
- Pintelon, L. M., & Gelders, L. F. (1992). Maintenance management decision making. *European Journal of Operational Research*, 58(3), 301–317. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(92\)90062-E](https://doi.org/10.1016/0377-2217(92)90062-E)
- Pinto, J. P. (2013). *Manutenção LEAN*. Lidel.
- Powell, T., & Sammut-Bonnici, T. (2015). Pareto analysis. Em *Wiley Encyclopedia of Management* (pp. 1–2). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118785317.weom120202>

- Ramos, S. (2021). *Dispositivos para as aulas teóricas da Unidade Curricular Fiabilidade e Manutenção*.
- Saunders, M. N. K., Thornhill, A., & Lewis, P. (2009). *Research methods for business students*. Pearson Education.
- Shafiee, M., & Sørensen, J. D. (2019). Maintenance optimization and inspection planning of wind energy assets: Models, methods and strategies. *Reliability Engineering & System Safety*, 192, 105993. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2017.10.025>
- Sifonte, J. R., & Reyes-Picknell, J. V. (2017). *Reliability Centered Maintenance-Reengineered*. Productivity Press. <https://doi.org/10.1201/9781315207179>
- Smith, D. J. (2011). Interpreting Data and Demonstrating Reliability. Em *Reliability, Maintainability and Risk* (pp. 57–70). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-096902-2.00005-2>
- Subriadi, A. P., & Najwa, N. F. (2020). The consistency analysis of failure mode and effect analysis (FMEA) in information technology risk assessment. *Heliyon*, 6(1), e03161. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03161>
- Tang, Y., Liu, Q., Jing, J., Yang, Y., & Zou, Z. (2017). A framework for identification of maintenance significant items in reliability centered maintenance. *Energy*, 118, 1295–1303. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.11.011>
- van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Vecchi, A., & Brennan, L. (2009). Quality management: a cross-cultural perspective. *Cross Cultural Management: An International Journal*, 16(2), 149–164. <https://doi.org/10.1108/13527600910953900>
- Waeyenbergh, G., & Pintelon, L. (2002). A framework for maintenance concept development. *International Journal of Production Economics*, 77(3), 299–313. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(01\)00156-6](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(01)00156-6)
- Wolter, C., Albayrak, I., & David, L. (2022). *Novel Developments for Sustainable Hydropower* (Número July). <https://doi.org/10.1007/978-3-030-99138-8>
- Woo, S. (2020). Reliability Design of Mechanical Systems. Em *Reliability Design of Mechanical Systems*. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-7236-0>
- Yavuz, O., Doğan, E., Carus, E., & Görgülü, A. (2019). Reliability Centered Maintenance Practices in Food Industry. *Procedia Computer Science*, 158, 227–234. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.046>
- Zhao, Z., Wang, F., Jia, M., & Wang, S. (2010). Predictive maintenance policy based on process data. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 103(2), 137–143. <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2010.06.009>
- Zhou, X., & Tang, Y. (2018). Modeling and Fusing the Uncertainty of FMEA Experts Using an Entropy-Like Measure with an Application in Fault Evaluation of Aircraft Turbine Rotor Blades. *Entropy*, 20(11), 864. <https://doi.org/10.3390/e20110864>

ANEXOS

- 6.1 Anexo1 - Recolha de Dados
- 6.2 Anexo 2 - Análise FMEA
- 6.3 Anexo 3 - Análise de Criticidade dos Equipamentos
- 6.4 Anexo 4 - Modos de falha por subsistema
- 6.5 Anexo 5 - *Template* Plano de Manutenção

