

Análise da influência das Atividades de Operação e Manutenção na Disponibilidade Operacional de um Ativo Físico

António Joaquim de Oliveira de Carvalho
(Licenciado em Tecnologia e Gestão Industrial)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientador:

Doutor José Augusto da Silva Sobral

Júri:

Presidente:

Doutor Silvério João Crespo Marques

Vogais:

Doutor Luís António de Andrade Ferreira

Doutor José Augusto da Silva Sobral

Março de 2019



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Mecânica

Análise da influência das Atividades de Operação e Manutenção na Disponibilidade Operacional de um Ativo Físico

António Joaquim de Oliveira de Carvalho
(Licenciado em Tecnologia e Gestão Industrial)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientador:

Doutor José Augusto da Silva Sobral

Júri:

Presidente:

Doutor Silvério João Crespo Marques

Vogais:

Doutor Luís António de Andrade Ferreira

Doutor José Augusto da Silva Sobral

Março de 2019

*Dedico este trabalho às minhas adoradas
filhas*

Agradecimentos

O meu agradecimento ao Professor Doutor José Augusto da Silva Sobral, pela sábia orientação, discernimento eficaz, laborioso apoio e pela partilha de conhecimentos e experiências que muito valorizaram este trabalho.

Agradeço também aos Engenheiros Pedro Baptista e Joaquim Rodrigues pela disponibilidade, participação, e interesse neste trabalho.

Agradecimento muito sentido à minha esposa Isabel, e às minhas três filhas, Inês, Beatriz e Leonor pela fonte contínua de inspiração e motivação.

Lista de Acrónimos e Siglas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ADM – Análise de Decisão Multicritério

AFNOR – Association Française de Normalisation

AHP – Analytic Hierarchy Process

ANP – Analytic Network Process

APQP – Advanced Product Quality Planning

ASQ – American Society for Quality

ASQC – American Society for Quality Control

ASTM – American Society for Testing Materials

BSC – Balanced Score Card

CMMS – Computerized Maintenance Management System

CVCS – Chemical and Volumetric Control System

DAU – Defense Acquisition University

ELECTRE – Elimination et Choix Traduisant la Réalité

EN – European Norms

ESP – Equipamentos Sob Pressão

ESReDA – European Safety Reliability and Data Association

FDA – Fuzzy Decision Approach

FMEA – Failures Mode and Effects Analysis

FMECA – Failure Mode, Effects and Criticality Analysis

FTA – Fault Tree Analysis

GMAC – Gestão da Manutenção Assistida por Computador

HAZOP – Hazard and Operability Analysis

HMI – Human-Machine Interface

HRA – Human Reliability Analysis

IC – Índice de Consistência

ICA – International Cooper Association

ICD – Indicadores Chave de Desempenho

IR – Índice Aleatório

ISO – International Standard Organization

KPI – Key Performance Indicators

KPP – Key Performance Parameter

MADM – Multiple Attribute Decision Making

MAUT – Multiple Attribute Utility Theory

MAVT – Multiple Attribute Value Theory

MCDA – Multiple Criteria Decision Analysis

MCDM – Multiple Criteria Decision Making

MDT – Medium Down Time

MIL STD – Military Standard

MODM – Multiple Objective Decision Making

MTBF – Mean Time Between Failures

MTTR – Mean Time To Repair

MWT – Mean Waiting Time

NASA – National Aeronautics and Space Administration

NP – Norma Portuguesa

NPR – Número de Prioridade de Risco

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

OJT – On the Job Training

OPAH – Operational Availability Handbook

OR – Operations Research

PLM – Product Lifecycle Management

PSF – Performance Shaping Factors

RAMS – Reliability Availability Maintainability and Safety

RAMS+C – Reliability Availability Maintainability Safety and Costs

RC – Razão de Consistência

RCM – Reliability-Centered Maintenance

RPN – Risk Priority Number

TMC – Tempo de Manutenção Corretiva

TOPSIS – Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

TPM – Total Productive Maintenance

TR – Tempo de Reparação

TTR – Tempo Técnico de Reparação

USA – United States of America

VIKOR – Visekriterijumska Optimizacija I Kompromiso Resenje

Resumo

A necessidade de aumentar a disponibilidade operacional tem sido nos últimos tempos um tema com bastante atenção por parte da academia, mas também, e principalmente, pela indústria, devido aos requisitos subjacentes ao que as empresas procuram para sustentarem e expandirem o seu negócio, isto é, aumento da produtividade, da qualidade, e da competitividade. Apesar dos investimentos, as empresas não têm verificado grande aumento da disponibilidade dos seus equipamentos. Tratar da disponibilidade operacional é considerar aspetos importantes da manutenção e da produção como cultura do chão de fábrica, recursos humanos e materiais, gestão coordenada de ativos físicos ou aquisição e partilha de conhecimento.

A disponibilidade operacional é afetada pelos aspetos inerentes e decorrentes da aplicação, manutenção e uso do equipamento, e pelas particularidades da sua conceção e fabrico, sendo largamente condicionada por fatores com interferência direta como a sua operação e planeamento de produção, as ações de manutenção envolvendo o planeamento das suas atividades, a gestão dos seus recursos e das peças de reposição, o tipo de manutenção envolvido, e também pela formação, fiabilidade humana e envelhecimento do próprio equipamento.

Assim, é foco deste trabalho, apresentar uma metodologia que, recorrendo à aplicação das ferramentas *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e Análise de Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA), quantifique a influência direta de oito fatores na disponibilidade operacional de um equipamento.

Demonstrou-se a metodologia numa linha de corte de fita de aço encontrando desta forma os fatores que de modo efetivo estão a afetar o desempenho do equipamento, fornecendo assim à manutenção uma informação muito importante para a otimização da sua gestão e para a melhoria da qualidade das suas atividades.

Palavras-chave: Disponibilidade, FMEA/FMECA, AHP, Manutenção e Operação.

Abstract

The need to increase operational availability has been an issue that is focusing attention not only by the Academy, but also and especially by the industry due to the underlying requirements for companies to support and expand their business, namely to increase productivity, quality and competitiveness. Despite the investment organizations have not seen a large increase in the availability of their equipment. To deal with operational availability it is necessary to consider important aspects of maintenance and production as shop floor culture, human and material resources, coordinated management of physical assets or the acquisition and sharing of knowledge.

The operational availability is affected by inherent and arising aspects from the implementation phase, maintenance and use of the equipment, and the specificities of its design and manufacture, being largely conditioned by factors with direct interference as production planning and operation, maintenance actions involving the planning of its activities, the management of resources and spare parts, the type of maintenance involved, and also by training, human reliability, and equipment ageing.

Thus, the focus of the present work is to present a methodology, using the Analytic Hierarchy Process (AHP) and Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) that is able to quantify the direct influence of eight factors in the operational availability of the equipment.

The methodology was applied in a steel coil shear line to find the factors that in an effective way are affecting the performance of the equipment, providing the maintenance with very important information for management optimization and for improving the quality of its activities.

Keywords: Availability, FMEA/FMECA, AHP, Maintenance and Operation.

Índice

Agradecimentos	ii
Lista de Acrónimos e Siglas	iii
Resumo	vii
Abstract	viii
Índice	ix
Índice de Figuras	xii
Índice de Tabelas	xiii
Capítulo 1 - Introdução.....	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivo	2
1.3 Motivação.....	2
1.4 Estrutura do Documento.....	3
Capítulo 2 – Disponibilidade de um Ativo Físico	5
2.1 Ativo Físico e Gestão de Ativos.....	5
2.2 Gestão de Ativos e RAMS.....	7
2.3 Disponibilidade: Conceito e Definições.....	8
2.4 Classificação da Disponibilidade.....	13
2.5 Disponibilidade e Avarias	15
Capítulo 3 – Análise de Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA)	19
3.1 Resenha Histórica.....	19
3.2 Conceito e Definições.....	20
3.3 Aplicações.....	23
3.4 Terminologia e Normas	24
3.5 Implementação da FMEA.....	29
3.5.1 Abordagem.....	29
3.5.2 Âmbito.....	30
3.5.3 Procedimento	33
3.6 Benefícios e Limitações	39
Capítulo 4 – Tomada de Decisão baseada em Múltiplos Critérios	45
4.1 Análise e Tomada de Decisão.....	45

4.1.1	<i>Introdução</i>	45
4.1.2	<i>Origens</i>	45
4.1.3	<i>Conceito e Definições</i>	47
4.1.4	<i>Classificação</i>	49
4.1.5	<i>Processo de Seleção</i>	51
4.1.6	<i>Implementação</i>	52
4.1.7	<i>Objetivo</i>	53
4.2	<i>Analytic Hierarchy Process (AHP)</i>	54
4.2.1	<i>Conceito</i>	54
4.2.2	<i>Desenvolvimento</i>	56
4.2.3	<i>Implementação</i>	61
4.2.4	<i>Princípios de Aplicação</i>	63
4.2.5	<i>Vantagens e Limitações</i>	67
Capítulo 5 – Metodologia Proposta		71
5.1	<i>Estudo do Equipamento</i>	71
5.2	<i>Análise de Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA)</i>	72
5.2.1	<i>Tabelas de Severidade, Ocorrência e Detetabilidade</i>	74
5.2.2	<i>Tabelas de Efeitos e Controlos</i>	76
5.2.3	<i>Matriz do Número de Prioridade de Risco (NPR)</i>	78
5.3	<i>Objetivo do AHP</i>	79
5.4	<i>Critérios do AHP</i>	80
5.4.1	<i>Fiabilidade</i>	81
5.4.2	<i>Manutibilidade</i>	86
5.4.3	<i>Segurança</i>	91
5.4.4	<i>Custos</i>	92
5.5	<i>Alternativas do AHP</i>	94
5.5.1	<i>Planeamento e Operação do Equipamento</i>	94
5.5.2	<i>Gestão de Peças de Reposição</i>	96
5.5.3	<i>Planeamento da Manutenção</i>	100
5.5.4	<i>Formação</i>	106
5.5.5	<i>Tipos de Manutenção e sua Interface com a Produção</i>	108
5.5.6	<i>Envelhecimento</i>	112
5.5.7	<i>Fiabilidade Humana</i>	115
5.5.8	<i>Gestão dos Recursos da Manutenção</i>	120
Capítulo 6 – Caso de Estudo		125
6.1	<i>Descrição do Equipamento</i>	125

6.1.1 Processamento de Fita.....	126
6.1.2 Corte	130
6.1.3 Empilhamento	132
6.2 Aplicação da FMEA	135
6.3 Aplicação do AHP	141
Capítulo 7 – Conclusões	151
Referências	153
Webgrafia	167
Anexo 1 – Questionário 1 AHP.....	169
Anexo 2 – Questionário 2 AHP	189
Anexo 3 – Questionário 3 AHP.....	209
Anexo 4 – Análise de Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA)	229

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Princípios da Gestão de Ativos.....	6
Figura 2.2 – Relação entre Fiabilidade, Manutibilidade e Disponibilidade.....	9
Figura 2.3 – Estados de um Bem.....	10
Figura 2.4 – Tempos para cálculo da Disponibilidade.....	12
Figura 2.5 – Elementos da eficácia do Sistema.....	13
Figura 3.1 – Diagrama da FMEA.....	23
Figura 3.2 – Tipos de FMEA e suas aplicações.....	33
Figura 4.1 – Fatores para seleção do MCDM/MCDA.....	52
Figura 4.2 – Estrutura hierárquica do AHP.....	55
Figura 4.3 – Fases de execução do AHP.....	61
Figura 5.1 – Metodologia proposta.....	71
Figura 5.2 – Estrutura hierárquica para a quantificação dos Fatores que afetam a Disponibilidade Operacional de um Ativo Físico.....	80
Figura 5.3 – Fatores que influenciam a Fiabilidade.....	83
Figura 5.4 – Efeito do parâmetro “ β ” nos tipos de distribuição de Falhas.....	86
Figura 5.5 – Tempo Técnico de Reparação.....	89
Figura 6.1 – Sistemas e Subsistemas da Linha de Corte.....	125
Figura 6.2 – Sistema de Processamento de Fita e Interação entre os seus Subsistemas...	130
Figura 6.3 – Sistema de Corte e Interação entre os seus Subsistemas.....	131
Figura 6.4 – Sistema de Empilhamento e Interação entre os seus Subsistemas.....	135
Figura 6.5 – Distribuição dos Modos de Falha de Risco alto e médio pelos Subsistemas...	140
Figura 6.6 – Distribuição dos Modos de Falha de Risco crítico.....	141

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Princípios gerais específicos da Fiabilidade e Manutibilidade.....	9
Tabela 2.2 – Tempos de reparação da Avaria [min].....	18
Tabela 3.1 – Normas globais da FMEA.....	28
Tabela 3.2 – Normas particulares da FMEA.....	28
Tabela 3.3 – Etapas para implementação da FMEA.....	29
Tabela 3.4 – Tabela de classificação de Severidade.....	34
Tabela 3.5 – Tabela de classificação da Ocorrência.....	35
Tabela 3.6 – Tabela de classificação da Detecção.....	36
Tabela 3.7 – Comparação entre NPR e código SOD.....	37
Tabela 4.1 – Metodologias de MCDM/MCDA.....	50
Tabela 4.2 – Artigos mais influentes sobre o AHP.....	57
Tabela 4.3 – Escala de classificação para comparação par a par.....	63
Tabela 4.4 – Índices aleatórios (IR).....	67
Tabela 5.1 – Índice de Severidade para a Metodologia proposta.....	74
Tabela 5.2 – Índice de Ocorrência para a Metodologia proposta.....	75
Tabela 5.3 – Índice de Detecção para a Metodologia proposta.....	76
Tabela 5.4 – Tabela das consequências dos Modos de Falha.....	77
Tabela 5.5 – Tabela dos Controlos considerados.....	77
Tabela 5.6 – Matriz do Número de Prioridade de Risco (NPR).....	79
Tabela 6.1 – Classificação das situações de Risco.....	136
Tabela 6.2 – Modo de Falha 1.....	136
Tabela 6.3 – Modo de Falha 2.....	137
Tabela 6.4 – Modo de Falha 3.....	138
Tabela 6.5 – Modo de Falha 4.....	138

Tabela 6.6 – Modo de Falha 5.....	139
Tabela 6.7 – Modo de Falha 6.....	140
Tabela 6.8 – Comparação par a par para definição de prioridades de Critérios.....	142
Tabela 6.9 – Matriz auxiliar para cálculo de definição de prioridades de Critérios.....	142
Tabela 6.10 – Matriz normalizada para a definição de prioridades de Critérios.....	142
Tabela 6.11 – Vetor prioridades de Critérios.....	143
Tabela 6.12 – Cálculo auxiliar para Análise de Consistência.....	143
Tabela 6.13 – Vetor prioridades dos Subcritérios para o Critério Fiabilidade.....	144
Tabela 6.14 – Vetor prioridades dos Subcritérios para o Critério Manutibilidade.....	145
Tabela 6.15 – Vetor prioridades dos Subcritérios para o Critério Segurança.....	145
Tabela 6.16 – Vetor prioridades dos Subcritérios para o Critério Custos.....	145
Tabela 6.17 – Vetor prioridades das Alternativas para o Subcritério Modo de Falha 1.....	146
Tabela 6.18 – Vetor prioridades das Alternativas para o Subcritério Modo de Falha 2.....	146
Tabela 6.19 – Vetor prioridades das Alternativas para o Subcritério Modo de Falha 3.....	146
Tabela 6.20 – Vetor prioridades das Alternativas para o Subcritério Modo de Falha 4.....	147
Tabela 6.21 – Vetor prioridades das Alternativas para o Subcritério Modo de Falha 5.....	147
Tabela 6.22 – Vetor prioridades das Alternativas para o Subcritério Modo de Falha 6.....	147
Tabela 6.23 – Vetor prioridades das Alternativas em relação ao Objetivo.....	148
Tabela 6.24 – Peso de cada Alternativa em relação ao Objetivo.....	148

Capítulo 1 - Introdução

1.1 Enquadramento

O desafio da competitividade é transversal a todas as organizações industriais inseridas num mercado caracterizado por uma globalização imparável. Ganhar mercado, fazer a diferença, ou tão simplesmente sobreviver, obriga as empresas a adotarem métodos e ferramentas de aplicação rigorosa no campo da gestão e da organização.

A função manutenção tem vindo nos últimos anos a ganhar relevância no esforço de gestão das empresas devido ao seu fundamental objetivo de manter o parque produtivo nas condições ideais para o melhor desempenho com vista a atingir e suplantar os objetivos traçados pela organização. Para isso a manutenção necessita não apenas de estar munida dos melhores recursos humanos e materiais, mas carece principalmente de estar organizada por forma a todos os seus técnicos partilharem o mesmo conhecimento, a mesma informação, os mesmos objetivos, numa interação versátil de maneira a otimizar todas as suas atividades, analisando e aferindo os seus ativos físicos.