6 ANEXOS

6.1 Anexo1 - Recolha de Dados

Id	TTF	Subsistema	Componente	Modo de Falha
1	2840	Servomotor_TA4_S2	Pistão	Pressão insuficiente
2	4283	Servomotor_TA2_S2	Indicador de Posição	Falha Eléctrica
3	3584	Circulação_EP1_C1	Bloco Distribuidor	Passagem de óleo bloqueada
4	6540	Unidade Energética_TA5_UE	Grupo MotorBomba	Caudal insuficiente
5	5325	Circulação_TA1_C1	Tomada de Pressão	Falha Hidráulica
6	5984	Unidade Energética_PM_DC1	Grupo MotorBomba	Cavitação
7	5951	Servomotor_TA3_S1	Bloco Hidráulico	Fuga
8	4981	Unidade Energética_EN1_UE_2	Grupo MotorBomba	Fuga
9	5048	Servomotor_EN1_S1	Porta Vedantes	Fuga
10	5229	Circulação_EN1_C1	Tubagem de Pressão	Fuga
11	5243	Refrigeração_EN1_R1	Filtro de Entrada	Colmatação
12	5256	Unidade Energética_PM_DC1	Reservatório	Fuga
13	7134	Unidade Energética_PM_DC2	Limitadora de Pressão	Falha Mecânica
14	4287	Servomotor_TA1_S2	Câmara	Fuga
15	6243	Servomotor_TA1_S2	Pistão	Fuga
16	5368	Servomotor_EP1_C1	Porta Vedantes	Degaste por Corrosão
17	6948	Unidade Energética_EN1_UE_2	Filtro de Ar	Colmatação
18	6481	Unidade Energética_TA1_UE	Grupo MotorBomba	Vibração intensa
19	8420	Acumuladores_EN1_A1	Bloco de Segurança c/ Elemento Lógico	Fuga
20	7678	Servomotor_TA1_S2	Pistão	Pressão insuficiente
21	5489	Refrigeração_EN1_R1	Pressostato	Falha Eléctrica
22	5333	Servomotor_TA4_S1	Bloco Hidráulico	Passagem de óleo bloqueada
23	7840	Unidade Energética_PM_EP1	Reservatório	Fuga
24	6210	Servomotor_TA4_S1	Indicador de Posição	Falha Eléctrica
25	6584	Unidade Energética_EN1_UE_1	Manómetro	Fuga
26	7245	Acumuladores_EN1_A1	Regulador	Falha Mecânica
27	6293	Servomotor_EP1_C1	Bloco Hidráulico	Fuga
28	5775	Servomotor_TA2_S1	Pistão	Fuga
29	6348	Unidade Energética_TA5_UE	Filtro de Aspiração	Falha Hidráulica
30	5450	Servomotor_TA1_S2	Câmara	Fuga
31	6719	Servomotor_TA2_S2	Pistão	Fuga
32	5395	Circulação_EP1_C1	Válvula de 2 vias	Falha Mecânica
33	6339	Circulação_EP1_C1	Bloco Distribuidor	Fuga
34	6057	Unidade Energética_EN1_UE_2	Manómetro	Falha Hidráulica
35	4911	Refrigeração_EN1_R1	Filtro de Entrada	Sobreaquecimento
36	6845	Acumuladores_DC2_A1	Bloco de Segurança c/ Elemento Lógico	Fuga
37	5984	Unidade Energética_PM_DC2	Placa Base	Passagem de óleo bloqueada
38	5957	Servomotor_TA1_S2	Porta Vedantes	Degaste por Corrosão
39	5902	Circulação_TA4_C1	Regulador de Caudal	Falha Mecânica
40	4336	Circulação_TA4_C1	Tubagem de Pressão	Fuga
41	5229	Unidade Energética_TA1_UE	Grupo MotorBomba	Falha Mecânica
42	5838	Unidade Energética_TA5_UE	Grupo MotorBomba	Caudal insuficiente
43	5618	Servomotor_EP1_C1	Pistão	Pressão insuficiente
44	5647	Unidade Energética_EN1_UE_2	Filtro de Retorno	Colmatação
45	6580	Acumuladores_DC2_A2	Regulador	Falha Mecânica
46	6726	Servomotor_TA1_S2	Indicador de Posição	Falha Eléctrica
47	5951	Unidade Energética_TA3_UE	Filtro de Aspiração	Colmatação
48	5091	Servomotor_TA4_S2	Indicador de Posição	Degaste por Corrosão
49	5765	Circulação_EP1_C1	Bloco Distribuidor	Degaste por Corrosão
50	4600	Circulação_EN1_C1	Tubagem de Pilotagem	Degaste por Corrosão
51	7035	Servomotor_TA2_S1	Bloco Hidráulico	Fuga
52	6107	Unidade Energética_TA2_UE	Manómetro	Falha Hidráulica
53	5358	Unidade Energética_PM_DC2	Limitadora de Pressão	Falha Mecânica
54	6010	Acumuladores_EN1_A2	Pistão	Degaste por Fadiga
55	6116	Refrigeração_EN1_R1	Pressostato	Falha Eléctrica
56	4505	Servomotor_TA2_S2	Pistão	Fuga
57	7926	Circulação_TA3_C1	Bloco Distribuidor	Fuga
58	6116	Unidade Energética_EN1_UE_2	Electroválvulas	Fuga
59	5111	Acumuladores_DC2_A1	Pistão	Fuga
60	6632	Servomotor_TA4_S1	Câmara	Fuga
61	7665	Servomotor_DC1_S1	Porta Vedantes	Fuga
62	5340	Unidade Energética_PM_EP1	Grupo MotorBomba	Sobreaquecimento

Id	TTF	Subsistema	Componente	Modo de Falha
63	5360	Servomotor_EN1_S1	Haste	Degaste por Corrosão