Manter os equipamentos de forma correta e diligente é criar e fortalecer um dos principais pilares para a melhoria do desempenho das empresas. Uma estrutura que apresente uma boa disponibilidade dos seus equipamentos, conseguida através de manutenção focalizada e eficaz, melhora a sua competitividade e a criação de mais valor. Para Pereira (1996) o conceito de equipamento é vulgarmente associado a sistemas reparáveis, sendo estes caracterizados por um conjunto de elementos em que a ocorrência da avaria não significa o fim da sua operacionalidade, mas, somente, uma interrupção dessa mesma operacionalidade.

Sabendo que a disponibilidade evolui em função da fiabilidade e da manutibilidade, a manutenção exerce um papel fundamental na sua expressão.

Os grandes desenvolvimentos tecnológicos implementados em variados tipos de equipamentos, quebrando por vezes barreiras tradicionais do que é mecânico, elétrico ou eletrónico, conjugando diferentes aplicações técnicas, aumentou a complexidade dos sistemas, mas também a sua sensibilidade e vulnerabilidade, exigindo maiores

competências e conhecimentos, e sobretudo o emprego das melhores práticas de operação e de manutenção.

Para exercer a sua função, a manutenção tem de conhecer os seus equipamentos, e compreender o seu comportamento perante as suas ações. Importante nesta análise são os fatores relacionados com a operação e manutenção, que são presença constante na organização e na interação homem-máquina que influenciam o desempenho do equipamento, traduzido na sua disponibilidade.

1.2 Objetivo

O objetivo principal deste trabalho é quantificar a influência dos fatores considerados na disponibilidade operacional de uma linha de corte de chapa, através da utilização de duas metodologias, a aplicação de uma Análise de Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA), e a aplicação do *Analytic Hierarchy Process* (AHP), uma ferramenta de Análise e Tomada de Decisão que através duma estrutura hierarquizada e comparações determina a importância das alternativas para um objetivo.

O objetivo secundário é elaborar uma FMEA que reúna o histórico do equipamento, ficando assim um documento vivo e fundamental para a manutenção.

1.3 Motivação

A motivação para este trabalho surge da necessidade de enquadrar o conhecimento, e a experiência adquirida pela prática do dia a dia da manutenção, enfrentando inúmeros problemas, delineando variadas soluções, ensaiando diferentes abordagens e deparando sempre com situações novas, com a teoria e os conceitos subjacentes à função manutenção.

A percepção de um desfasamento entre a teoria e a prática aguçaram mais a realização deste trabalho. Em muitas situações de manutenção a realidade não corresponde ao que é pensado e planeado, quer na execução de trabalhos de natureza corretiva ou preventiva, quer em alterações de equipamentos. Ter a capacidade de identificar quais os fatores que interferem diretamente no desempenho de uma máquina, quantificando a sua influência, foi o motivo maior para concluir este trabalho.

1.4 Estrutura do Documento

Este trabalho está dividido em sete capítulos.

O primeiro capítulo compreende o enquadramento, o objetivo, a motivação e a estrutura do trabalho.

No segundo capítulo descreve-se disponibilidade de um ativo físico, analisa-se a sua gestão e relação com a abordagem RAMS. São também revistos o conceito e as definições de disponibilidade, assim como a sua classificação.

O terceiro capítulo aborda a Análise de Modos de Falha, e seus Efeitos (FMEA), e a Análise de Modos de Falha, Efeitos e Criticidade (FMECA). É apresentada uma breve resenha histórica e desenvolve-se o conceito e as definições, onde se realçam as diferenças entre FMEA e FMECA. Elabora-se uma terminologia dos termos mais importantes empregues numa FMEA/FMECA e enquadra-se a sua implementação, definindo e caracterizando três aspetos fundamentais, a abordagem, o âmbito, e os procedimentos. Por último identificam-se os benefícios e as limitações.

No quarto capítulo descreve-se e caracteriza-se um processo de tomada de decisão baseado em múltiplos critérios. Abordam-se os conceitos e definições, a sua classificação, processo de seleção do problema e implementação do procedimento de decisão. É apresentado o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) que foi a metodologia da análise e tomada de decisão escolhida para este trabalho. Descreve-se o seu conceito, desenvolvimento, e processo de implementação onde todas as etapas são descritas e explicadas, segundo os princípios gerais de aplicação, terminando o capítulo com a apresentação das suas vantagens e limitações.

O quinto capítulo serve para apresentar a metodologia para estabelecer relação entre os fatores respeitantes às atividades de operação e manutenção e a disponibilidade do equipamento. São descritas as quatro etapas de implementação da metodologia. Neste capítulo são também descritos e caracterizados os critérios do AHP, que são a fiabilidade, a manutibilidade, a segurança, e os custos, assim como os fatores que são o planeamento e operação do equipamento, a gestão de peças de reposição, o planeamento da manutenção, a formação, os tipos de manutenção e sua interface, o envelhecimento, a fiabilidade humana, e a gestão de recursos da manutenção.

No sexto capítulo demonstra-se a metodologia através de um caso prático de estudo. É descrito o equipamento e são apresentados e caracterizados os modos de falha considerados críticos. Neste capítulo efetua-se a FMEA e a análise do AHP, e apresenta-se os seus resultados.

Finalmente no capítulo sete são apresentadas as conclusões e apontadas algumas perspectivas de trabalhos futuros.

Capítulo 2 – Disponibilidade de um Ativo Físico

2.1 Ativo Físico e Gestão de Ativos

De acordo com a norma NP ISO 55000 (2016) um ativo é um bem, uma coisa ou uma entidade que tem valor potencial ou real para uma organização. O valor do ativo variará conforme as diferentes organizações e partes interessadas, e pode ser tangível ou intangível, financeiro ou não financeiro. Este conjunto de normas sobre gestão de ativos estabelece os princípios da gestão de ativos e está dividido da seguinte forma:

- ✓ NP ISO 55000 – Visão geral, Princípios e Terminologia;
- ✓ NP ISO 55001 – Requisitos dos Sistemas de Gestão;
- ✓ NP ISO 55002 – Diretrizes para a aplicação da NP ISO 55001.

Os ativos físicos normalmente referem-se a equipamentos, *stocks* e propriedades na posse da organização.

A gestão de ativos permite a uma organização averiguar as necessidades e desempenho dos ativos a diferentes níveis. Permite também uma abordagem analítica de gestão ao longo das várias fases do ciclo de vida do ativo, iniciando-se no momento da tomada de consciência da sua necessidade até à sua desativação.

Esta nova visão de gestão definida pela norma referida, traz às empresas que se inserem em mercados muito competitivos com índices de desempenho elevados, uma outra forma para atingirem as suas metas através da integração de todas as áreas da empresa de modo a que cada uma delas identifique a sua função dentro da estrutura e como contribuirá para criação de valor através dos ativos.

Segundo as diretrizes da norma, as organizações implementarão atividades coordenadas para obter valor, durante toda a vida do ativo, envolvendo assim um equilíbrio entre custos, riscos e desempenho.

Segundo ICA (2015) a gestão de ativos físicos resulta numa prática clara de renovação de ativos que devem ser substituídos não somente quando estão irremediavelmente danificados, mas também nas seguintes situações:

- Quando os custos operacionais e ou de manutenção durante a vida remanescente do ativo excederem o custo de substituição;
- Quando há risco iminente de falha do ativo;
- Sempre que o impacto de uma provável falha supera o custo de substituição;
- Quando uma provável falha pode comprometer a fiabilidade e a segurança do sistema e pessoas;
- Quando os ativos se tornarem obsoletos e ineficientes para operar e manter o negócio;
- Sempre que os ganhos com a substituição implicam uma melhoria de indicadores relativos à segurança de pessoas, do meio ambiente e desempenho da empresa.

Na figura 2.1 estão definidos os quatro princípios da gestão de ativos:

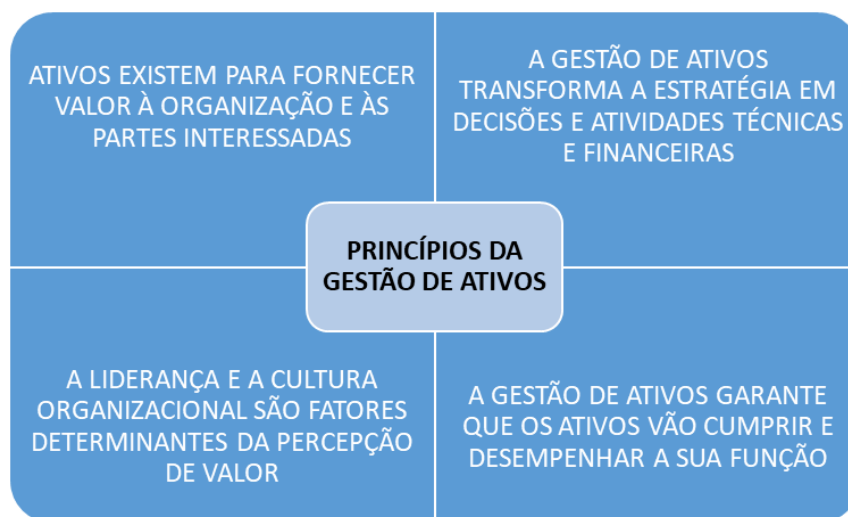


Figura 2.1 – Princípios da Gestão de Ativos

[Fonte: ICA (2015)]

Partindo da premissa que ativo é o que gera valor para a organização, considera-se ativo crítico aquele que gera maior valor cumprindo o objetivo estabelecido. O facto de se considerar um ativo crítico, também está relacionado com a importância do elemento, da sua função e das consequências da sua ausência ou falha. Estes ativos sofrem por parte da organização um controlo mais efetivo.

No cumprimento da norma, a empresa deve estabelecer documentação e manter um plano de gestão para seguir a estratégia definida em linha de atuação com a gestão de ativos, de acordo com o objetivo estabelecido, para alcançar as metas, através das seguintes atividades realizadas durante toda a vida do ativo:

- Aquisição (inclui conceção, projeto, modificação, construção e comissionamento);
- Utilização;
- Manutenção (inclui inspeção, controlo de condição, teste funcional, reparação, renovação, extensão da vida útil);
- Abate ou alienação.

2.2 Gestão de Ativos e RAMS

RAMS é o acrónimo de *Reliability, Availability, Maintainability, and Safety* (Fiabilidade, Disponibilidade, Manutibilidade e Segurança) e consiste num conjunto de técnicas, metodologias e ferramentas relacionadas com os conceitos considerados, aplicadas ao longo da vida de um ativo físico, com a finalidade de potenciar o seu desempenho, e criar condições para uma exploração eficiente com redução de riscos de acidentes.

A sua implementação obriga a protocolos de informação que garantam a partilha de informação de forma ágil e rigorosa, e exige também uma plataforma comum não só de partilha de dados, mas também de normalização para a interação de todas as ferramentas e técnicas aplicadas em consonância com os quatro conceitos. Para tal é fundamental a organização e estruturação de todos os ativos de forma a garantir abordagens coerentes e evitar incorreções.

O conceito RAMS corresponde à necessidade das empresas em maximizarem os seus ativos físicos, tornando-se fundamental como uma metodologia que garanta o máximo desempenho possível do equipamento, de forma segura sem causar riscos de acidentes, sem falhas nem tempos de paragens, reduzindo assim os custos de exploração, controlando e mantendo todos os indicadores nos valores definidos pela empresa durante toda a sua vida útil, contribuindo para que a gestão de ativos alcance os seus objetivos.

Desta forma é perceptível que as empresas confrontadas com a gestão de ativos físicos de grande complexidade e dimensão, optem pela aplicação do RAMS. Atualmente várias

organizações estabelecem nos cadernos de encargos e nas especificações técnicas condições que o equipamento terá de cumprir, que são o resultado de uma análise RAMS.

2.3 Disponibilidade: Conceito e Definições

De acordo com a norma portuguesa NP EN 13306 (2007), disponibilidade é a aptidão de um bem para cumprir uma função requerida sob determinadas condições, num dado instante ou durante um dado intervalo de tempo, assumindo que é assegurado o fornecimento dos necessários recursos externos. Advém uma nota explicativa mencionando que esta aptidão depende da combinação da fiabilidade, da manutibilidade e da adequabilidade da manutenção.

Para Monchy (1989), um equipamento disponível é um equipamento que está apto para trabalhar. Partindo deste princípio, a disponibilidade de um bem, depende da quantidade de falhas que possam ocorrer (fiabilidade), da rapidez com que se resolve as avarias (manutibilidade), dos métodos e processos utilizados no exercício das políticas de manutenção, e das atividades de apoio efetivo (logística).

A disponibilidade é definida também como a probabilidade de um sistema estar pronto para desempenhar uma tarefa ou a sua função sob determinadas condições quando for solicitado para tal num dado momento, e está associada a sistemas que podem ser reparados ou sofrer qualquer outra intervenção de manutenção. Nesse prisma, disponibilidade é uma função relacionada com a frequência em que o sistema falha (fiabilidade) e com a quantidade de tempo que leva a repor o sistema operacional após a falha ocorrer (manutibilidade).

Esta relação está demonstrada na figura 2.2. Sempre que a fiabilidade aumenta ou diminui, mantendo-se a manutibilidade constante, a disponibilidade acompanha a tendência da fiabilidade. O mesmo se verifica quando a fiabilidade se mantém constante e a manutibilidade aumenta ou diminui, a disponibilidade acompanha a tendência da manutibilidade.

Fiabilidade	Manutibilidade	Disponibilidade
=	↓	↓
=	↑	↑
↑	=	↑
↓	=	↓

Figura 2.2 – Relação entre Fiabilidade, Manutibilidade e Disponibilidade

[Fonte: Canuto (2009)]

Sendo a disponibilidade um reflexo da fiabilidade e da manutibilidade, Dhillon (2006) define os princípios gerais de cada um dos conceitos que a influenciam, como se pode verificar na tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Princípios gerais específicos da Fiabilidade e Manutibilidade

[Fonte: Dhillon (2006)]

Princípios Gerais	
Manutibilidade	Fiabilidade
Reduzir os custos de manutenção durante o ciclo de vida.	Maximizar o uso de peças normalizadas.
Reduzir a quantidade, frequência e complexidade das tarefas de manutenção necessárias.	Utilização de menos componentes para executar múltiplas funções.
Reduzir os tempos médios de reparação.	Relevar a simplificação no projeto.
Determinar a extensão de manutenção preventiva a ser executada.	Fornecer os coeficientes de segurança adequados para valores de forças e picos de tensão.
Facultar a máxima permutabilidade.	Fornecer projeto livre de falhas.
Reduzir a quantidade de fornecimentos requeridos.	Fornecer redundâncias quando requeridas.
Reduzir ou eliminar a necessidade de manutenção.	Minimizar tensões em componentes e peças.
Considerar os benefícios de projeto de substituição modular comparado com reparação de peças ou conceito de produto descartável.	Utilizar peças e componentes com fiabilidade comprovada.

Por outro lado, a disponibilidade também pode ser considerada um estado do bem. Um tipo de classificação neste contexto é apresentado pela norma NP EN 13306 (2007) onde os diferentes estados de um bem são representados na figura 2.3.

De acordo com a referida norma cada um dos estados tem a seguinte descrição:

- Estado de indisponibilidade – Estado de um bem caracterizado por uma situação de falha ou por uma eventual capacidade do bem para desempenhar uma função requerida durante a manutenção preventiva;
- Estado de disponibilidade – Estado de um bem caracterizado pelo facto que poder cumprir uma função requerida, assumindo que o fornecimento de recursos externos, eventualmente necessários, está assegurado;
- Estado de repouso – Estado de um bem disponível quando não está em funcionamento durante um tempo em que não é requerido;
- Estado de espera – Estado de um bem disponível quando não está em funcionamento durante um tempo em que é requerido;
- Estado de funcionamento – Estado de um bem que cumpre a função requerida;
- Estado de incapacidade externa – Estado de incapacidade de um bem disponível, por falta de recursos externos necessários ou que não está disponível devido a ações programadas que não sejam de manutenção.