64	5325	Unidade Energética_PM_DC1	Electroválvulas	Falha Hidráulica
65	5048	Unidade Energética_TA3_UE	Grupo MotorBomba	Cavitação
66	5220	Circulação_TA4_C1	Tubagem de Pressão	Fuga
67	5644	Unidade Energética_PM_DC2	Electroválvulas	Falha Eléctrica
68	5289	Circulação_TA4_C1	Tubagem de Retorno	Degaste por Corrosão
69	6054	Acumuladores_EN1_A1	Regulador	Falha Mecânica
70	6748	Servomotor_TA1_S2	Bloco Hidráulico	Passagem de óleo bloqueada
71	5256	Unidade Energética_EN1_UE_1	Reservatório	Fuga
72	6854	Unidade Energética_TA5_UE	Filtro de Aspiração	Colmatação
73	5588	Unidade Energética_TA1_UE	Placa Base	Passagem de óleo bloqueada
74	5765	Servomotor_TA4_S1	Pistão	Pressão insuficiente
75	6129	Unidade Energética_TA2_UE	Filtro de Ar	Colmatação
76	5228	Servomotor_TA1_S2	Câmara	Fuga
77	5559	Servomotor_EP1_C1	Bloco Hidráulico	Fuga
78	5503	Circulação_TA4_C1	Bloco Distribuidor	Passagem de óleo bloqueada
79	5319	Servomotor_EN1_S2	Haste	Degaste por Corrosão
80	5321	Unidade Energética_PM_DC1	Grupo MotorBomba	Vibração intensa
81	6506	Servomotor_TA2_S2	Pistão	Fuga
82	8176	Servomotor_TA2_S1	Indicador de Posição	Falha Eléctrica
83	5833	Unidade Energética_TA5_UE	Grupo MotorBomba	Ruído Intenso
84	5075	Acumuladores_DC1_A2	Reservatório	Fuga
85	6394	Unidade Energética PM_EP1	Manómetro	Falha Hidráulica
86	6072	Unidade Energética_EN1_UE_2	Electroválvulas	Falha Hidráulica
87	6011	Refrigeração_EN1_R1	Filtro de Entrada	Colmatação
88	5267	Acumuladores_DC1_A2	Bloco de Segurança c/ Elemento Lógico	Fuga
89	5907	Refrigeração_EN1_R1	Filtro de Entrada	Colmatação
90	5383	Circulação_TA3_C1	Tubagem de Pressão	Fuga
91	5108	Servomotor_TA1_S2	Haste	Degaste por Corrosão
92	7420	Unidade Energética_TA1_UE	Placa Base	Passagem de óleo bloqueada
93	6856	Unidade Energética_EN1_UE_1	Electroválvulas	Falha Hidráulica
94	5585	Circulação_DC1_C1	Válvula de 2 vias	Falha Mecânica
95	8282	Unidade Energética_TA2_UE	Filtro de Aspiração	Colmatação
96	5355	Acumuladores_DC1_A1	Regulador	Falha Mecânica
97	6448	Circulação_TA4_C1	Bloco Distribuidor	Fuga
98	5330	Unidade Energética_PM_DC1	Filtro de Retorno	Colmatação
99	5482	Unidade Energética_TA2_UE	Grupo MotorBomba	Ruído Intenso
100	5607	Unidade Energética_EN1_UE_2	Pistão	Pressão insuficiente
101	5061	Acumuladores_EN1_A2	Bloco de Segurança c/ Elemento Lógico	Fuga
102	5120	Servomotor_TA4_S1	Indicador de Posição	Degaste por Corrosão
103	5999	Circulação_DC2_C1	Tomada de Pressão	Falha Hidráulica
104	6382	Circulação_TA4_C1	Tubagem de Pilotagem	Degaste por Corrosão
105	5157	Servomotor_TA2_S1	Pistão	Fuga
106	5428	Unidade Energética_TA3_UE	Reservatório	Fuga
107	5888	Circulação_TA1_C1	Bloco Distribuidor	Degaste por Corrosão
108	5497	Servomotor_TA4_S1	Porta Vedantes	Degaste por Corrosão
109	5533	Servomotor_DC1_S2	Bloco Hidráulico	Passagem de óleo bloqueada
110	5640	Unidade Energética_PM_DC2	Filtro de Ar	Colmatação
111	5024	Servomotor_TA2_S2	Bloco Hidráulico	Fuga
112	3580	Unidade Energética_TA5_UE	Grupo MotorBomba	Vibração intensa
113	7449	Unidade Energética_PM_DC2	Filtro de Retorno	Colmatação
114	5811	Acumuladores_DC2_A1	Reservatório	Fuga
115	5381	Servomotor_TA2_S2	Indicador de Posição	Falha Eléctrica
116	5556	Servomotor_TA1_S2	Pistão	Pressão insuficiente
117	5851	Servomotor_EN1_S1	Indicador de Posição	Falha Eléctrica
118	5243	Unidade Energética_TA2_UE	Limitadora de Pressão	Falha Mecânica
119	5824	Servomotor_DC1_S2	Bloco Hidráulico	Passagem de óleo bloqueada
120	7783	Refrigeração_EN1_R1	Filtro de Entrada	Sobreaquecimento
121	5265	Servomotor_TA4_S2	Indicador de Posição	Degaste por Corrosão
122	5847	Refrigeração_EN1_R1	Termostato	Falha Eléctrica
123	5950	Unidade Energética_PM_DC1	Electroválvulas	Falha Hidráulica
124	4981	Unidade Energética_TA3_UE	Placa Base	Passagem de óleo bloqueada

6.2 Anexo 2 - Análise FMEA

F.M.E.A. - ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E EFEITOS para Plano de Manutenção										
Local - Tipo:	Eclusa de Navegação		Subsistema:	Unidade Energética FM			Falha:	S-1		
Elaborado por:	Pedro Gonçalves		Data:	02/06/2022			Revisão:	0		
Aprovado por:	Paulo Figueiredo		Número:	22.005-M			Local:			
Observação:										
Subsistema	Nome do Componente	Função do componente	Análise da Falha			Análise de Risco			Revisões Recomendadas	
			Modo da Falha	Potencial Causa de Falha	Consequências/ Efeitos da Falha	Severidade	Ocorrência	Dano		WPI*
Grupo Motor/Bomba	Transformação de Energia Mecânica em energia Hidráulica		Vibração Interna	Desalinhamento do acoplamento; Desaperto das Conexões;	Danos nos componentes internos do Motor ou Bomba Possível paragem do Sistema Aumento gradual da Vibração; Aumento gradual do Ruído; Aquecimento do Rolamento	6	5	6	180	Alinhar e verificar as condições dos vedantes, rolamentos e acoplamento
			Cavitação	Excessiva Rotação da Bomba; Fuga no Reservatório; Obstrução no tubo de Aspiração.	Danos nos componentes internos do Motor ou Bomba; Possível paragem do Sistema; Desgaste precoce do Sistema; Aumento gradual da Vibração; Aumento gradual do Ruído; Aquecimento do Rolamento.	5	5	6	150	Verificar Nível de óleo; Verificar se a tubagem de aspiração está obstruída; Baixar o ponto de aspiração do óleo; Verificar qualidade do óleo; Verificação
			Falha Mecânica	Rolamentos danificados; Acoplamentos danificados; Engrenagens da Bomba danificadas.	Danos nos componentes internos do Motor ou Bomba; Possível paragem do sistema; Desgaste precoce do Sistema; Aumento gradual da Vibração; Aumento gradual do Ruído; Aquecimento do Rolamento. Redução da Pressão do Sistema.	6	5	7	210	Verificar Nível de óleo; Verificar se a tubagem de aspiração está obstruída; Baixar o ponto de aspiração do óleo; Verificar qualidade do óleo; Alinhar e verificar as condições dos vedantes, rolamentos e acoplamento Verificar condições da Bomba;
			Caudal insuficiente	Ar no Sistema; Nível de Óleo Baixo; Engrenagem danificada;	Danos nos componentes internos do Motor ou Bomba; Possível paragem do sistema; Desgaste precoce do Sistema.	5	6	6	180	Verificar Nível de óleo; Verificar se a tubagem de aspiração está obstruída; Baixar o ponto de aspiração do óleo; Verificar qualidade do óleo
			Sobreaquecimento	Desalinhamento do acoplamento; Excessiva Rotação da Bomba; Nível de Óleo Baixo; problema Eléctrico	Danos nos componentes internos do Motor ou Bomba; Danos nos vedantes de Junção; Aquecimento do Rolamento. Possível paragem do sistema; Desgaste precoce do Sistema.	5	5	8	200	Verificar Voltagem do Motor; Verificar Ventilação do Motor; Verificar Bomba;
			Ruído Intenso	Desalinhamento do acoplamento; Excessiva Rotação da Bomba;	Danos nos componentes internos do Motor ou Bomba; Desgaste precoce do Sistema.	6	5	5	150	Alinhar e verificar as condições dos vedantes, rolamentos e acoplamento
			Pressão insuficiente	Ar no Sistema; Fuga Engrenagem danificada.	Danos nos componentes internos do Motor ou Bomba; Possível paragem do sistema; Desgaste precoce do Sistema.	6	6	5	180	Verificar Bomba; Verificar estanqueidade do grupo motor Bomba.
Placa Base	Bloco que realiza o circuito projetado e assenta válvulas de cartucho ou electroválvulas	Passagem de óleo bloqueada	Contaminação do sistema	Danos nos componentes internos do Motor ou Bomba; Danos nas Electroválvulas; Possível paragem do sistema;	7	6	5	210	Medição da Temperatura do óleo; Verificar canais do Bloco;	
		Fuga	Vedantes mau alojados; Vedantes deteriorados; Conexões Desapertadas	Derramamento de Óleo para o exterior; Possível paragem do sistema;	6	6	5	180	Verificar vedantes; Verificar aperto das conexões.	
EM1_UK_1		Degaste por Corrosão	Proteção Anti corrosiva corrompida	Corrosão	4	4	5	80	Descapagem química no local; Tratamento PAC (Pintura Anti Corrosiva)	
	Electroválvula	Comuta a direção do caudal do óleo	Solenóide Danificado; Mola Danificada; Automato mal programado; Gaveta danificada	Danos na Electroválvula; Possível paragem do sistema;	8	4	5	160	Verificação da voltagem dos solenóides; Verificação da mola da Gaveta; Verificação da Gaveta; Verificação do sinal do Automato.	
	Electroválvula	Comuta a direção do caudal do óleo	Fuga	Vedantes deteriorados.	Nível Baixo de Óleo Possível paragem do sistema;	8	3	5	120	Verificar vedantes; Verificar Nível de Óleo.
	Filtro de Pressão	Filtra as impurezas no canal de Pressão	Colmatção	Baixo Caudal	Danos no Filtro. Possível paragem do sistema;	8	3	5	120	Verificar elementos de filtro, se necessário mudar o mesmo
	Filtro de Aspiração	Filtra as impurezas no canal de Aspiração	Colmatção	Cavitação	Danos no Filtro. Possível paragem do sistema;	10	2	5	100	Verificar elementos de filtro, se necessário mudar o mesmo.
	Filtro de Retorno	Filtra as impurezas no canal de Retorno	Colmatção	Obstrução no tubo de Retorno	Danos no Filtro. Possível paragem do sistema;	9	2	5	90	Verificar elementos de filtro, se necessário mudar o mesmo. Verificar Tubagem de Retorno.
	Filtro de Ar	Filtra as impurezas no ar do sistema	Colmatção	Elementos de Filtros Obstruídos	Reservatório pressurizado; Fugas de Óleo	8	2	5	80	Verificar elementos de filtro, se necessário mudar o mesmo
	Manómetro	Visualização de Pressão no Sistema	Fuga	Componentes internos danificados; Conexão danificada;	Não Leitura da Pressão	3	5	2	30	Leitura de Pressão através de um Manómetro externo; Substituição do conjunto do Manómetro.
	Manómetro	Visualização de Pressão no Sistema	Falha Hidráulica	Acessório de entrada, mal apertado	Não Leitura da Pressão	3	5	2	30	Verificar aperto de entrada do acessório.
	Limitadora de Pressão	Regulação da Pressão no Sistema	Falha Mecânica	Elemento mecânicos (Válvula de Cartucho), porca e anilha) danificados	Impossibilidade de regulação / afinação da pressão do sistema. Possível paragem do sistema;	5	5	5	125	Verificar elementos mecânicos (Válvula de Cartucho, porca e anilha) danificados
	Limitadora de Pressão	Regulação da Pressão no Sistema	Falha Mecânica	Cavitação; Má regulação.	Impossibilidade de regulação / afinação da pressão do sistema. Possível paragem do sistema;	4	5	5	100	Verificar regulação
	Limitadora de Pressão	Regulação da Pressão no Sistema	Fuga	Vedantes deteriorados	Nível Baixo de Óleo Possível paragem do sistema;	4	5	5	100	Verificar vedantes; Verificar aperto das conexões; Verificar Nível de Óleo.
	Regulador de Caudal	Regulação de Caudal no Sistema	Falha Mecânica	Elemento mecânicos (Manipula, porca e anilha) danificados.	Impossibilidade de regulação / afinação do caudal do sistema. Possível paragem do sistema;	5	5	5	125	Verificar Elementos Mecânicos (Manipula, porca e anilha)
	Reservatório	Armazenamento de todos os componentes e do óleo	Degaste por Corrosão	Proteção Anti corrosiva corrompida	Corrosão	3	5	2	30	Descapagem química no local; Tratamento PAC (Pintura Anti Corrosiva)

F.M.E.A. - ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E EFEITOS para Plano de Manutenção														
Sistema	Eixo de Navegação		Subsistema	Acumulador			Falha	1-4						
Elaborado por	Pedro Gonçalves		Data	03/06/2022			Revisão	0						
Aprovado por	Paulo Figueiredo		Número	22-002-M			Local	-						
Observações														
Subsistema	Nome do Componente	Função do componente	Modo de Falha	Potencial Causa de Falha	Consequências/ Efeitos da Falha	Avaliação de Risco				Resolução Recomendada	Métricas pós-implementação			
						Severidade	Ocorrência	Deteção	Temp.		Aplicação	Elétrica	Conexões	Deteção
DC1_A3	Pistão	Separa o Óleo do Gás	Degaste por Fadiga	Prisão no Pistão; Velocidades altas	Pistão Danificado; Possível paragem do sistema;	6	5	6	180	Decapagem química no local; Tratamento PAC (Pintura Anti Corrosiva)				
	Reservatório	Armazenamento de todos os componentes e do óleo	Degaste por Corrosão	Proteção Anti corrosiva corrompida	Corrosão	2	4	3	24	Decapagem química no local; Tratamento PAC (Pintura Anti Corrosiva)				
	Regulador	Comuta a direção do caudal do óleo	Falha Mecânica	Elemento mecânicos (Manipula, porca e anilha) danificados.	Impossibilidade de regulação / afinação do caudal do sistema; Possível paragem do sistema;	4	4	7	112	Verificar Elementos Mecânicos (Manipula, porca e anilha)				
	Bloco de Segurança / Elemento Lógico	Regula a Pressão do Acumulador	Passagem de óleo bloqueada	Contaminação do sistema	Danos nos componentes internos do Motor ou Bomba; Danos nas Electroválvulas; Possível paragem do sistema;	5	6	6	180	Medição da Temperatura do óleo; Verificar canal do Bloco;				
Fuga			Vedantes mau alojados; Vedantes deteriorados; Conexões Desapertadas	Derramamento de Óleo para o exterior; Possível paragem do sistema;	5	5	8	200	Verificar vedantes; Verificar aperto das conexões.					
Degaste por Corrosão			Proteção Anti corrosiva corrompida	Corrosão	2	4	3	24	Decapagem química no local; Tratamento PAC (Pintura Anti Corrosiva)					