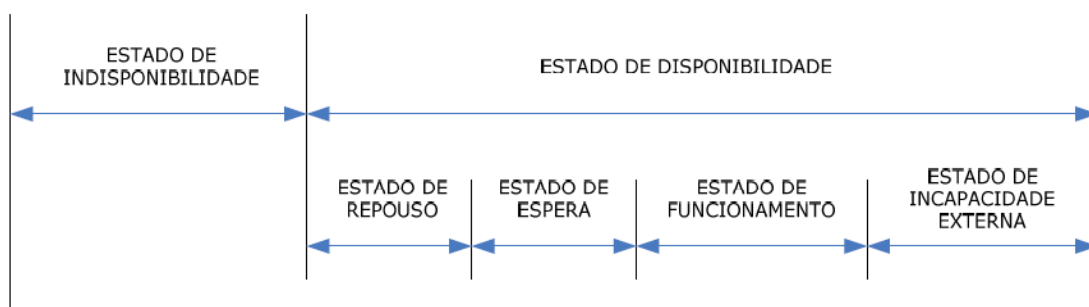


Figura 2.3 – Estados de um Bem

[Fonte: Sobral (2010)]

Segundo Pryor (2008), nos meios militares a disponibilidade operacional é uma importante consideração para a avaliação da eficiência e da sustentabilidade de um sistema, e é atualmente um *Key Performance Parameter* (KPP) no exército dos Estados Unidos. Os KPP são definidos como os atributos de um sistema que são considerados como críticos ou essenciais para o desenvolvimento de uma efetiva capacidade militar.

No entanto, a averiguação e avaliação da disponibilidade é problemática devido a estar muito dependente dos tempos de resposta e dos atrasos da manutenção e da logística. Assim, para calcular a disponibilidade operacional, na maioria das vezes é necessário calcular a disponibilidade inerente e a manutibilidade de um *item* e depois aplicando técnicas de modulação e simulação encontra-se o valor da disponibilidade operacional.

Para o *Defense Acquisition University* (DAU) referido por Pryor (2008), a disponibilidade operacional é o grau (expresso com um valor decimal entre 0 e 1, ou em percentagem equivalente) que se pode esperar de um equipamento para funcionar corretamente quando necessário, ou seja, é o valor em percentagem de tempo em que o equipamento está disponível para ser utilizado. Representa o tempo de atividade considerando os efeitos da fiabilidade, manutibilidade e os tempos médios de atraso da logística. O mesmo autor apresenta os vários tempos que são considerados para o cálculo da disponibilidade operacional nos meios militares, representados na figura 2.4, e define os tempos correspondentes.

- Tempo de atividade – Refere-se ao período em que o *item* está a ser utilizado ou em condições de ser utilizado no ambiente definido para desempenhar a sua função.
- Tempo de inatividade – Refere-se ao período de tempo em que o bem não está a ser utilizado ou não está em condições de ser utilizado, como por exemplo quando está a ser reparado ou a sofrer alterações.
- Tempo operacional – É a quantidade de tempo em que o bem está a funcionar ou em condições de funcionamento.
- Tempo inoperacional – Período de tempo em que o bem não está em condições de desempenhar as suas funções principais.
- Tempo de espera – Período de tempo em que o bem não está a funcionar e não está indicado para desempenhar a sua principal função.

- Tempo de missão – Tempo em que o bem está dedicado para desempenhar a sua principal função.
- Tempo de manutenção – Período de tempo durante o qual são efetuadas ações de manutenção.

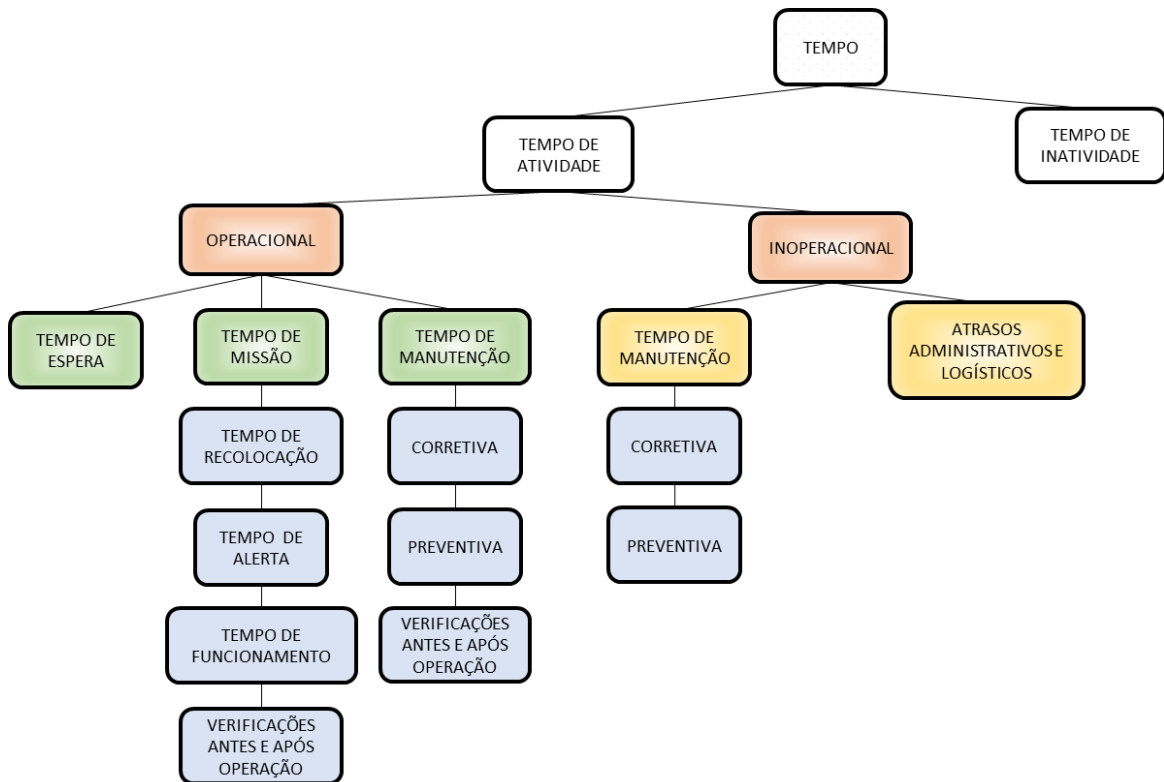


Figura 2.4 – Tempos para cálculo da Disponibilidade

[Fonte: Pryor (2008)]

Segundo OPAH (2004), a disponibilidade operacional, juntamente com a fiabilidade operacional e a capacidade operacional, formam os três componentes da eficácia do sistema, conforme se pode ver na figura 2.5. Estes três fatores devem ser definidos relativamente ao ambiente operacional específico e ao cenário de operação previsto para o sistema. Combinados determinam a eficácia do sistema, e são caracterizados da seguinte forma:

- Capacidade operacional – Refere-se às características de operacionalidade do sistema (gama de produtos, cargas admissíveis, precisão e outras), e à consequente capacidade para enfrentar os desafios;

- Disponibilidade operacional – Refere-se à probabilidade de o sistema estar pronto para desempenhar a sua função, no seu respetivo contexto operacional, quando num dado momento aleatoriamente escolhido, para tal for solicitado;
- Fiabilidade operacional – Refere-se à probabilidade do sistema em permanecer a funcionar durante o tempo de serviço, mantendo as mesmas condições iniciais.

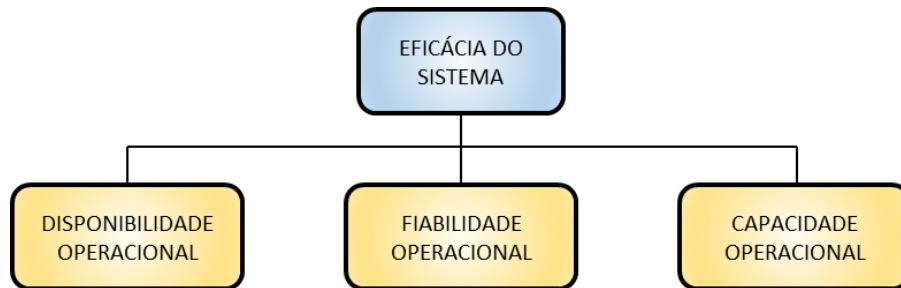


Figura 2.5 – Elementos da eficácia do Sistema

[Fonte: OPAH (2004)]

2.4 Classificação da Disponibilidade

A definição de disponibilidade, no seu sentido lato, pode ser bastante flexível e relaciona-se largamente com o modo de como se pretende efetuar a análise do contexto operacional. Canuto (2009) menciona que de acordo com a *Reliasoft Corporation*, conforme o grau de análise requerido no processo de manutenção assim poderão ser usados diferentes tipos e indicadores da disponibilidade como:

- Disponibilidade instantânea ou pontual;
- Disponibilidade média;
- Disponibilidade de estado constante;
- Disponibilidade inerente;
- Disponibilidade alcançada;
- Disponibilidade operacional.

Pinto (2002), assim como Assis (2004), consideram a disponibilidade intrínseca e operacional. Canuto (2009) refere que para Pereira e Canuto são considerados três tipos de disponibilidade: a inerente, a alcançada e a operacional, sendo que a primeira diz respeito à

execução das operações de reparação, a segunda inclui também as intervenções preventivas e a terceira inclui todas as operações desde a paragem até o arranque do sistema. O mesmo autor apresenta também as respetivas equações:

$$A_I = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \quad (2.1)$$

em que:

A_I – Disponibilidade inerente;

$MTBF$ – Tempo médio de bom funcionamento;

$MTTR$ – Tempo médio de reparação.

De notar que o $MTBF$ aqui considerado representa a média dos tempos de bom funcionamento, isto é, o tempo que decorre entre o final de uma avaria e o início da avaria consecutiva. O $MTTR$ representa a média dos tempos técnicos de reparação considerando apenas os tempos de manutenção corretiva. A disponibilidade inerente por vezes também é designada de intrínseca.

$$A_A = \frac{MTBM}{MTBM+M} \quad (2.2)$$

em que:

A_A – Disponibilidade alcançada;

$MTBM$ – Tempo médio entre ações de manutenção, corretiva e preventiva;

M – Tempo médio de paragens de manutenção, corretiva e preventiva.

$$A_O = \frac{MTBF}{MTBF+MDT} \quad (2.3)$$

em que:

A_O – Disponibilidade operacional;

$MTBF$ – Tempo médio de bom funcionamento;

MDT – *Medium Down Time*.

De notar que o MDT inclui todas as paragens, nomeadamente paragens de manutenção, administrativas, logísticas e outras. Neste caso o MTBF corresponde ao *Uptime*, ou seja, ao período de tempo total em que o sistema está a funcionar, e o MDT adicionado ao MTBF corresponde ao *Operating Cycle*, que é período de tempo total das operações em análise.

A disponibilidade operacional é aquela que revela o real estado do bem, porque não só reflete os efeitos da fiabilidade e da manutibilidade, mas também os efeitos das deficiências das estruturas e serviços de apoio nas áreas administrativa e logística. É a disponibilidade resultante de todos os eventos que ocorreram dentro da organização a todos os níveis, operacionais e administrativos, e que se refletem na aptidão do bem para cumprir a sua função.

A disponibilidade operacional, não pode ser, assim, totalmente controlada pelos fabricantes e construtores. Estes podem efetivamente melhorar a fiabilidade e manutibilidade, contribuindo para melhor disponibilidade, mas não podem controlar o meio e o contexto em que o bem desempenha a função, nem tão pouco podem assegurar o cumprimento das melhores práticas de utilização e manutenção.

2.5 Disponibilidade e Avarias

Naturalmente que quanto maior o número de avarias num sistema reparável, menor será a sua disponibilidade. Sabendo que ela vai acontecer, em menor ou maior dimensão, com previsão ou sem, se estivermos na presença de manutenção preventiva, mormente a condicionada, o modo como o acontecimento “avaria” e o estado “em falha” são tratados pela manutenção está diretamente relacionado com a disponibilidade.

Convém diferenciar entre falha e avaria. Constata-se que em contexto profissional os dois termos acabam por ser utilizados praticamente como sinónimos e são usados indiferentemente. Para Cabral (2009) os termos “avaria” e “falha” são praticamente

sinónimos e podem utilizar-se indistintamente. Contudo, refere o mesmo autor, que é comum utilizar-se o termo “avaria” de uma forma mais abrangente relativamente a um equipamento, e o termo “falha” usa-se em sentido mais restrito e localizado dirigido a um órgão.

Já Assis (2010) considera que a avaria surge como um caso particular de falha, e que o termo “avaria” refere-se não só à ocorrência de uma falha (da função capacidade) mas integra também a consequência: o equipamento para (a função capacidade reduz-se a zero). Pode também designar-se como avariado o estado de um equipamento que falhou.

A norma NP EN 13306 (2007) define os termos como:

- Avaria: Cessação da aptidão de um bem (ou *item*) para desempenhar uma função requerida;
- Em Falha: Estado de um bem (ou *item*) caracterizado pela sua inaptidão para desempenhar uma função requerida, excluindo a inaptidão devida à manutenção preventiva ou a outras ações programadas ou à ausência de recursos externos;
- Avariado: Qualificação de um bem (ou *item*) em estado de avaria.

No entanto, Cabrita e Cardoso (2015) apresentam outra interpretação da norma baseada na tradução das normas europeias e internacionais relativas às definições normalizadas dos termos “falha” e “avaria”. Para os referidos autores as definições são inequívocas provando-se assim que o termo “falha” refere-se à cessação da aptidão do bem e o termo “avaria” é relativo ao estado do bem que é caracterizado pela sua inaptidão em desempenhar uma função requerida.

O acontecimento “avaria” e o subsequente estado “em falha”, representa uma janela temporal que será inteiramente preenchida pela atividade da manutenção para corrigir e eliminar o problema, retirando o equipamento do estado avariado. Considerando o tempo técnico de reparação (TTR) a janela temporal, enquadram-se os respetivos tempos em cinco aspetos distintos:

- Avaliação/Reconhecimento – Quando a produção informa a manutenção que o equipamento se encontra com avaria inicia a contabilização do tempo de paragem da responsabilidade da manutenção. Esta etapa refere-se ao reconhecimento da avaria, primeiro contacto com o operador para recolha de informações e contextualização com aviso ou mensagem no painel do equipamento;

- Diagnóstico – É o processo de identificação da causa provável de uma avaria baseado em raciocínio lógico e sistemático, sustentado por informações e dados provenientes de verificação, inspeção, experiência ou consulta de registos. Em muitas situações para proceder ao diagnóstico é necessário acesso a locais do equipamento com circulação mais dificultada ou mesmo reservada. Para proceder mais eficientemente ao diagnóstico, o técnico de manutenção deve possuir ou devem estar disponíveis no local os seguintes meios: Documentação técnica, Esquemas e diagramas, Árvore de pesquisa de avarias, Registo histórico, Aparelhos de medida e de ensaio elétricos e mecânicos;
- Logística – Comporta todo o tempo consumido em ações de apoio à reparação da avaria. As deslocações dos técnicos de manutenção à oficina central, ao departamento da engenharia de equipamento, à ferramentaria, ao armazém de peças de reposição, ou outras deslocações necessárias são consideradas como tempo de logística;
- Reparação – O tempo de reparação significa o tempo em que o técnico na realidade repara o equipamento, ou seja, substitui uma motobomba, ajusta um sensor de proximidade, troca um relé danificado, efetua uma soldadura num elemento estrutural ou reaperta elementos de fixação;
- Ensaio/Teste – Comprovar em como a reparação foi bem executada e o bem voltou a estar apto para desempenhar a sua função. Na maioria dos equipamentos de processos produtivos mais complexos, posteriormente a ações de manutenção, quer corretivas quer preventivas, são necessário ajustes e afinações para garantir que o processo produtivo vai continuar nas condições anteriores à execução da manutenção. Em certas situações, por questões de acesso ou mesmo devido à especificidade do equipamento, é necessário retirar ferramentas de produção ou mesmo desregular cintas de transporte para se efetuar a reparação. Apenas quando o equipamento produz nas condições requeridas e em condições de transitar para o passo seguinte do fluxo produtivo o produto, é que o tempo de intervenção da manutenção cessa.

Uma ação corretiva da manutenção pode ter um desenvolvimento como o representado na tabela 2.2:

Tabela 2.2 – Tempos de reparação de Avaria [min]

Ações	Avaliação	Diagnóstico	Logística	Reparação	Ensaio
Chamada da produção, deslocação do técnico de manutenção, tomada de conhecimento do problema.	6				
Análise da mensagem de aviso ou falha no painel de comando. Testemunho do operador.		2			
Necessária documentação que se encontra na oficina de manutenção. Deslocação à oficina.			11		
Após consulta do esquema verifica-se o componente. Tem de ser substituído.		14			
Deslocação ao armazém para trazer sobressalente. Não existe. Necessário procurar compatível.			19		
Substituição do componente.				10	
Arranque e ensaio da máquina. Verificar necessidade de ajuste ou afinação.					3
Tempo total por etapa	6	16	30	10	3

De acordo com a tabela 2.2, numa avaria com paragem de 65 minutos, os tempos ficaram repartidos da seguinte forma:

- Avaliação – 6 minutos;
- Diagnóstico – 16 minutos;
- Logística – 30 minutos;
- Reparação – 10 minutos;
- Ensaio – 3 minutos.