F.M.E.A. - ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E EFEITOS para Plano de Manutenção										
Sistema	Eixo de Navegação		Subsistema	Circulação			Falha	1-1		
Elaborado por	Pedro Gonçalves		Data	03/06/2022			Revisão	0		
Aprovado por	Paulo Figueiredo		Número	22-002-M			Local	-		
Observações										
Subsistema	Nome do Componente	Função do componente	Modo de Falha	Potencial Causa de Falha	Consequências/ Efeitos da Falha	Avaliação de Risco				Resolução Recomendada
						Severidade	Ocorrência	Deteção	RPI	
TA1_C1	Tubagem de Pressão	Direcionamento do caudal de Pressão	Degaste por Corrosão	Proteção Anti corrosiva corrompida	Corrosão	2	4	3	24	Decapagem química no local; Tratamento PAC (Pintura Anti Corrosiva)
	Tubagem de Pressão	Direcionamento do caudal de Pressão	Fuga	Vedantes mau alojados; Vedantes deteriorados; Conexões Desapertadas	Derramamento de Óleo para o exterior; Possível paragem do sistema;	4	5	5	100	Verificar vedantes; Verificar aperto das conexões.
	Tubagem de Retorno	Direcionamento do caudal de Retorno	Degaste por Corrosão	Proteção Anti corrosiva corrompida	Corrosão	2	4	3	24	Decapagem química no local; Tratamento PAC (Pintura Anti Corrosiva)
	Tubagem de Retorno	Direcionamento do caudal de Retorno	Fuga	Vedantes mau alojados; Vedantes deteriorados; Conexões Desapertadas	Derramamento de Óleo para o exterior; Possível paragem do sistema;	4	5	5	100	Verificar vedantes; Verificar aperto das conexões.
	Tubagem de Pilotagem	Direcionamento do caudal de Pilotagem	Degaste por Corrosão	Proteção Anti corrosiva corrompida	Corrosão	2	4	3	24	Decapagem química no local; Tratamento PAC (Pintura Anti Corrosiva)
	Tubagem de Pilotagem	Direcionamento do caudal de Pilotagem	Fuga	Vedantes mau alojados; Vedantes deteriorados; Conexões Desapertadas	Derramamento de Óleo para o exterior; Possível paragem do sistema;	8	5	6	240	Verificar vedantes; Verificar aperto das conexões.
	Válvula de 2 vias	Interrompe a direção do Caudal	Falha Mecânica	Elemento mecânicos (Manipula, porca e anilha) danificados.	Impossibilidade de regulação / afinação do caudal do sistema; Possível paragem do sistema;	3	5	7	105	Verificar Elementos Mecânicos (Manipula, porca e anilha)
	Regulador de Caudal	Interrompe a direção do Caudal	Falha Mecânica	Elemento mecânicos (Manipula, porca e anilha) danificados.	Impossibilidade de regulação / afinação do caudal do sistema; Possível paragem do sistema;	7	9	5	165	Verificar Elementos Mecânicos (Manipula, porca e anilha)
	Bloco Distribuidor	Regulação de Caudal no Sistema	Passagem de óleo bloqueada	Contaminação do sistema	Danos nos componentes internos do Motor ou Bomba; Danos nas Electroválvulas; Possível paragem do sistema;	5	5	5	125	Medição da Temperatura do óleo; Verificar canal do Bloco;
			Fuga	Vedantes mau alojados; Vedantes deteriorados; Conexões Desapertadas	Derramamento de Óleo para o exterior; Possível paragem do sistema;	7	6	5	210	Verificar vedantes; Verificar aperto das conexões.
		Degaste por Corrosão	Proteção Anti corrosiva corrompida	Corrosão	2	4	3	24	Decapagem química no local; Tratamento PAC (Pintura Anti Corrosiva)	
Tomada de Pressão	Verificação de medição da Pressão	Falha Hidráulica	Acessório de entrada, mal apertado	Não Leitura da Pressão	2	4	5	40	Verificar aperto de entrada do acessório.	