A ação relativa à reparação do bem, incluindo a avaliação, diagnóstico e substituição somou 35 minutos, enquanto que as ações de apoio como deslocações para consultar, procurar em armazém, e avaliar as peças de reposição somaram 30 minutos, praticamente o mesmo que as ações diretamente relacionadas com o bem e a sua condição.

Capítulo 3 – Análise de Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA)

3.1 Resenha Histórica

Alguns autores apontam o dia 9 de novembro de 1949 como a data do surgimento formal da FMEA. Segundo August (2002), nessa data as Forças Armadas dos Estados Unidos da América desenvolveram uma ferramenta de análise cujo objetivo principal era melhorar a fiabilidade e a segurança dos equipamentos ao seu dispor. Esse método foi denominado de *Procedures for Performing a Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*, o que em tradução livre pode ser traduzido como Procedimentos para a Realização de Análise da Criticidade e dos Efeitos dos Modos de Falha, e resultou na norma militar MIL STD 1629. Esta norma revista em 1980 deu origem à norma MIL STD 1629A que é no fundo a norma para a realização da *Failure Modes, Effects and Criticality Analysis* (FMECA) que foi complementada pelo Manual Técnico TM 5-698-4 onde é referido que apesar da norma MIL STD 1629A ter sido cancelada, os seus conceitos devem ser aplicados durante todas as etapas de desenvolvimento de todos os sistemas, equipamentos ou produtos de âmbito militar, comercial ou industrial.

Durante a década de 1960 a ferramenta foi amplamente utilizada pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) principalmente nos seus projetos espaciais, e na década seguinte espalhou-se pelas diferentes indústrias, com maior enfoque na indústria automóvel pela mão da *Ford Motor Company* que juntamente com a *Chrysler Corporation* e *General Motors Corporation* desenvolveram uma norma de padronização denominada QS9000 que era de certa forma análoga à norma ISO 9000. De acordo com a norma QS9000, atualmente substituída pela ISO/TS 16949, as empresas da indústria automóvel deveriam aplicar um plano de qualidade intitulado *Advanced Product Quality Planning* (APQP) que incluía Análise de Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA) de projeto e de processo, assim como desenvolvimento de um plano de controlo.

3.2 Conceito e Definições

A Análise de Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA) é caracterizada por um conjunto de atividades de aplicação sistemática por forma a reconhecer, identificar e detalhar uma real ou potencial falha de um sistema, equipamento, produto ou serviço, e evidenciar ações que minimizem ou eliminem o surgimento da falha assim como das suas consequências.

A *American Society for Quality Control* (ASQC), hoje denominada *American Society for Quality* (ASQ), define Análise de Modos de Falha e seus Efeitos como uma técnica de engenharia utilizada para definir, identificar e eliminar falhas conhecidas e ou potenciais, problemas ou erros de um sistema, projeto, processo ou serviço, antes de chegarem ao cliente.

A Análise de Modos de Falha e seus Efeitos é considerada por Maheswaran e Loganathan (2013) uma das ferramentas de avaliação de risco mais utilizadas em todo o mundo.

É importante salientar que para além de FMEA, que é o acrónimo em língua inglesa da Análise de Modos de Falha e seus Efeitos, é comum a utilização de FMECA, acrónimo também em língua inglesa para Análise de Modos de Falha, Efeitos e Criticidade. Ambas as técnicas têm como base o mesmo processo sistemático de desenvolvimento sendo que a característica comum que as define é a avaliação da criticidade do modo de falha através do tratamento de informação mensurável. Segundo Herpich e Fogliatto (2013), a principal diferença entre FMEA e FMECA reside no facto que a primeira é uma técnica mais ligada à vertente qualitativa, sendo muito utilizada na avaliação de projetos, enquanto a segunda incorpora o que se denomina por análise crítica, que em resumo é um método quantitativo utilizado para classificar os modos de falha críticos tendo em consideração as suas probabilidades de ocorrência. A identificação da função de cada componente, seus modos potenciais de falha, seus efeitos e suas causas e, por consequência, a classificação dos graus de criticidade, são resultado da aplicação da Análise de Modos de Falha, Efeitos e Criticidade.

Sakurada (2001) define FMEA como um método qualitativo que estuda os possíveis modos de falha dos componentes, sistemas, projetos, processos e os respetivos efeitos gerados por esses modos de falha, e FMECA, como uma FMEA mas com análise de criticidade, sendo que essa criticidade é o produto da severidade, entendida como o impacto dos efeitos da falha, e a ocorrência, que representa a probabilidade da falha ocorrer. Caracteriza também FMEA como um registo que pode evitar o reaparecimento de

problemas passados procurando a melhoria contínua, e igualmente como um documento vivo e atualizado, enquanto FMECA mantém todos estes preceitos adicionando o cálculo do *Risk Priority Number* (RPN) que em português tem a tradução de Número de Prioridade de Risco (NPR). Para calcular o NPR, aos dois índices da criticidade junta-se o índice da detecção, que mostra a eficiência dos controlos da falha, sendo que:

$$\text{NPR} = \text{Severidade} \times \text{Ocorrência} \times \text{Detecção} \quad (3.1)$$

Segundo o mesmo autor, Mohr apresenta a diferença entre FMEA e FMECA da seguinte forma:

$$\text{FMECA} = \text{FMEA} + \text{C} \quad (3.2)$$

onde,

$$\text{C} = \text{Criticidade} = \text{Severidade} \times \text{Ocorrência} \quad (3.3)$$

Considerando a explicação de Mohr, refere Sakurada (2001) que vários autores como Kume, Palady, Stamatis, e Villacourt, apresentam trabalhos a respeito de FMEA quando na verdade referem-se a FMECA.

Rausand (2004) também enfatiza a diferenciação entre os termos e os seus significados e refere que a FMECA é a técnica de análise de fiabilidade mais amplamente utilizada nos estágios iniciais de desenvolvimento de sistemas e produtos.

As definições de Análise de Modos de Falha e seus Efeitos, defendidas por vários autores ao longo dos anos, evidenciam a ênfase que é dada aos vários aspetos da ferramenta reforçando o seu conceito, e tal como refere Souza (2012), com base nas definições apresentadas é possível concluir que a FMEA é um método bem estruturado e robusto.

Ben-Daya e Raouf (1996), definem FMEA como um método muito utilizado na indústria automóvel para quantificar e elencar falhas críticas no estágio de desenvolvimento de um produto ou processo.

Para Palady (1997), FMEA é uma ferramenta para prognóstico de problemas e é também um procedimento para desenvolvimento e execução de projetos, processos ou serviços,

novos ou revistos. Considera igualmente que funciona como um diário dos projetos de desenvolvimento e melhoria de produtos, processos e serviços.

Segundo Stamatis (2003), o objetivo da FMEA é identificar ações corretivas necessárias para prevenir falhas, impedindo que estas atinjam os clientes, melhorando a fiabilidade, tempo de vida e qualidade de um produto ou serviço. Defende também que uma boa FMEA consiste em identificar modos de falha conhecidos e potenciais, identificar as causas e efeitos dessas falhas, priorizar as falhas de acordo com o seu nível crítico, que é o produto de três variáveis: ocorrência, detecção e severidade, e assegurar o acompanhamento dos problemas e das ações corretivas.

De acordo com Slack, Chambers e Johnston (2008), a FMEA é um método que tem como objetivo proporcionar análises de falhas através de uma lista de verificação constituída por três perguntas chave: Qual a probabilidade da falha ocorrer; Quais seriam os efeitos da falha se esta ocorresse; Qual a probabilidade de detetar essa falha antes que ela atinja o cliente.

Pinho *et al.* (2008) caracterizam a FMEA como um método utilizado para busca de falhas potenciais durante a etapa de projeto de um produto ou serviço e conseqüentemente redução de custos com eventuais correções futuras.

Para Von Ahsen (2008) a FMEA tem como objetivo prevenir que falhas inaceitáveis atinjam os clientes e auxiliar uma alocação mais eficiente de recursos para melhorias.

Chuang (2010) refere que o objetivo da FMEA é prever como e onde sistemas e processos podem falhar e como as pessoas são alertadas das falhas.

Perante a complementaridade das definições, pode-se concluir pela solidez e maturidade da ferramenta e constatar também que as explicações dos vários autores comprovam a utilização da sigla FMEA para designar FMECA, fazendo com que o primeiro termo seja o mais conhecido e utilizado.

Na figura 3.1 está representado um diagrama da FMEA, com a referência às componentes qualitativas e quantitativas do processo, assim como as diferentes avaliações de risco.

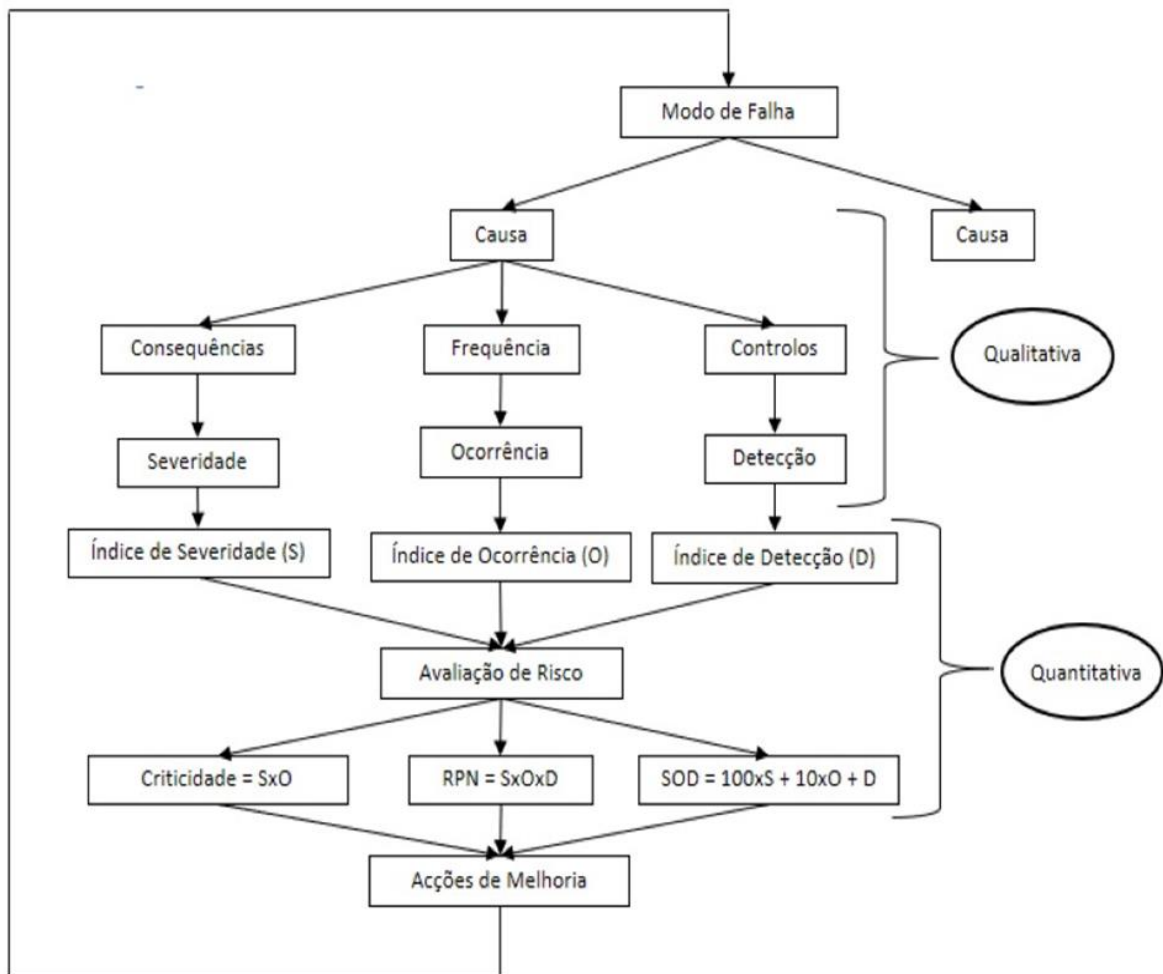


Figura 3.1 – Diagrama da FMEA

[Fonte: Autor]

3.3 Aplicações

As áreas de aplicação são diversas e são vários os trabalhos de investigadores académicos e profissionais da indústria. Herpich e Fogliatto (2013), entre os inúmeros trabalhos existentes, destacam:

- Xu *et al.* (2002), que apresentaram uma Análise de Modos de Falha e seus Efeitos baseada em lógica *fuzzy* para uma melhor utilização da ferramenta numa aplicação a sistema turbogerador a *diesel*;

- Guimarães e Lapa (2004), que aplicaram uma Análise de Modos de Falha e seus Efeitos a um sistema de controlo químico e volumétrico denominado *Chemical and Volumetric Control System (CVCS)* utilizado em centrais termonucleares;
- Silva, Soares e Silva (2008), que provaram a importância da gestão de equipamentos através da aplicação de uma Análise de Modos de Falha e seus Efeitos utilizada para rever o programa de manutenção de equipamentos críticos de uma caldeira;
- Nord *et al.* (2009), que fizeram uma análise de fiabilidade com uma Análise de Modos de Falha, Efeitos e Criticidade a uma turbina a gás numa central de energia, identificando e classificando falhas e riscos dos equipamentos críticos do sistema da turbina;
- Coelho *et al.* (2011), que aplicaram uma Análise de Modos de Falha e seus Efeitos a uma extrusora polimérica definindo assim um plano de manutenção com propostas concretas como efetuar manutenção preventiva geral de cinco em cinco anos e a substituição dos componentes principais de um dos sistemas críticos, aumentando desta forma a disponibilidade e a fiabilidade do equipamento.

Para além destas áreas referidas, os outros campos também diversos onde a ferramenta é normalmente utilizada são: Administração; Medicina; Circuitos Elétricos e Equipamentos Semicondutores; Ergonomia; Indústria Siderúrgica e Metalúrgica; Indústria Alimentar; Desenvolvimento de Reator Termonuclear; Sistemas de Gestão; e Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos.

3.4 Terminologia e Normas

O conhecimento e o correto uso da terminologia de uma determinada área do conhecimento são fundamentais para a sua compreensão não só entre pares académicos, mas também entre todos os que direta ou indiretamente relacionam-se com os seus conceitos e aplicação. Utilizar a terminologia é assegurar a forma mais acertada de transferir e comunicar de maneira compreensível e sem ambiguidades, garantindo que a cada termo corresponde apenas um significado específico e concreto.

Para uma correta utilização de uma Análise de Modos de Falha e seus Efeitos é, pois, importante atender aos seguintes termos e suas definições: (Ford Motor Company 1995)

Ações recomendadas – Uma modificação no projeto, ou no processo de fabrico ou de montagem para impedir ou reduzir a ocorrência de uma causa de um modo de falha, ou mitigar os efeitos de um modo de falha. Uma ação implementada para eliminar uma deficiência do projeto ou do processo. As ações recomendadas podem reduzir um ou mais do que um dos índices de severidade, ocorrência e detecção.

Análise de criticidade – Procedimento em que cada (potencial) modo de falha é classificado de acordo com a severidade e probabilidade de ocorrência.

Causa da Falha – Entende-se por causa da falha o processo físico ou químico, os defeitos de concepção, os defeitos de qualidade, as montagens incorretas ou outros processos que sejam a razão básica para a falha acontecer ou que iniciem um processo de degradação que conduza ao aparecimento da falha. Em resumo, causa da falha são os motivos que levaram ao surgimento do modo de falha. Para encontrar a (potencial) causa da falha a questão subsequente tem de ser respondida: O que poderá acontecer no produto, processo, equipamento ou serviço que resultará num modo de falha? É essencial que todas as possíveis causas de cada um dos modos de falha sejam identificadas.

Cliente – Termo geral que é usado para se referir ao consumidor que adquire um bem ou a uma pessoa ou organização que recebe os resultados da FMEA, ou a um operador que se encontra a jusante num processo de fabricação ou montagem.

Componente – A menor subdivisão antes de se formar uma peça.