F.M.E.A. - ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E EFEITOS para Plano de Manutenção										
Sistema:	Escala de Navegação			Subsistema:	Servomotor			Falha:	L-1	
Elaborado por:	Pedro Gonçalves			Data:	02/06/2022			Revisão:	0	
Aprovado por:	Paulo Figueiredo			Número:	22-004-M			Local:	-	
Observações:										
Ponto de Falha			Análise de Falha			Avaliação de Risco				Revolução Recomendada
Subsistema	Nome do Componente	Função do componente	Modo de Falha	Potencial Causa de Falha	Consequências/ Efeitos da Falha	Severidade	Durabilidade	Deteção	INPR	Ações Recomendadas
EN1_51	Indicador de Posição	Indica a posição do Servomotor	Degaste por Corrosão	Proteção Anti corrosiva corrompida	Corrosão	3	3	3	27	Decapagem química no local; Tratamento PAC. (Pintura Anti Corrosiva)
	Haste	Atuador Mecânico	Degaste por Corrosão	Proteção Anti corrosiva corrompida	Corrosão	3	3	4	36	Decapagem química no local; Tratamento PAC. (Pintura Anti Corrosiva)
	Pistão	Separa o Óleo do Gás	Degaste por Fadiga	Fricção no Pistão; Velocidades altas	Pistão Danificado; Possível paragem do sistema;	6	5	7	210	Decapagem química no local; Tratamento PAC. (Pintura Anti Corrosiva)
	Pistão	Separa o Óleo do Gás	Fuga	Vedantes mau alojado; Vedantes deteriorados; Conexões Desapertadas	Derramamento de Óleo para o exterior; Possível paragem do sistema;	5	6	6	180	Verificar vedantes; Verificar aperto das conexões.
	Porta Vedantes	Vedação da Câmara Menor e execução do guiamento da haste.	Fuga	Vedantes mau alojado; Vedantes deteriorados; Conexões Desapertadas	Derramamento de Óleo para o exterior; Possível paragem do sistema;	5	5	8	200	Verificar vedantes; Verificar aperto das conexões.
			Degaste por Corrosão	Proteção Anti corrosiva corrompida	Corrosão	3	3	3	27	Decapagem química no local; Tratamento PAC. (Pintura Anti Corrosiva)
	Câmara	Alojamento do óleo em pressão	Degaste por Corrosão	Proteção Anti corrosiva corrompida	Corrosão	2	3	3	18	Decapagem química no local; Tratamento PAC. (Pintura Anti Corrosiva)
	Câmara	Alojamento do óleo em pressão	Fuga	Vedantes mau alojado; Vedantes deteriorados; Conexões Desapertadas	Derramamento de Óleo para o exterior; Possível paragem do sistema;	7	6	5	210	Verificar vedantes; Verificar aperto das conexões.
	Bloco Hidráulico	Bloco que realiza o circuito projetado e assenta válvulas de cartucho de segurança	Passagem de óleo bloqueada	Contaminação do sistema	Danos nos componentes internos do Motor ou Bombas; Danos nas Electroválvulas; Possível paragem do sistema;	6	6	5	180	Medição da Temperatura do óleo; Verificar canais do Bloco;
Fuga			Vedantes mau alojado; Vedantes deteriorados; Conexões Desapertadas	Derramamento de Óleo para o exterior; Possível paragem do sistema;	4	5	5	100	Verificar vedantes; Verificar aperto das conexões.	
Degaste por Corrosão			Proteção Anti corrosiva corrompida	Corrosão	2	3	3	18	Decapagem química no local; Tratamento PAC. (Pintura Anti Corrosiva)	

F.M.E.A. - ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E EFEITOS para Plano de Manutenção										
Sistema:	Escala de Navegação			Subsistema:	Refrigeração			Falha:	L-1	
Elaborado por:	Pedro Gonçalves			Data:	02/06/2022			Revisão:	0	
Aprovado por:	Paulo Figueiredo			Número:	22-004-M			Local:	-	
Observações:										
Ponto de Falha			Análise de Falha			Avaliação de Risco				Revolução Recomendada
Subsistema	Nome do Componente	Função do componente	Modo de Falha	Potencial Causa de Falha	Consequências/ Efeitos da Falha	Severidade	Durabilidade	Deteção	INPR	Ações Recomendadas
EN1_R1	Reservatório	Armazenamento de todos os componentes e do óleo	Degaste por Corrosão	Proteção Anti corrosiva corrompida	Corrosão	6	5	6	180	Decapagem química no local; Tratamento PAC. (Pintura Anti Corrosiva)
	Reservatório	Armazenamento de todos os componentes e do óleo	Sobreaquecimento	Ventoinha danificada	Sobreaquecimento do óleo;	2	5	6	60	Limpeza da Ventoinha; Verificar contactos e cablagem; Verificar Voltagem;
	Filtro de Entrada	Filtra as impurezas no canal de entrada	Colmatção	Baixo Caudal	Danos no Filtro; Possível paragem do sistema;	3	4	7	84	Verificar elementos de filtro, se necessário mudar o mesmo
	Termostato	Utilizado como sistema de medição e proteção da temperatura	Degaste por Corrosão	Ambiente exposto a intempéris	Sobreaquecimento do óleo; Possível paragem do sistema;	5	6	6	180	Limpeza do Termostato
	Termostato	Utilizado como sistema de medição e proteção da temperatura	Falha Eléctrica	Degaste do equipamento	Sobreaquecimento do óleo; Possível paragem do sistema;	5	5	8	200	Verificar contactos e cablagem; Verificar Voltagem; Recutar Reset ao pressostato.
	Pressostato	Utilizado como sistema de medição e proteção da Pressão	Degaste por Corrosão	Ambiente exposto a intempéris	Aumento da Pressão; Possível paragem do sistema;	6	5	5	150	Limpeza do Pressostato
	Pressostato	Utilizado como sistema de medição e proteção da Pressão	Falha Eléctrica	Degaste do equipamento	Aumento da Pressão; Possível paragem do sistema;	8	2	5	80	Limpeza do Pressostato