Controlos – Consideram-se controlos, todos os processos ou ferramentas de controlo que são destinados a prevenir as causas da ocorrência da falha, as causas da própria falha em si, ou o modo de falha resultante, antes do efeito acontecer.

Criticidade – Grandeza relativa das consequências de um modo de falha e da frequência de ocorrência.

Detecção – O índice de detecção é o valor numérico estimado da probabilidade em detetar um modo de falha resultante de uma causa particular de forma que o acontecimento da falha possa ser impedido. As escalas usadas são 1 a 5 ou 1 a 10, sendo 1 o valor da detecção mais eficaz, e 5 ou 10 consoante a escala, o valor da detecção menos eficiente.

Efeito da Falha – O efeito da falha é a consequência que a falha tem para a operação, função ou estado do *item*, para os *itens* vizinhos e para o sistema. Os efeitos das falhas são classificados em efeito local, efeito do nível seguinte ou intermédio, e efeito final. Para se

determinar o (potencial) efeito da falha tem de se responder à seguinte questão: O que irá acontecer se a falha ocorrer?

Elemento – Termo geral que é usado para se referir a um subconjunto de um sistema, subsistema ou de uma montagem. Uma peça ou um grupo de peças incluídas num sistema.

Função – É o propósito do produto, processo, equipamento ou serviço considerado. A finalidade ou a operação particular de um sistema, subsistema ou peça. A função principal é o propósito ou ação específica para a qual o produto foi concebido. A função secundária é uma outra função que o produto realiza, mas que serve de apoio e está dependente da função principal.

Item – Termo genérico utilizado para designar um sistema, subsistema, montagem, peça ou componente.

Modo de Falha – A maneira pela qual a falha é percebida. Geralmente o modo de falha assenta na descrição da forma que a falha ocorre, ou seja, a forma do defeito, a maneira na qual o defeito se apresenta, de que jeito o *item* falha ou deixa de responder satisfatoriamente ao resultado desejado, o estado anormal de funcionamento ou a forma como o *item* interrompe a execução da sua função ou não cumpre com as suas especificações. Para se identificar um (potencial) modo de falha ter-se-á de colocar a questão: O que é que poderá correr mal com este produto, processo, equipamento ou serviço?

Número de Prioridade de Risco (NPR) – O valor do NPR é o produto dos índices de ocorrência, severidade e deteção, e a magnitude do seu valor indica a prioridade das ações corretivas.

Ocorrência – O índice de ocorrência é o valor numérico da probabilidade de uma causa específica acontecer, resultando num modo de falha. As escalas utilizadas são 1 a 5 ou 1 a 10, sendo 1 o valor mínimo de ocorrência e 5 ou 10 consoante a escala, o máximo.

Peça – Bem físico de uma máquina que é considerada uma parte única e substituível. A menor subdivisão antes de se formar um subsistema ou sistema.

Produto – Termo geral que se refere a um componente, peça, montagem, subsistema ou sistema.

Severidade – É o resultado do modo de falha. A severidade considera o pior cenário da potencial consequência de uma falha, determinado pelo grau de lesões, dano nas

infraestruturas ou danos no sistema que possam acontecer. O índice de severidade é o valor numérico estimado da severidade do efeito da falha no cliente, considerando o cliente como o utilizador final ou a próxima pessoa do processo. As escalas consideradas são 1 a 5 ou 1 a 10 sendo 1 o valor mais baixo de severidade e 5 ou 10, consoante a escala, o mais elevado.

Sistema – Um conjunto de subsistemas ou peças interdependentes, organizadas e ligadas de forma coerente entre elas e o seu todo.

Subsistema – Um conjunto de elementos ou peças interdependentes organizadas para atingir um objetivo definido através da realização de uma função específica.

Tal como a terminologia, também a normalização é importante em qualquer área do conhecimento. A norma técnica, também denominada de padrão, é um documento realizado por uma entidade oficial, devidamente certificada para a função que exerce, que determina regras, procedimentos, orientações ou características relativas a um bem, produto, processo ou serviço que devem ser seguidas em todas as fases do ciclo de vida contempladas pelo documento. As normas estabelecem uma uniformização de regras e preceitos, mas não são de cumprimento obrigatório perante a lei, salvo se forem suportadas e enquadradas por legislação ou norma jurídica.

Silva, Tin e Oliveira (1997) abordou a relação da Análise de Modos de Falha e seus Efeitos com as normas que abordam a gestão da qualidade (ISO 9000 e QS 9000), a gestão ambiental (ISO 14000) e a gestão da segurança e saúde no trabalho (BS 8800). Segundo os mesmos autores, se a metodologia da FMEA for correta e adequadamente aplicada, ela poderá atender aos requisitos específicos dessas normas apresentando como exemplo a análise e priorização de impactos ambientais, a determinação de ações corretivas e preventivas para corrigir as inconformidades encontradas, e a avaliação de riscos.

Na tabela 3.1 estão resumidas as normas mais importantes produzidas por entidades de âmbito global que são seguidas por praticamente todas as empresas quando pretendem aplicar a ferramenta FMEA. O conceito fundamental assim como as definições são similares, contudo cada uma delas apresenta procedimentos mais detalhados e específicos de acordo com o campo de aplicação para o qual é destinada.

A tabela 3.2 apresenta uma amostra de normas de cariz mais particular, em que a norma é destinada a aplicações mais específicas. A existência destas normas prova a versatilidade da FMEA e a sua solidez e reputação como ferramenta para identificar, caracterizar e

classificar falhas e ou outros acontecimentos que coloquem em risco um projeto, um produto ou um serviço independentemente das suas características e do seu campo de aplicação.

Tabela 3.1 – Normas globais da FMEA

NORMA	DATA	ENTIDADE	COMENTÁRIO
MIL STD 1629A	1980	Department Of Defense - United States of America	Procedimentos para efetuar Análise de Modos de Falha, Efeitos e Criticidade.
BS 5760-5	1991	British Standards Institution	Guia de Análise de Modos de Falha, Efeitos e Criticidade para Fiabilidade de Sistemas, Equipamentos e Componentes.
SAE J1739	2000	Society of Automotive Engineers	Análise de Modos de Falha e seus Efeitos para Projecto, Processo e Maquinaria.
SAE ARP 5580	2001	The Engineering Society for Advancing Mobility Land Sea Air and Space - Society of Automotive Engineers	Análise de Modos de Falha e seus Efeitos para Aplicações excluindo Automóveis.
IEC 60812	2006	International Electrotechnical Commission	Procedimentos para efetuar Análise de Modos de Falha e seus Efeitos para Fiabilidade de Sistemas.
TM 5-698-4	2006	Department of the Army - United States of America	Manual Técnico de Análise de Modos de Falha, Efeitos e Criticidade para Infraestruturas de Comando, Controlo, Comunicações, Informática, Serviços de Vigilância e Reconhecimento.

Tabela 3.2 – Normas particulares da FMEA

NORMA	DATA	ENTIDADE	COMENTÁRIO
STUK-YTO-TR190	2002	Radiation and Nuclear Safety Authority - Finland	Análise de Modos de Falha e seus Efeitos para Software de Sistemas de Automações.
IMCA M166	2002	The International Marine Contractors Association	Guia para Análise de Modos de Falha e seus Efeitos.
NAVAIR 00-25-403	2005	Naval Air Systems Command - United States of America	Intruções para Processos de RCM na Aviação Naval.
Q9 Quality Risk Management	2006	United States Department of Health and Human Services Food and Drug Administration	Orientações para a Indústria.
DOT HS 811 075	2009	U.S. Department of Transportation - National Highway Traffic Safety Administration	Análise de Modos de Falha e seus Efeitos para Veículos com Células de Combustível de Hidrogénio.
DNV-RP-D102	2012	Det Norske Veritas	Análise de Modos de Falha e seus Efeitos para Sistemas Redundantes.

3.5 Implementação da FMEA

Quando se equaciona a implementação de uma FMEA, três aspetos ganham desde logo importância: A abordagem que se vai empregar; o âmbito da sua aplicação; e o procedimento da própria implementação.

A tabela 3.3 mostra a comparação entre as várias etapas de implementação da FMEA preconizadas pela MIL STD 1629A e por Stamatis:

Tabela 3.3 – Etapas para implementação da FMEA

Etapas	MIL STD 1629A (1980)	STAMATIS (1995)
1	Descrever o sistema a avaliar. Identificar as funções do sistema, desempenho esperado e definição de falha.	Selecionar a equipa e fazer <i>Brainstorming</i> .
2	Construir diagrama de blocos para conhecer o sistema e as interdependências entre os seus constituintes.	Fazer diagrama funcional de blocos e ou fluxograma de processo.
3	Identificar todos os componentes do sistema e os seus potenciais modos de falha.	Organizar os problemas por prioridade.
4	Avaliar cada modo de falha e caracterizar a sua pior consequência que resultará na classificação da severidade.	Aquisição de dados (Modos de Falha, Efeitos, Controlos existentes, Severidade, Ocorrência e Detecção).
5	Identificar medidas para detetar as falhas.	Resultados (NPR).
6	Identificar medidas corretivas para eliminar ou controlar o risco de falha.	Confirmar, avaliar e medir a situação.
7		Refazer todas as etapas.

3.5.1 Abordagem

Dois tipos de abordagem são considerados:

- Abordagem *Bottom-Up*, que é caracterizada por uma abordagem de níveis inferiores para superiores e que normalmente é utilizada quando o conceito do sistema a estudar já está definido. Neste tipo de interpelação, inicia-se o estudo de

cada um dos componentes existentes do nível mais baixo da árvore de componentes passando sempre para outros componentes de um nível imediatamente acima e assim sucessivamente até chegar ao nível mais superior. Esta abordagem é também denominada muitas vezes por *Hardware Approach* e é normalmente utilizada quando existem esquemas e ou desenhos claros de todos os componentes de um equipamento ou sistema. O estudo estará concluído apenas quando todos os componentes de todos os níveis forem considerados na análise;

- Abordagem *Top-Down*, que determina o início do estudo pelas funções principais do sistema, evidenciando como estas podem falhar, identificando assim as falhas funcionais. É geralmente utilizada na fase inicial do projeto e vai-se desenvolvendo à medida que este vai construindo a sua estrutura. O sistema é fragmentado, decomposto de cima para baixo, por forma a mais facilmente se compreender cada parte que forma o todo. Esta abordagem também é conhecida por *Functional Approach* e é utilizada em sistemas mais complexos. Não é necessário que o estudo fique completo. Esta abordagem pode também ser utilizada em sistemas já existentes.

3.5.2 Âmbito

O âmbito da FMEA está diretamente relacionado com a sua aplicação, considerando-se vários tipos de FMEA consoante a área em que será empregue. A *Ford Motor Company* (1995) considera quatro tipos de FMEA:

- FMEA de Sistema – Utilizada para analisar conceitos para sistemas e subsistemas nas etapas iniciais. Centra-se em potenciais modos de falha relacionados com as funções das soluções apresentadas, causados por deficiências introduzidas por opções do projeto. Abrange a interação entre vários sistemas e interações entre elementos de um sistema nas etapas de conceção. Aplicável a novos conceitos de maquinaria que nunca tenham sido efetuados, nova disposição no parque de máquinas, novas estruturas para máquinas, e outras aplicações similares;
- FMEA de Projeto – Utilizada para analisar produtos como ferramentas de grande volume, máquinas normalizadas, componentes de máquinas, e ferramentas normalizadas para produção antes de serem fabricadas. Centra-se nos potenciais modos de falha dos produtos, causados por deficiências do projeto. Centra-se

também em peças que servem para serem copiadas, testadas ou modeladas antes de se lançar a produção de grandes volumes;

- FMEA de Processo – Utilizada para analisar processos de manufatura e montagem. Centra-se em potenciais modos de falha originados por processos de fabricação e montagem deficientes. É útil na análise de etapas do processo que podem influenciar o projeto de concepção da máquina, tais como seleção de ferramentas apropriadas e componentes integrantes da máquina;
- FMEA de Máquinas – É utilizada para analisar maquinaria especializada de pouco volume (máquina-ferramenta e outras), e permite uma seleção mais específica dos elementos constituintes da máquina como componentes e estrutura da máquina, ferramentas de trabalho, chumaceiras de rolamento, permutadores e outros. Centra-se em projetos que melhoram a fiabilidade e a manutibilidade na máquina a longo prazo, e tem a manutenção preventiva como uma garantia da fiabilidade. Considera também maquinaria especializada de volume médio, cujo teste em larga escala de uma certa quantidade, é impraticável antes da produção e montagem da máquina. Contempla igualmente componentes com dados de fiabilidade disponíveis ou que podem ser obtidos antes de serem produzidos, que poderão ser utilizados na máquina.

Stamatis (2003) apresenta também quatro tipos de FMEA: Sistema; Projeto; Processo e Serviço.

A FMEA de Sistema é basicamente utilizada durante todo o processo de engenharia do sistema, desenvolvimento do produto, pesquisa e desenvolvimento ou uma combinação de todos eles. Um dos objetivos principais desta FMEA é demonstrar um balanço entre fatores operacionais e económicos, daí a importância de centrar os seus requisitos nas expectativas e necessidades dos clientes. Tal como nos seguintes tipos de FMEA não existe um formulário padrão dado que cada empresa possui clientes diferentes.

A FMEA de Projeto também chamada de *Design FMEA*, promove ações de investigação e de correção antes que a primeira produção ocorra e apresenta dois requisitos para a sua realização: desenvolvimento de um formulário baseado nas necessidades do cliente e da própria empresa; e a identificação dos *itens* para classificação.

A FMEA de Processo, também designada *Process FMEA*, tal como a FMEA de Projeto deve ser executada antes da primeira produção acontecer, excluindo a produção de

protótipos e a realização de testes, e o resultado da sua aplicação visa conseguir um produto livre de defeitos ou a informação necessária para ser usada como fonte de dados para o produto, montagem, ou FMEA de Serviço. Como no início da produção não é fácil conhecer todos os processos e o seu conhecimento vai sendo desenvolvido no decorrer do tempo, a FMEA de Processo torna-se um documento vivo de forma a refletir as mudanças que vão acontecendo nos processos.

Para Dailey (2004), a diferença entre FMEA de Projeto e FMEA de Processo está na origem da informação. A primeira utiliza uma lista estruturada de materiais e a segunda utiliza diagramas de fluxo e processo.

A FMEA de Serviço é uma variação da FMEA de Processo e é destinada a um vasto campo de serviços desde a banca até ao ensino ou saúde. Para caracterizar os serviços nos estágios iniciais é feito um estudo de habilidade do processo em que se coloca em questão o modo como a organização pretende fazer o serviço, e a identificação de serviços obrigatórios, onde a organização define variáveis específicas que são críticas para o serviço ou para o consumidor.

Em todos os tipos de FMEA descritos, as tabelas bem como os índices de classificação relativamente a severidade, ocorrência e deteção devem ser personalizados. Na literatura são apresentadas diversas escalas com diferentes critérios e diferentes graus de avaliação de acordo com o âmbito da sua aplicação e a especificidade da área onde se insere o sistema, processo, produto ou serviço a ser estudado.

Segundo Dailey (2004) pode-se personalizar a FMEA utilizando critérios particulares. Para o mesmo autor esta personalização é um complemento importante à FMEA porque considera atributos exclusivos de cada projeto evitando também o uso de material com direitos de autor.

Na figura 3.2, estão representados os quatro tipos de FMEA preconizados por Stamatis, e suas aplicações.