6.3 Anexo 3 - Análise de Criticidade dos Equipamentos

Análise de Criticidade									
Sistema:	Barragem da -----						Folha:	1-1	
Elaborado por:	Pedro Gonçalves	Data:	02/06/2022	Revisão:			0		
Aprovado por:	Paulo Figueiredo	Número:	22-004-M	Local:			-		
Observações:									
<p>A criticidade de equipamentos nada mais é do que um indicador que informa o risco que um dispositivo apresenta para a sua empresa, facilitando a priorização das manutenções.</p> <p>Esses indicadores classificam os efeitos e riscos que um equipamento disfuncional pode causar, utilizando como base os estudos de risco, a confiabilidade de projetos, bem como a importância da ferramenta e suas plantas em operação. Ela consegue determinar quais dispositivos têm um maior impacto no potencial do seu negócio, otimizando o alcance das metas organizacionais.</p>									
Critérios para a Avaliação de Criticidade de Equipamentos e Componentes:									
Categoria	Segurança e Meio Ambiente	Qualidade e Produtividade	Tempo de Operação	Produção	Frequência da falha	Manutibilidade	Total	Legenda	
A	Acidentes pessoais, agressão ao meio ambiente e danos materiais.	Produtos com defeito, redução da velocidade de produção.	24 horas por dia.	Cessa todo o processo.	Intervalo menor que seis meses.	O tempo e/ou custos dos reparos são elevados.	19	A Equipamento altamente crítico	
B	Exposição a riscos de acidentes ao meio ambiente ou do património.	Variação da qualidade ou da produção.	Dois turnos.	Cessa parte do processo.	Em média uma vez por ano.	O tempo e/ou custos dos reparos são suportáveis.	5	B Equipamento moderadamente crítico	
C	Nenhum risco.	Não afeta.	Ocasionalmente ou não faz parte do processo produtivo.	Não afeta.	Raramente ocorre.	O tempo e/ou custos dos reparos são irrelevantes.	11	C Equipamentos de baixa criticidade no processo	
<p>Agora, preencha a tabela abaixo com os dados do equipamento, conforme o nível de criticidade registrado acima (A,B e C), identificando a situação perguntada em cada coluna. Ao final da tabela, você poderá verificar o resultado da criticidade que o seu equipamento se encontra.</p>									
Registro da Criticidade									
SUBSISTEMA	Componentes	Segurança e Meio Ambiente	Qualidade e Produtividade	Taxa de Operação	Produção	Frequência da Falha	Manutibilidade	CRITICIDADE	
Unidade Energética	Grupo Motor/Bomba	B	A	A	B	B	A	A	
	Placa Base	B	A	A	A	B	A	A	
	Electroválvulas	B	C	A	A	B	B	B	
	Filtro de Pressão	B	C	A	A	B	C	C	
	Filtro de Aspiração	B	C	A	A	B	C	C	
	Filtro de Retorno	B	C	A	A	B	C	C	
	Filtro de Ar	B	C	A	B	B	C	C	
	Manómetro	B	C	A	C	B	C	C	
	Limitadora de Pressão	A	A	A	B	B	A	A	
Acumulador	Regulador de Caudal	A	A	A	B	B	A	A	
	Reservatório	A	A	A	B	B	A	A	
	Diafragma	B	A	A	B	B	A	A	
	Reservatório	B	A	A	B	B	A	A	
	Regulador	B	A	A	B	B	A	A	
	Bloco de Segurança c/ Elemento Lógico	B	A	A	A	B	A	A	
	Circulação	Tubagem de Pressão	B	A	A	B	B	A	A
		Tubagem de Retorno	B	C	A	B	B	B	B
		Tubagem de Pilotagem	B	C	A	B	B	C	C
Válvula de 2 vias		B	C	A	B	B	C	C	
Regulador de Caudal		B	B	A	B	B	B	B	
Bloco Distribuidor		B	A	A	B	B	B	A	
Tubagem de Pressão		A	A	A	B	B	A	A	
Tubagem de Retorno		B	B	A	B	B	B	B	
Tornada de Pressão		B	C	A	C	B	C	C	
Servomotor	Indicador de Posição	B	C	A	C	B	C	C	
	Haste	B	C	A	C	B	C	C	
	Pistão	B	C	A	C	B	C	C	
	Porta Vedantes	B	A	A	C	B	C	A	
	Câmara	A	A	A	A	B	A	A	
	Bloco Hidráulico	A	A	A	A	B	A	A	
	Tornada de Pressão	A	A	A	C	B	A	A	
	Circulação	Reservatório	A	A	A	A	B	A	A
		Filtro de Entrada	B	A	A	A	B	A	A
Termostato		B	A	A	A	B	A	A	
Pressostato		B	B	A	B	B	B	B	

6.4 Anexo 4 - Modos de falha por subsistema

Histórico de falhas do subsistema 1 – Unidades Energéticas

Id	TTF	Tempo Acumulado (h)	Componente	Modo de Falha
1	3950	3950	Grupo MotoBomba	Caudal insuficiente
2	5015	8965	Grupo Motobomba	Cavitação
3	4981	13946	Grupo Motobomba	Fuga
4	5256	19202	Reservatório	Fuga
5	7134	26336	Limitadora de Pressão	Falha Mecânica
6	6948	33284	Filtro de Ar	Colmatação
7	6481	39765	Grupo Motobomba	Vibração intensa
8	7840	47605	Reservatório	Fuga
9	6584	54189	Manómetro	Fuga
10	6348	60537	Filtro de Aspiração	Falha Hidráulica
11	6057	66594	Manómetro	Falha Hidráulica
12	5984	72578	Placa Base	Passagem de óleo bloqueada
13	5229	77807	Grupo Motobomba	Falha Mecânica
14	5838	83645	Grupo Motobomba	Caudal insuficiente
15	5647	89292	Filtro de Retorno	Colmatação
16	5951	95243	Filtro de Aspiração	Colmatação
17	6107	101350	Manómetro	Falha Hidráulica
18	5358	106708	Limitadora de Pressão	Falha Mecânica
19	6116	112824	Electroválvulas	Fuga

20	5340	118163	Grupo Motobomba	Sobreaquecimento
21	5325	123488	Electroválvulas	Falha Hidráulica
22	5048	128536	Grupo Motobomba	Cavitação
23	5644	134180	Electroválvulas	Falha Elétrica
24	5256	139437	Reservatório	Fuga
25	6854	146291	Filtro de Aspiração	Colmatação
26	5588	151879	Placa Base	Passagem de óleo bloqueada
27	6129	158008	Filtro de Ar	Colmatação
28	5321	163329	Grupo Motobomba	Vibração intensa
29	5833	169162	Grupo Motobomba	Caudal insuficiente
30	6394	175556	Manómetro	Falha Hidráulica
31	6072	181628	Electroválvulas	Falha Hidráulica
32	7420	189047	Placa Base	Passagem de óleo bloqueada
33	6856	195903	Electroválvulas	Falha Hidráulica
34	8282	204186	Filtro de Aspiração	Colmatação
35	5330	209516	Filtro de Retorno	Colmatação
36	5482	214997	Grupo Motobomba	Cavitação
37	5607	220604	Pistão	Pressão insuficiente
38	5428	226033	Reservatório	Fuga
39	5640	231673	Filtro de Ar	Colmatação
40	3580	235253	Grupo Motobomba	Vibração intensa
41	7449	242702	Filtro de Retorno	Colmatação