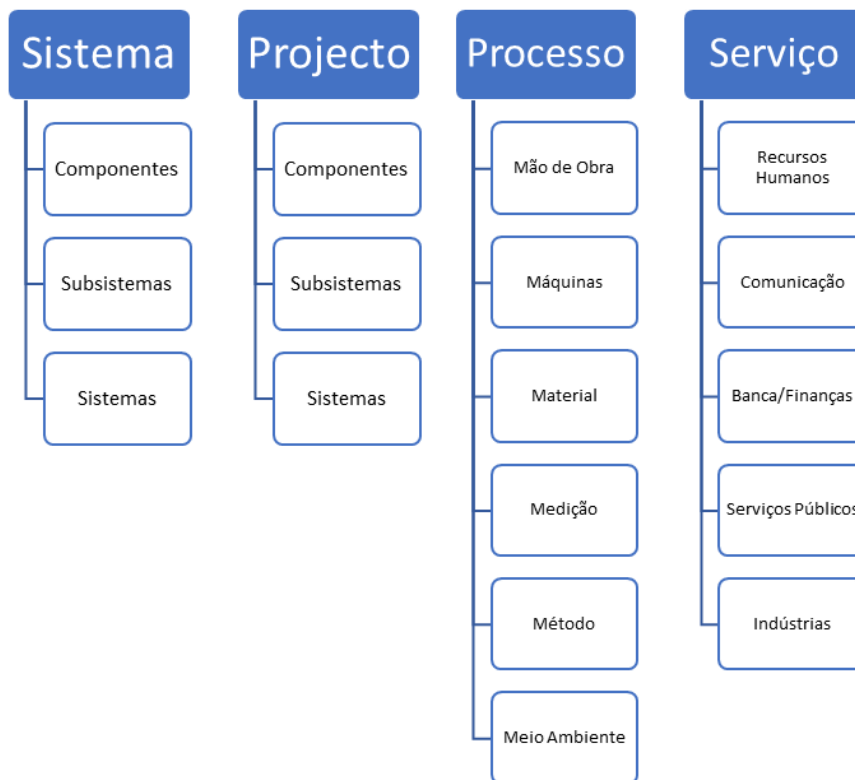


Figura 3.2 – Tipos de FMEA e suas aplicações

[Fonte: Stamatis (2003)]

3.5.3 Procedimento

Dos três aspetos citados anteriormente para a implementação da FMEA, os procedimentos revestem-se da máxima importância para a sua implementação e condução dado que são os pilares da ferramenta. Aplicações incorretas e até por vezes incompletas da sua metodologia resultam numa FMEA com resultados muito pobres ou mesmo sem resultados positivos, e leva à conclusão de tempo e dinheiro desperdiçado.

Palady (1997) propõe uma aplicação com descrições passo a passo:

- 1 – Preenchimento do cabeçalho do formulário. Nesta parte do documento devem constar informações importantes como o objetivo da FMEA, pessoas envolvidas no desenvolvimento e posterior aplicação, datas de início e de revisões, e o responsável pelo formulário;
- 2 – Preenchimento da coluna das funções. Descrição das funções que o produto, processo ou serviço tem de desempenhar;

3 – Determinação dos modos de falha. Identificação de todas as possíveis formas em que o produto, processo ou serviço possa não cumprir as suas funções;

4 – Determinar os efeitos das falhas e suas consequências. Considerando que as falhas acontecem, determinar quais os efeitos subsequentes e suas repercussões;

5 – Estimativa da severidade dos efeitos das falhas. Utilização de uma escala com valores de 1 a 10, sendo que o 1 é relativo à mínima severidade considerada e 10 a máxima. Índice de severidade (S). (Tabela 3.4);

Tabela 3.4 – Tabela de classificação da Severidade

[Fonte: *Ford Motor Company (1995)*]

EFEITO	CRITÉRIO - SEVERIDADE DO EFEITO	CLASSIFICAÇÃO
Perigoso sem aviso prévio	Pode colocar em perigo o operador. Classificação de severidade muito alta quando um potencial modo de falha afeta a operação em segurança do veículo/equipamento e ou envolve o não cumprimento de regulamentação governamental. A falha irá ocorrer sem aviso.	10
Perigoso com aviso prévio	Pode colocar em perigo o operador. Classificação de severidade muito alta quando um potencial modo de falha afeta a operação em segurança do veículo/equipamento e ou envolve o não cumprimento de regulamentação governamental. A falha irá ocorrer com aviso.	9
Muito alto	Grande interrupção da linha de produção. A totalidade do produto terá de ser sucutada. Veículo/equipamento inoperacional com perda de funções básicas. Cliente muito insatisfeito.	8
Alto	Pequena interrupção da linha de produção. Produto terá de ser selecionado e uma parte (menos de 100%) será sucutada. Veículo/equipamento operacional com nível reduzido de desempenho. Cliente insatisfeito.	7
Moderado	Pequena interrupção da linha de produção. Uma parte do produto (menos de 100%) terá de ser sucutada (sem seleção). Veículo/equipamento operacional mas com elementos de conforto/conveniência inoperacionais. Cliente sente incómodo.	6
Baixo	Pequena interrupção da linha de produção. 100% do produto terá de ser retrabalhado. Veículo/equipamento operacional mas com nível de desempenho reduzido nos elementos de conforto/conveniência. Cliente sente alguma insatisfação.	5
Muito baixo	Pequena interrupção da linha de produção. O produto terá de ser selecionado e uma parte (menos de 100%) retrabalhada. Cartas de controlo de montagem/ruídos não conforme. Defeito notado pela média dos clientes.	4
Menor	Pequena interrupção da linha de produção. Uma parte do produto (menos de 100%) terá de ser retrabalhada na linha mas em estação exterior. Cartas de controlo de montagem/ruídos não conforme. Defeito notado pela média dos clientes.	3
Muito menor	Pequena interrupção da linha de produção. Uma parte do produto (menos de 100%) terá de ser retrabalhada na linha. Cartas de controlo de montagem/ruídos não conforme. Defeito notado apenas pelos clientes exigentes.	2
Nenhum	Sem efeito.	1

6 – Determinação das possíveis causas das falhas. Aplicação de ferramentas como diagrama de Ishikawa, análise da árvore de falhas e gráfico de Pareto;

7 – Estimativa ou avaliação da probabilidade da ocorrência das causas das falhas. Utilização de uma escala em que o valor 1 representa a menor probabilidade de ocorrência e a maior é representada pelo valor 10. Índice de ocorrência (O). (Tabela 3.5);

Tabela 3.5 – Tabela de classificação da Ocorrência

[Fonte: *Ford Motor Company* (1995)]

PROBABILIDADE DE FALHA	CRITÉRIO - TAXA DE FALHAS POSSÍVEIS	CLASSIFICAÇÃO
Muito alta: A falha é quase inevitável.	≥ 1 em 2	10
	1 em 3	9
Alta: Geralmente associada a processos similares aos anteriores com falhas frequentes.	1 em 8	8
	1 em 20	7
Moderada: Geralmente associada a processos similares aos anteriores que apresentaram falhas ocasionas não em grandes proporções.	1 em 80	6
	1 em 400	5
	1 em 2000	4
Baixa: Associada a processos similares com falhas isoladas.	1 em 15000	3
Muito baixa: Associada a processos quase idênticos com apenas falhas isoladas.	1 em 150000	2
Improvável: Falha é improvável. Associada a processos quase idênticos sem falhas.	≤ 1 em 1500000	1

8 – Levantamento das formas de controlo para identificação ou prevenção das falhas. Listagem de todos os controlos que detetam a falha antes de esta acontecer;

9 – Estimativa da eficácia do controlo. Utilização de uma escala de 1 a 10, onde o valor 1 representa a maior eficácia na deteção e o 10 a menor, quando o controlo não consegue detetar a falha. Índice de deteção ou detetabilidade (D). (Tabela 3.6);

Tabela 3.6 – Tabela de classificação da Detecção

[Fonte: Ford Motor Company (1995)]

DETEÇÃO	CRITÉRIO - PROBABILIDADE DA EXISTÊNCIA DE UM DEFEITO SER DETETADO PELOS CONTROLOS, ANTES DO PROCESSO SEGUINTE OU ANTES DA PEÇA OU COMPONENTE PASSAR PARA O POSTO SEGUINTE.	CLASSIFICAÇÃO
Quase impossível	Não é conhecido nenhum controlo disponível para detetar o modo de falha.	10
Muito remota	Probabilidade muito remota de que o controlo presente irá detetar o modo de falha.	9
Remota	Probabilidade remota de que o controlo presente irá detetar o modo de falha.	8
Muito baixa	Probabilidade muito baixa de que o controlo presente irá detetar o modo de falha.	7
Baixa	Probabilidade baixa de que o controlo presente irá detetar o modo de falha.	6
Moderada	Probabilidade moderada de que o controlo presente irá detetar o modo de falha.	5
Moderadamente alta	Probabilidade moderadamente alta de que o controlo presente irá detetar o modo de falha.	4
Alta	Probabilidade alta de que o controlo presente irá detetar o modo de falha.	3
Muito alta	Probabilidade muito alta de que o controlo presente irá detetar o modo de falha.	2
Quase certamente	Controlo presente quase certamente irá detetar o modo de falha. Controlos com deteções fiáveis são conhecidos em processos similares.	1

10 – Interpretação dos resultados da análise através do cálculo do *Risk Priority Number* (RPN). O Número de Prioridade de Risco (NPR) é o resultado do produto da Ocorrência (O), da Severidade (S) e da Detetabilidade (D);

11 – Determinação das ações recomendadas para resolução das falhas mais críticas. As ações visam a eliminação dos efeitos negativos dos modos de falha e a melhoria da eficácia dos controlos;

12 – Acompanhamento da aplicação das ações recomendadas.

O Número de Prioridade de Risco (NPR) é o valor que é utilizado para a avaliação do risco e quantifica a criticidade tendo em conta a severidade, a ocorrência e a detetabilidade de cada possível causa de um modo de falha. Para determinar quais os potenciais modos de falha que necessitam de ações corretivas, são estabelecidos valores limites de NPR definidos pelas organizações consoante o âmbito e requisitos da FMEA que vão indicar amplitudes de valores correspondentes a baixo, médio, ou alto risco. Na maioria das

empresas por regra geral, qualquer modo de falha que apresente uma severidade de 9 ou 10 terá prioridade sobre todos os outros. Neste sentido muitas companhias optaram pelo código SOD que utiliza a abordagem original do NPR, mas que vai dar pesos diferentes aos índices de severidade, ocorrência e detetabilidade. Neste código, a severidade tem o maior peso, representado pela multiplicação de 100 ao índice de severidade, a ocorrência tem menor peso através da multiplicação de 10 pelo índice de ocorrência e a detetabilidade não tem peso extra ficando com o valor inicial. O código SOD é pois:

$$\text{SOD} = 100 \times \text{S} + 10 \times \text{O} + \text{D} \quad (3.4)$$

Na tabela 3.7 estabelece-se uma comparação entre dois modos de falha com sensivelmente o mesmo índice de severidade e diferentes índices de ocorrência e deteção. O modo de falha 1 apesar de ter praticamente o mesmo valor elevado de índice de severidade que o modo de falha 2, tem um NPR extremamente baixo, não sendo por isso considerado crítico.

Tabela 3.7 – Comparação entre NPR e código SOD

[Fonte: www.iqasystem.com]

	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR	SOD
Modo de Falha 1	8	1	1	8	811
Modo de Falha 2	7	9	9	567	799

Palady (1997) acrescenta ao passo número 10 outra interpretação dos resultados, propondo a análise da criticidade dos modos de falha através da utilização de um gráfico denominado gráfico de áreas. O autor apenas considera a severidade e a ocorrência, endereçando os valores da severidade para o eixo das abcissas (eixo x) e os da ocorrência para o eixo das ordenadas (eixo y), perfazendo assim coordenadas (x, y). Os valores de x e y vão definir um ponto no gráfico que representa o modo de falha relativo aos respetivos valores de severidade (x) e ocorrência (y). De acordo com a sua localização no gráfico esse modo de falha é classificado de baixo, médio ou alto risco.

Sakurada (2001), com base nos trabalhos de Stamatis, Villacourt, Kume, Palady, e manual para FMEA da *Ford Motor Company*, apresenta um procedimento mais pequeno com menos etapas de onde se destacam os seguintes aspetos pela sua importância:

- Escolha dos membros da equipa – Para corresponder à exigência da FMEA é necessário formar uma equipa composta por especialistas das áreas envolvidas que conheçam muito bem o produto, processo ou serviço. A equipa deve ter um responsável pelo projeto cuja função é preparar todos os dados relativos ao projeto como modelos de fiabilidade e diagramas, e implementar as decisões da equipa. Deve conter também um líder que deverá possuir conhecimentos de FMEA para esclarecer dúvidas sobre o conceito relativas a modos de falha, efeito, causa, e controlo, assim como deverá organizar e registar as informações no formulário;
- Definição do sistema e dos componentes – A definição da estrutura do sistema envolve a listagem dos componentes. Em sistemas complexos são agrupados representando um subsistema que é tratado como um componente único. Quando existem muitos componentes a análise deve centrar-se naqueles que ao falharem podem afetar a função, segurança e ergonomia, em todos os que apresentem taxa de falhas elevada, e também nos que sejam novos ou sofreram intervenções de manutenção com ou sem alterações. A definição de sistema e componente é importante por que os modos de falha estão associados aos componentes e os efeitos estão associados ao sistema;
- Diagrama funcional de blocos, fluxograma e modelos de fiabilidade – Para um melhor entendimento do sistema, o diagrama de blocos, o fluxograma e os modelos de fiabilidade desempenham um papel importante porque representam a correlação e a interatividade entre todas as partes do sistema proporcionando uma melhor visualização do percurso e da localização do problema;
- Função dos componentes – A descrição da função deve ser precisa e conter todos os elementos essenciais que a caracterizam. Uma função bem retratada é uma boa base para se identificar os modos de falha;
- Modos de falha de cada componente – Modo de falha é uma anomalia, um estado anormal do *item* fazendo com que este deixe de executar a função para a qual foi concebido e montado num dado sistema. Considerando a especificação do sistema ou projeto, devem ser validadas todas as formas possíveis de tecnicamente um

modo de falha acontecer. A verificação dos modos de falha é além do mais uma ação de estudo interno do sistema e em última análise o modo de falha está relacionado com o componente;

- Efeitos causados no sistema – Para o estudo e identificação dos efeitos é importante ter uma lista das funções do sistema dado que as consequências dos modos de falha ocorrem ao nível do sistema e recaem sobre o cliente interno ou externo. O estudo dos efeitos é um requisito fundamental para introduzir conceitos de manutibilidade e ações de manutenção inseridas em contexto de *Reliability Centered Maintenance* (RCM) e *Total Productive Maintenance* (TPM).

3.6 Benefícios e Limitações

O momento da aplicação da FMEA é referido por muitos autores como um aspeto importante para a obtenção dos melhores resultados. No caso particular da FMEA de Projeto e FMEA de Processo, Stamatis (2003) refere que ambas devem ser executadas antes de o primeiro ciclo de produção ocorrer. Segundo Moura (2000), para obter melhores resultados, a FMEA deve ser feita antes de um modo de falha de projeto ou de processo ter sido incorporado ao produto sem ter sido percebido. Acrescenta também o mesmo autor que ao realizar-se a FMEA numa fase inicial do projeto ou processo, as alterações podem ser implementadas com maior facilidade e com menos custos.

Torna-se assim um elemento essencial para o sucesso da FMEA o momento da sua implementação. A preocupação da prevenção deve nortear sempre a sua aplicação por forma a antecipar os efeitos negativos causados por modos de falha que não foram atempadamente identificados impossibilitando a sua eliminação ou minimização.

A implementação correta de uma FMEA resulta nos seguintes benefícios:

- Promove e auxilia a comunicação entre quem fornece e quem recebe porque obriga ambas as partes a trabalhar em conjunto;
- Melhora o conhecimento e entendimento do sistema, processo, produto ou serviço a ser estudado, auxiliando na estabilização do processo e facultando o reconhecimento de novas ideias para melhoria em projetos e processos semelhantes;

- Permite reduzir o tempo total necessário para projetar e desenvolver o produto ou processo e contribui para que os requisitos considerados em ambos os casos sejam cumpridos na primeira aplicação. Desta forma reduz custos de desenvolvimento devido à atenção dedicada ao processo logo na fase inicial fazendo com que as alterações possam ser feitas na fase preliminar do programa;
- Identifica modos de falha que têm efeitos indesejáveis ou significativos, melhorando a fiabilidade e segurança do produto ou serviço e promovendo planos de manutenção otimizados;
- Determina os modos de falha que podem afetar seriamente a qualidade esperada ou exigida, contribuindo para alcançar e superar a expectativa dos clientes;
- Identifica áreas com risco de segurança ou em não conformidade em relação aos regulamentos e ou legislação;
- Cria um registo de informações e de ações tomadas com o objetivo de reduzir riscos.

No caso particular da manutenção, a sua aplicação traz à organização os seguintes benefícios:

- Redução dos custos de manutenção;
- Elevação dos níveis de segurança das instalações;
- Redução das atividades que não têm valor acrescentado;
- Aumento da qualidade dos serviços realizados;
- Maiores níveis de fiabilidade.

Apesar de ser reconhecida como uma ferramenta bastante utilizada e estudada na garantia e melhoria da qualidade, da fiabilidade e da segurança de produtos, processos e serviços, várias limitações têm sido referidas na literatura.

Spreafico, Russo e Rizzi (2017), num trabalho de investigação de documentação sobre FMEA/FMECA relativamente aos problemas da metodologia e propostas de melhorias por parte dos autores, analisaram 329 trabalhos, relativos ao período entre 1978 e 2016, sendo 220 académicos e 109 patentes. Dos 220 documentos académicos, 203 eram provenientes da comunidade científica e 17 do meio industrial. Das 109 patentes, 23 delas tiveram origem no meio académico e 86 nas empresas. Os autores do estudo criaram quatro

famílias para os problemas que foram citados em todos os trabalhos considerados: Aplicação; Causa-Efeito; Análise de Risco; Resolução de Problemas.

- Relativamente à aplicação da metodologia foram listados os seguintes problemas: Subjetividade excessiva em diferentes domínios da aplicação; Tempo consumido; Integração com base de dados principalmente *Product Lifecycle Management* (PLM); Aplicação fora do momento certo; Gestão da informação; Equipas com pouca preparação para a implementação e pouco envolvimento; Dificuldade de aplicação em sistemas complexos com muitas interações entre componentes; Custos devido aos recursos humanos envolvidos.
- Em relação à causa-efeito foram enunciados os problemas: Dificuldade em identificar efeitos secundários no ambiente e na saúde; Falta de modelos que descrevam a relação causa-efeito; Nível de detalhe muito elevado na descrição dos efeitos; Falta de orientações para distinguir modos de falha de efeitos.
- Sobre a análise de risco foram descritos os seguintes problemas: Subjetividade na avaliação; Falta de critérios específicos e quantificação do risco; Avaliação do risco inconsistente para a resolução dos problemas.
- Por último, na família da resolução de problemas consta: Dificuldade na decisão devido à falta ou fraqueza dos parâmetros quantitativos; Dificuldade na decisão devido à falta de avaliação da implementação das soluções; Formulário da FMEA não é adequado para a resolução de problemas.

Das 191 referências aos problemas, 86 foram sobre a aplicação (45%), 45 foram sobre a análise de risco (23,6%), 38 referentes à causa-efeito (19,9%) e 22 são relativos à resolução de problemas (11,5%). No entanto, analisando individualmente as citações de problemas e também as propostas de melhoria, verifica-se que em ambas as situações a temática mais referida foi a subjetividade da avaliação de risco, com mais citações, referindo o tema como um problema, e com mais sugestões de melhoramento apresentadas. Os autores concluíram que tendo em conta os problemas considerados, as propostas de melhoria relativamente à avaliação do risco, superaram a necessidade evidenciada pelas citações, e as soluções apresentadas no campo da resolução de problemas foram bastante menores que a quantidade de citações. Constataram também a falta de soluções para os problemas relacionados com o trabalho em equipa da FMEA.

Outras referências às adversidades relacionadas com a aplicação e implementação da ferramenta foram referidas por Trammell, Lorenzo e Davis (2004), que mencionam o facto de a análise efetuada ser muito trabalhosa, podendo exceder a capacidade dos recursos humanos existentes. Segundo Miller (2006), o nível de pormenor que é requerido torna o processo maçador e demorado, com consequentes custos de aplicação. Villari (2011), na revisão bibliográfica que efetuou, constatou relatos de praticantes da FMEA que consideram a técnica enfadonha e que consome muito tempo. Verifica também que a aplicação pode aumentar em 20% a carga de trabalho dos engenheiros, e apesar deste esforço os resultados são pobres.

Muitas limitações são apontadas à análise de risco, nomeadamente à forma tradicional de cálculo do NPR. Chang, Liu e Wei (2001) e posteriormente Liu *et al.* (2011), apontam as seguintes críticas:

- A importância relativa de cada um dos critérios de avaliação, severidade, ocorrência e deteção não é considerada. Logo os três critérios são assumidos como de igual importância;
- A forma matemática de calcular o NPR é discutível. Não se encontra racionalidade por que se multiplicam os três critérios para se encontrar o NPR;
- O valor do NPR torna-se bastante sensível a pequenas alterações na avaliação dos critérios devido ao seu resultado ser fruto da multiplicação dos três;
- Diferentes combinações na avaliação dos critérios de severidade (S), ocorrência (O) e deteção (D) produz o mesmo valor de NPR.

Para Sharma, Kumar e Kumar (2005), ao considerar-se dois eventos diferentes, com valores de severidade (S) = 4, ocorrência (O) = 3, deteção (D) = 5 para o primeiro, e severidade (S) = 10, ocorrência (O) = 1, deteção (D) = 6 para o segundo, verifica-se que ambos têm o mesmo valor de NPR = 60, mas as implicações de risco podem não ser as mesmas para os dois eventos.

Sankar e Prabhu (2001) esclarecem três factos relativos ao NPR que vem comprovar a sua subjetividade e limitações. Sabendo que a sua amplitude vai do valor 1 até ao 1000, o valor médio não é 500 como se suporia, mas 166, sendo que apenas 6% dos valores do NPR estão acima de 500, e existem apenas 120 valores possíveis (atendendo a todas as combinações).

Para contrariar estas limitações, Heller (2005) analisou de uma forma clara as vantagens da utilização do *Multiple Criteria Decision Making* (MCDM) em processos de avaliação de risco. Para o autor, esta utilização fornece melhores e mais fundamentadas técnicas para comparação de alternativas com base em matrizes de decisão e também proporciona um método estruturado para elaborar uma classificação de alternativas. Uma avaliação de risco por si só não consegue reduzir o risco de forma eficiente. Segundo o mesmo autor, juntamente com MCDM, a gestão do risco torna-se mais eficaz.

No seguimento desta vertente de análise, Ahmet e Mehmet (2012) utilizaram o método *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) por forma a formarem uma solução para o NPR baseado na aplicação tradicional da FMEA. Liu *et al.* (2012) utilizaram o método *Visekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje* (VIKOR) numa aplicação difusa (*fuzzy*) para estabelecerem uma priorização dos riscos numa FMEA.

Capítulo 4 – Tomada de Decisão baseada em Múltiplos Critérios

4.1 Análise e Tomada de Decisão

Atualmente os processos de análise de decisão multicritério em gestão de manutenção desempenham um papel importante para melhorar a eficiência do desempenho e reduzir os custos através de decisões que vão no sentido de otimizar o orçamento da manutenção.

4.1.1 Introdução

Na gestão das organizações, diariamente são tomadas decisões a vários níveis, com diferentes graus de importância e complexidade.

De acordo com Zeleny e Cochrane (1982) a tomada de decisão é um esforço para tentar resolver problemas com objetivos conflitantes que impedem a existência da solução ótima, conduzindo à procura do melhor compromisso.

Segundo Hammond, Keeney e Raiffa (1999) torna-se importante garantir que as decisões tomadas são racionais e não são resultado de preconceitos naturais da mente, tal como a sua tendência a dar mais relevância à primeira informação que se recebe.

De acordo com Fulop (2005) os métodos de *Multiple Criteria Decision Making* (MCDM) identificam as diferentes estratégias e atividades de manutenção que vão ao encontro dos objetivos das empresas e organizações, nomeadamente os valores de rentabilidade a alcançar.

4.1.2 Origens

O MCDM é um ramo da *Operations Research* (OR), também designado de *Management Science* ou *Decision Science*.

Operations Research (OR), Investigação Operacional, considera-se um ramo interdisciplinar da matemática aplicada e define-se como um amplo estudo que faz uso de

modelos matemáticos, estatísticos e de algoritmos na ajuda à tomada de decisão ao nível das organizações sociais. É usada sobretudo para analisar sistemas complexos com o objetivo de melhorar ou otimizar o seu desempenho.

São utilizados vários princípios científicos de investigação, estratégia e métodos analíticos, incluindo a modelagem matemática estática e algoritmos numéricos para melhorar a capacidade de uma organização em aprovar decisões racionais que se aproximem da solução ótima para os problemas complexos.

A investigação operacional nasceu durante a segunda guerra mundial, para resolver problemas complexos que foram surgindo à medida que os teatros operacionais foram aumentando em dimensão e complexidade, apresentando desafios aos comandos militares para encontrar soluções na área da estratégia e principalmente da logística. Para ultrapassar essas dificuldades foram criados grupos multidisciplinares de matemáticos, físicos, engenheiros, e outros, oriundos das ciências sociais. Aplicaram e criaram modelos matemáticos, com base nos dados e factos dos problemas em estudo por forma a encontrar soluções que seriam testadas e avaliadas. No final da segunda guerra mundial, resultante do esforço enorme de reconstrução dos países envolvidos, surgiu um grande desenvolvimento económico e industrial levando as organizações a adotarem os métodos da investigação operacional utilizados durante a guerra.

Nos anos 60 os investigadores passaram a dedicar-se ao aperfeiçoamento das metodologias de Análise de Decisão Multicritério (ADM) numa tentativa para ultrapassar as limitações conhecidas numa decisão unicamente dependente de um juízo humano. Esta investigação foi ganhando relevância e ao longo dos anos seguintes foram surgindo metodologias que facultavam orientação para construir um eficiente processo de decisão.

Com a evolução tecnológica ganhando grande relevo, principalmente no mundo da informática, os cientistas encontraram condições para cimentar e desenvolver as metodologias que passaram a serem trabalhadas por programas informáticos com capacidade de programação algorítmica e com velocidades de processamento elevadas.

Desde que foi realizada a primeira conferência sobre *Multiple Criteria Decision Making* (MCDM), em 1972, esta metodologia tem ganho maturidade e a sua utilização tem aumentado consideravelmente.

4.1.3 Conceito e Definições

Segundo Ferreira, Neves e Caetano (2001), a resolução de problemas organizacionais constitui o ponto de partida da tomada de decisão. Contudo, nas decisões mais complexas, envolvendo orientações estratégicas, o estabelecimento de objetivos como resposta à antecipação de problemas, constitui o verdadeiro móbil da decisão. Referem os mesmos autores que a decisão complexa e não programada surge como requerendo criatividade, inovação e risco, e o processo de tomada de decisão assim como o resultado da tomada de decisão podem ser afetados por fatores inerentes ao contexto organizacional.

Segundo Bazerman (1994), o modelo racional de decisão baseia-se na teoria que a escolha racional assenta na combinação de duas noções essenciais: o interesse próprio e as preferências de decisor. Esta conceção de decisão como escolha racional tem por base o pressuposto de que os decisores possuem um conjunto de alternativas de ação, conhecem as consequências e o valor de utilidade de cada alternativa, permitindo a comparação entre elas. Supõe-se que os decisores dispõem de regras que lhes permitem selecionar uma única alternativa com base no cálculo probabilístico da utilidade esperada. Deste modo, a via para a tomada de decisão envolveria seis passos básicos:

- Definição do problema. Nesta fase é suposto que o decisor especifique a natureza do problema que deu origem ao processo através da busca de informação sobre causas e fatores determinantes;
- Identificação dos critérios de decisão. A maioria das decisões visa atingir mais do que um objetivo. Por isso, integrando a informação obtida na fase anterior, o decisor procura identificar os critérios relevantes para as escolhas que conduzem à decisão;
- Atribuição de um coeficiente de importância a cada critério. O decisor determina as suas preferências atribuindo um valor relativo a cada critério;
- Produção de alternativas. Trata-se de identificar as possíveis vias de ação;
- Classificar cada alternativa quanto aos critérios. Pode considerar-se esta fase como a que apresenta maiores dificuldades ao decisor racional, dado que lida com previsões acerca das consequências potenciais de cada alternativa atribuindo-lhe um valor de utilidade esperada;

- Cálculo da decisão ótima. Idealmente, a função desta fase consiste em multiplicar a eficiência esperada de cada alternativa pelo peso atribuído a cada critério. Será escolhida a solução que apresente a expectativa de utilidade com valor mais elevado.

Segundo Hanne (1995), o MCDM lida com conceitos matemáticos, métodos e questões, metodologias e casos de estudo para os processos de decisão, onde vários critérios, objetivos e atributos têm que ser considerados.

Segundo Dodgson *et al.* (2001) as alternativas, também designadas de opções, são distinguidas pela expressão quantitativa como cumprem os objetivos e nenhuma delas será a melhor em atingir todos os objetivos.

De acordo com Lu *et al.* (2007) dependendo da estruturação do problema, as alternativas podem ser encontradas de uma forma implícita resolvendo modelos matemáticos ou simplesmente serem descrições conhecidas.

MCDM é, pois, uma metodologia para resolução de problemas que organiza e sintetiza as informações relativas a esse problema de decisão, proporcionando ao decisor uma visão coerente do problema. O objetivo principal é melhorar o processo de tomada de decisão através do recurso à análise e ferramentas matemáticas, modelando e otimizando por forma a uma melhor decisão.

De acordo com Roy (1985), para melhor estruturar e analisar um processo de ajuda à decisão, três conceitos chave têm que ser considerados:

- Alternativas ou ações potenciais – Uma ação é considerada potencial quando é possível implementar ou traz alguma contribuição ao processo de decisão. Alternativa resulta da modelação de situações onde pelo menos duas ações potenciais são ambas exclusivas e é esperado que funcionem separadamente. Assim quando é referida a melhor alternativa para um problema, pensamos nela como a única ação potencial para implementar do conjunto inicial de ações potenciais. Este conjunto pode alterar ao longo do processo à medida que mais informação é recolhida, resultando na saída ou entrada de ações potenciais;
- Família de critérios ou tabela de desempenho – A conceção de critério está relacionada com a noção de atributos e objetivo. Segundo Eldrandaly, Ahmed e Aziz (2009) um atributo mede o desempenho do sistema de acordo com um objetivo porquanto esse objetivo representar a resolução que é desejada para o

sistema. O critério mede o desempenho de uma ação potencial relativamente ao objetivo. Dependendo do método de decisão, o critério pode ser qualitativo ou quantitativo e podem ser utilizados em conjunto ou separadamente. Para avaliar melhor o desempenho de um atributo é utilizada uma escala. A escolha dos critérios certos de acordo com a natureza do problema é muito importante, pois não só pode reduzir o número de alternativas como assegura uma avaliação mais consistente das ações potenciais;

- Problemática – O problema representa um papel muito importante na escolha do método de decisão.

Para Roy (1985) os problemas são classificados em quatro categorias:

- Problemática de descrição ou cognição. Neste tipo de problemas o objetivo é apenas elaborar um conjunto de ações, criar um conjunto adequado de critérios para descrever as alternativas e determinar a sua performance;
- Problemática de escolha. Neste tipo de problemas o objetivo é a seleção de um conjunto pequeno de boas alternativas de forma a se poder escolher a melhor;
- Problemática de classificação. Neste caso o objetivo é atribuir cada alternativa a uma das categorias pré-estabelecidas que poderão estar ordenadas ou não, criando grupos diferenciados, cada um com a sua característica própria. Estas categorias podem estar relacionadas com a viabilidade das ações e a sua implementação;
- Problemática de ordenação. Em casos de ordenação o objetivo de problema é clarificar a decisão através de uma ordenação completa ou parcial das alternativas que permite a sua comparação por ordem de preferência.

4.1.4 Classificação

A escola francesa foi a primeira a aparecer, também chamada escola europeia, e é caracterizada por modelos que não são pré-determinados pelo facilitador, complexos, que permitem subjetividade dos participantes, que vão organizando e sintetizando as recomendações e julgamentos de cada um deles para obter soluções relacionadas com os valores dos decisores.

A escola americana está ligada à *Multiple Attribute Value/Utility Theory* (MAVT/MAUT) motivada pelos trabalhos de Keeney e Raiffa e pelo método muito conhecido e usado *Analytic Hierarchy Process* (AHP) desenvolvido por Thomas L. Saaty. Dá grande relevo ao processo decisório onde o facilitador constrói e modela a problemática em análise e procura uma solução ótima com o auxílio de um modelo matemático.

A escola francesa não adotou a denominação *Multiple Criteria Decision Making* (MCDM), e substituíram a última palavra “*making*” por “*aid*”, para separar o papel de quem vai analisar a decisão e de quem vai tomar essa mesma decisão. Em muitos casos de estudo o *Multiple Criteria Decision Aid* é mencionado como *Multiple Criteria Decision Analysis* (MCDA) numa tentativa de consenso entre as duas escolas. É comum a utilização dos acrónimos MCDM/MCDA.

Na tabela 4.1 estão representadas as metodologias mais importantes da escola europeia e americana.

Tabela 4.1 – Metodologias de MCDM/MCDA

Escola Europeia	Escola Americana
MCDA	MCDM
ARGUS	AHP
ELECTRE	MACBETH
EVAMIX	SMARTER
ORESTE	TODIM
PROMETHEE	UTA
TOPSIS	UTADIS

O *Multiple Criteria Decision Making* (MCDM) divide-se em duas categorias:

- *Multiple Attribute Decision Making* (MADM);
- *Multiple Objective Decision Making* (MODM).