42	5243	247945	Limitadora de Pressão	Falha Mecânica
43	5950	253895	Electroválvulas	Falha Hidráulica
44	4981	258876	Placa Base	Passagem de óleo bloqueada


Histórico de falhas do subsistema 4 – Servomotor

Id	TTF	Tempo Acumulado (h)	Componente	Modo de Falha
1	2840	2840	Pistão	Pressão insuficiente
2	4283	7123	Indicador de Posição	Falha Elétrica
3	5951	13074	Bloco Hidráulico	Fuga
4	5048	18122	Porta Vedantes	Fuga
5	4287	22409	Câmara	Fuga
6	6243	28652	Pistão	Fuga
7	5368	34020	Porta Vedantes	Degaste por Corrosão
8	7678	41698	Pistão	Pressão insuficiente
9	5333	47031	Bloco Hidráulico	Passagem de óleo bloqueada
10	6210	53241	Indicador de Posição	Falha Elétrica
11	6293	59534	Bloco Hidráulico	Fuga
12	5775	65309	Pistão	Fuga
13	5450	70759	Câmara	Fuga
14	6719	77478	Pistão	Fuga
15	5957	83435	Porta Vedantes	Degaste por Corrosão
16	5618	89053	Pistão	Pressão insuficiente

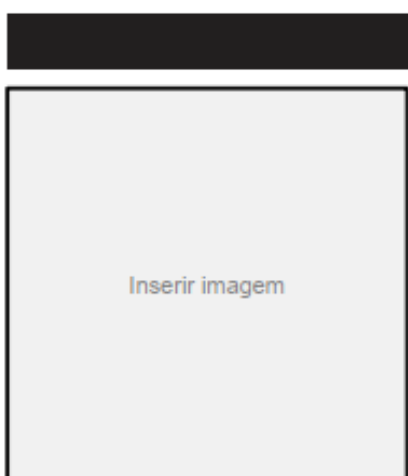
17	6726	95780	Indicador de Posição	Falha Elétrica
18	5091	100871	Indicador de Posição	Degaste por Corrosão
19	7035	107906	Bloco Hidráulico	Fuga
20	4505	112411	Pistão	Fuga
21	6632	119044	Câmara	Fuga
22	7665	126708	Porta Vedantes	Fuga
23	5360	132068	Haste	Degaste por Corrosão
24	6748	138816	Bloco Hidráulico	Passagem de óleo bloqueada
25	5765	144581	Pistão	Pressão insuficiente
26	5228	149809	Câmara	Fuga
27	5559	155368	Bloco Hidráulico	Fuga
28	5319	160687	Haste	Degaste por Corrosão
29	6506	167193	Pistão	Fuga
30	8176	175368	Indicador de Posição	Falha Elétrica
31	5108	180476	Haste	Degaste por Corrosão
32	5120	185596	Indicador de Posição	Degaste por Corrosão
33	5157	190753	Pistão	Fuga
34	5497	196250	Porta Vedantes	Degaste por Corrosão
35	5533	201783	Bloco Hidráulico	Passagem de óleo bloqueada
36	5024	206808	Bloco Hidráulico	Fuga
37	5381	212188	Indicador de Posição	Falha Elétrica
38	5556	217744	Pistão	Pressão insuficiente

39	5851	223595	Indicador de Posição	Falha Elétrica
40	5824	229419	Bloco Hidráulico	Passagem de óleo bloqueada
41	5265	234684	Indicador de Posição	Degaste por Corrosão

6.5 Anexo 5 - *Template* Plano de Manutenção

 <i>soluções de engenharia</i>	Plano de Manutenção Prev.
	Barragem da XXXXXXXXXX

Referência nr.	Elaborado por:	Revisão	Datas
_____	Pedro Gonçalves	0	__/__/__ a __/__/__



Item nr.	Description
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	



Item Nr.	Torque / Notas
1	
5	
9	
11	
12	

To maintain your warranty,
 ave your products inspected and repaired by an
 authorised Navipa centre.

www.navipa.pt



DESCRIÇÃO	RESULTADO			PROCEDIMENTOS / OBSERVAÇÕES
	CONFORME	CONDICIONADO	NÃO CONFORME	
	v	p	x	
				i)

Pontos de Apoio Resultados - Ações				

PROCEDIMENTOS E RESULTADOS DO PM Ensaio Preliminar em obra					
Verificações Pontos de Reparação	Verificação dos Documentos / Instrumentos ensaio	Diversos			
	Inspeção Visual geral	Ensaio visual geral			
		Acabamento Superficial			
	Controlo Dimensional do Servomotor	Convocar Entidades (Agendar data/Hora dos Ensaio)			
		Controlo Dimensional			
	Ensaio de Pressão	Verificação funcional			
		Controlo deformações			

OBSERVAÇÕES AO ENSAIO DE RECEPÇÃO (observações / não-conformidades / medidas corretivas):

Equipamento necessário para a implementação do plano de Manutenção:

- Caudal metro;
- Tomada de Pressão Externa;
- Manómetro de Exterior;
- Medidor de Partículas;
- Medidor de Espessura;
- Medidor Laser of opção rotativa;
- Medidor de Rugosidade;
- Medidor Digital Sonos;
- Esquadro, paquímetro e fita métrica calibradas;
- Unidade de Flushing;
- Jogo de Chaves diversas;
- Pack de Vedantes;
- Pack de elementos de Filtro.

NAVIPA <small>EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS, LDA.</small>			
Implementado por :	DATA	Verificado por:	DATA

NOTA LEGAL E RUBRICA/assinatura dos responsáveis

6.6 Anexo 6 – Esquemas Óleo-Hidráulicos – Conjunto dos Subsistemas