O MADM está associado a processos com uma componente de avaliação com decisão discreta e um conjunto predeterminado de alternativas ou ações potenciais que consideram a informação oriunda do decisor. Todos os métodos de MADM consideram problemas em

que as decisões requeridas são as preferidas sobre as alternativas disponíveis que são caracterizadas por múltiplos critérios que normalmente podem estar em conflito e ser mesmo contraditórios. Todos estes problemas são de diversas áreas, mas todos partilham características comuns:

- Escolha de alternativas;
- Múltiplos critérios relacionados com as alternativas de forma qualitativa ou quantitativa;
- Avaliação do peso dos respetivos critérios que representa a sua importância no processo.

O MODM está associado a processos com decisão contínua e normalmente relacionados com conceção e planeamento, e segundo Hwang e Masul (1979), de acordo com a informação que necessitamos pode-se classificar em quatro classes:

- Sem articulação das informações preferidas;
- Articulação anterior das informações preferidas;
- Articulação progressiva das informações preferidas ou dos métodos iterativos;
- Articulação posterior das informações preferidas ou dos métodos de geração de solução não controlada.

4.1.5 Processo de Seleção

A escolha do MCDM/MCDA mais apropriado para resolver um determinado problema não é fácil dado que existem várias metodologias adequadas para o mesmo tipo de situações. Para facilitar esta seleção tem existido muitas tentativas para construir uma ferramenta que endereçasse um MCDM/MCDA para um problema específico, o que devido ao grande número de metodologias e da natureza dos problemas têm-se revelado um empreendimento bastante exaustivo e praticamente impossível.

Um estudo conduzido por Kornysheva e Camille (2007) apresentou nove diferentes abordagens e fez uma comparação entre elas. Como resultado, os autores apresentaram os quatro aspetos principais que ao caracterizarem o problema proporcionam uma melhor escolha do MCDM/MCDA mais adequado, conforme se demonstra figura 4.1.



Figura 4.1 – Fatores para seleção do MCDM/MCDA

4.1.6 Implementação

O processo de implementação de um MCDM/MCDA tem 8 etapas:

- 1 – Definir o problema;
- 2 – Determinar os requisitos (baseados no juízo e avaliação de especialistas ou outros técnicos de apoio);
- 3 – Estabelecer o objetivo a alcançar (tem de ser algo positivo como por exemplo aumentar a produção ou reduzir tempo de manufatura);
- 4 – Definir as alternativas (que no fundo são os métodos ou as ferramentas que vão mudar as condições iniciais para as pretendidas);
- 5 – Criar os critérios de avaliação de acordo com as seguintes especificações;
 - i) Permitir a distinção das diferentes alternativas.
 - ii) Complexo o suficiente para cobrir todos os objetivos.
 - iii) Não redundante.
 - iv) Com poucos números (manter o problema no mínimo).

v) Operacional e com significado (para ser utilizado na análise).

6 – Escolher qual a metodologia (AHP, TOPSIS, ...);

7 – Aplicar o método escolhido (as alternativas são julgadas de acordo com os critérios para escolher a mais indicada);

8 – Verificar os resultados.

De acordo com Fulop (2005), a característica base de todos os métodos de MCDM/MCDA é o quadro de decisão onde são registados os pesos das alternativas segundo os critérios.

Segundo Dooley *et al.* (2009), o resultado de um processo de MCDM/MCDA não deve ser generalizado uma vez que ele está relacionado unicamente com o conjunto de alternativas que foram consideradas naquela situação em concreto.

No processo de decisão pode-se classificar os participantes em facilitador e decisor. O facilitador esclarece o processo de negociação e avaliação inerente à tomada de decisão, facilitando a comunicação entre todos os intervenientes, e constrói um modelo que considera os pontos de vista e juízos de valor de todos os participantes. O decisor por sua vez considera-se aquele que formal ou moralmente tem o poder de decisão podendo, no entanto, intervir na construção e utilização do modelo construído.

4.1.7 Objetivo

Avaliando numa forma explícita o desempenho das diferentes alternativas através da medição objetiva, embora recorrendo a valores subjetivos de julgamento, as metodologias MCDM/MCDA conduzem inevitavelmente a decisões mais fundamentadas e eficientes.

Para Brito *et al.* (2010) o objetivo do MCDM/MCDA não é indicar a melhor decisão para ser escolhida, mas ajudar os decisores a selecionarem uma alternativa ou um conjunto pequeno de alternativas que melhor encaixe nas suas necessidades, e seja coerente com as suas preferências e com toda a envolvente do problema. Segundo a visão de académicos como Belton e Stewart (2002), Seydel (2006), Dooley *et al.* (2009) o MCDM/MCDA incita os decisores a uma aprendizagem e a um melhor entendimento das suas próprias perspetivas assim como das perspetivas dos restantes intervenientes no processo de decisão.

Apreender e compreender a problemática em questão é alcançado principalmente estimulando a reflexão, partilhando ideias e debatendo sobre o problema em mãos. Isto inevitavelmente conduz a um aumento da transparência do processo de decisão e pode acelerar o surgimento de consensos.

O propósito do MCDM/MCDA é também incentivar e encorajar os decisores a construir um modelo estruturado do problema para uma tomada de decisão que muitas vezes é tomada com base em intuição e experiências anteriores. Incorporando princípios e métodos científicos nos MCDM/MCDA os decisores ganham a capacidade para lidar com o problema numa forma organizada, ordenada, com etapas transparentes e objetivos bem definidos aumentando o seu compromisso para com a resolução do problema.

Para além disso a aplicação de MCDM/MCDA em problemas reais estimula a autoconfiança dos decisores, levando-os a encontrar uma solução que esteja conforme as suas preferências e valores.

Como referido anteriormente as metodologias de Análise de Tomada de decisão são referidas como MCDM/MCDA, no entanto, atualmente, a denominação mais utilizada é *Multiple Criteria Decision Analysis*, (MCDA) o que, conforme explicado, engloba os conceitos e metodologias das duas escolas, a americana e a francesa.

4.2 Analytic Hierarchy Process (AHP)

4.2.1 Conceito

O *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é um método multicritério de tomada de decisão criado por Thomas L. Saaty no início da década de setenta do século vinte, e de acordo com Jansen, Shimizu e Jansen (2004) é um dos métodos mais conhecidos e utilizados em todo o mundo. Segundo Saaty (1990), quando aplicado na tomada de decisão, este método auxilia uma decisão geral através da decomposição de um complexo problema em uma estrutura hierárquica de vários níveis contendo objetivos, critérios, subcritérios e alternativas. As preferências entre alternativas, no contexto de um atributo, fazem-se por um processo de escolha baseado na lógica de comparação *pairwise comparison* (comparação par a par) através de matrizes. Para Ehrlich (2004) a comparação aos pares é mais precisa e também introduz redundâncias de informação que apuram o processo.

De acordo com Saaty (2004) o AHP é a maneira científica de fazer comparações, obtendo como resultado um valor de importância relativa atribuído ao relacionamento entre fatores, conforme uma escala pré-definida de prioridade, e segundo Saaty (2008) o método mede através de comparações par a par, com base em julgamentos de especialistas, para derivar escalas de prioridade.

Forman e Selly (2001) constatam que o método é usado por decisores e investigadores porque é uma simples mas poderosa ferramenta, e de acordo com Barbarosoglu e Pinhas (1995) e Shiau *et al.* (2002) é aplicado para sistematizar uma ampla gama de problemas de decisão nos contextos económico, político, social e ambiental devido à sua simplicidade, robustez e capacidade de avaliar fatores qualitativos e quantitativos, sejam eles tangíveis ou intangíveis.

No método AHP a estruturação do problema passa por um modelo hierárquico que mostra a relação entre o objetivo, critérios e alternativas. O método realiza uma comparação par a par em todos os níveis da estrutura hierárquica conforme representado na figura 4.2:

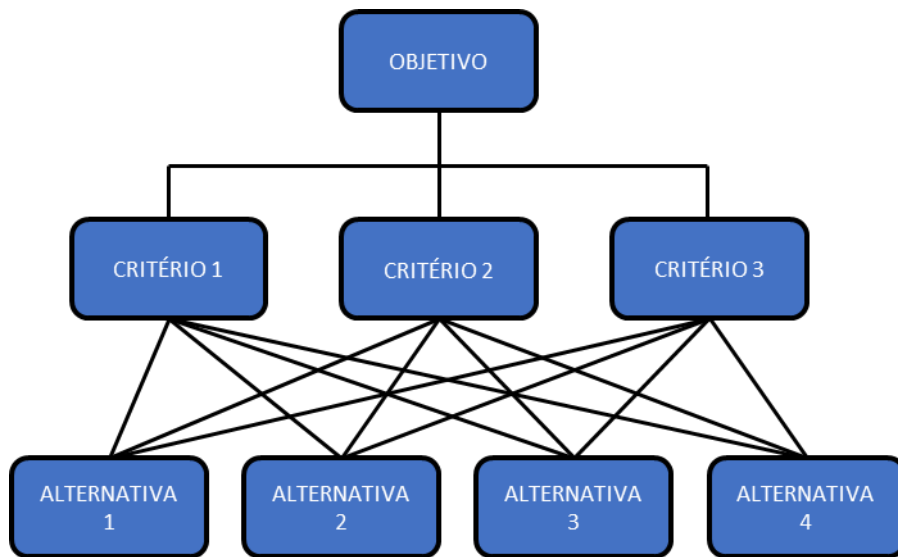


Figura 4.2 – Estrutura hierárquica do AHP

De notar que o peso de cada critério é estabelecido pela contribuição dos especialistas pelo que o método pode apresentar alguns problemas de subjetividade. No entanto a resposta é robusta devido à aferição da consistência. A definição dos critérios (e subcritérios se

considerados) e o cálculo do seu peso, são dois aspetos muito importantes para a avaliação das alternativas por forma a alcançar o objetivo.

Contudo, Forman e Gass (2001) mostram-se convictos que a verdadeira essência do AHP nem sempre é bem compreendida afirmando que o AHP é mais do que apenas uma metodologia para situações em que é necessário fazer uma escolha. Nem é apenas mais uma ferramenta de análise. Para os referidos autores a melhor forma de compreender o AHP é entender as suas três funcionalidades básicas:

- Estruturar a complexidade. Para lidar com a complexidade, Saaty baseou-se na maneira mais comum com que as pessoas lidam com a complexidade, isto é, a estruturação hierárquica em que fatores homogéneos são agrupados em conjuntos;
- Medição. Das quatro escalas de medição, nominal, ordinal, intervalar e proporcional ou de razão, Saaty escolheu esta última dado que é a mais poderosa de todas apresentando todas as características das anteriores e permitindo também a comparação em termos absolutos;
- Capacidade de sintetizar. Sintetizar envolve congregar e combinar as partes num todo. Embora a estrutura hierárquica do AHP facilite a análise, daí o primeiro nome do método, *Analytic*, que significa desmembrar uma entidade nos seus elementos constituintes, a funcionalidade sintetizar é muito importante porque dá a capacidade ao AHP de transformar a multiplicidade de fatores numa estrutura hierarquizada.

4.2.2 Desenvolvimento

Desde a sua apresentação, o AHP tem sido maioritariamente proposto como uma técnica de análise de decisão multicritério, onde cada alternativa é avaliada por um ou mais decisores de acordo com vários critérios considerados. O facto de permitir a inclusão de fatores subjetivos tem marcado a diferença e justificado a sua utilização em comparação com outros métodos.

Um estudo desenvolvido por Emrouznejad e Marra (2017) sobre a evolução e desenvolvimento do AHP, considerando o período entre 1979 e 2017, identificou 8441 trabalhos publicados sobre o AHP, sendo 4721 trabalhos académicos, 3362 documentos de apresentação em conferências, 211 artigos, 19 documentos editoriais, e 120 documentos de outro tipo.

O estudo revela quais os jornais que têm mais publicações relativas ao tema, destacando-se o *European Journal of Operational Research* com 214 publicações, seguido do *Expert Systems With Application* com 211 publicações e o *International Journal of Production Research* com 94 trabalhos publicados. No mesmo estudo os autores elaboraram uma lista com os artigos publicados sobre a temática AHP com mais citações, destacando-se os 10 artigos mais influentes.

Considerando o período entre 1979 e 1990 o AHP foi aplicado principalmente nas áreas de Gestão de Negócios, Economia e Saúde. Os autores com mais trabalhos publicados neste período foram Saaty, Vargas e Harker. Estas publicações dos autores que primeiro apresentaram o método versaram fundamentalmente sobre formulações matemáticas e vários aspetos da conceção e da aplicação do método como medição de julgamentos (Saaty e Vargas, 1987), e fundamentos teóricos do método (Crawford e Williams, 1985; Harker, 1987; e Harker e Vargas, 1987, 1990). Outros trabalhos ocorridos neste período destacaram algumas limitações do método e dificuldades operacionais tais como o fenómeno da inversão da classificação e o facto dos axiomas para a aplicação da técnica serem imperfeitos ou apresentaram falha (Dyer, 1990 e Harker e Vargas, 1990).

Na tabela 4.2 estão referidos os dez artigos científicos mais importantes sobre o *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

Ainda segundo o mesmo estudo, entre 1991 e 2001 constata-se um aumento muito significativo do número de publicações e também da colaboração entre diferentes autores, o que resultou em muitas publicações de coautoria. O interesse pelo método originou trabalhos de pesquisa e investigação no campo da matemática, da informática, e da gestão. As áreas com maior número de publicações foram as ciências relacionadas com o ambiente, a engenharia mecânica, a ecologia, e os estudos sociais.

Na área da matemática destaca-se o trabalho de Vargas e Arbel na exploração de novas abordagens para estabelecer prioridades quando as preferências são representadas por intervalos de decisão, e de Vargas e Saaty na proposta da aplicação do AHP no apoio às decisões médicas.

Na área da educação, Liberatore e Nydick estudaram a aplicação do método no ensino superior e apresentaram um trabalho com a avaliação dos benefícios tais como a melhoria da qualidade dos cursos de mestrado e a satisfação dos alunos. De realçar que o AHP foi bastante utilizado no sector da saúde. Saaty e Vargas propuseram a sua utilização para

determinar quais os testes que deveriam ser realizados tendo em conta determinados sintomas.

Tabela 4.2 – Artigos mais influentes sobre o AHP

[Fonte: Emrouznejad e Marra (2017)]

Título	Autor	Ano
How to make a decision - The Analytic Hierarchy Process	Saaty	1990
Axiomatic foundation of the Analytic Hierarchy Process	Saaty	1986
Remarks on the Analytic Hierarchy Process	Dyer	1990
How to make a decision - The Analytic Hierarchy Process	Saaty	1994
The Theory of ratio scale estimation - Saaty Analytic Hierarchy Process	Harker and Vargas	1987
Aggregating individual judgments and priorities with the Analytic Hierarchy Process	Forman and Peniwati	1998
An exposition of the AHP in reply to the paper remarks on the Analytic Hierarchy Process	Saaty	1990
A note on the analysis of subjective judgment metrics	Crawford and Williams	1985
Uncertainty and rank order in the Analytic Hierarchy Process	Saaty and Vargas	1987
A decision support system for supplier selection using an integrated Analytic Hierarchy Process and linear programming	Ghodsypour and O'Brien	1998

No sector da gestão da cadeia de fornecedores e logística, um contributo importante é o trabalho de Ghodsypour e O'Brien que trata do problema da seleção de fornecedor envolvendo fatores quantitativos e qualitativos propondo uma combinação de AHP com programação linear por forma a considerar fatores tangíveis e intangíveis.

Na área da energia e ambiente, Ramanathan apresentou uma abordagem diferente para apoiar a decisão de grupo em negociações sobre alterações climáticas, e juntamente com Ganesh propõe pela primeira vez uma avaliação formal do método de agregação do conjunto das preferências, através da aplicação do método dos vetores próprios no cálculo matricial, para determinar os pesos dos membros do conjunto considerado utilizando as suas próprias opiniões subjetivas. Os autores apresentaram também uma aplicação do AHP

para a solução do problema de alocação de recursos energéticos na Índia. (Ramanathan e Ganesh 1995)

Durante os anos de 2002 e 2017 ocorreu o maior número de publicações de artigos científicos relacionados com o AHP. As áreas que mais contribuíram para a investigação e novas propostas foram no campo da matemática aplicada, informática e gestão, mas também em menor número, da engenharia mecânica, ciências relacionadas com o ambiente e ciências tecnológicas. Na área da engenharia destaca-se o trabalho de Hajshirmogammadi e Wedley (2004) que criaram um modelo sistemático para avaliar estruturas organizacionais em relação aos objetivos do departamento de manutenção. Dois importantes aspetos caracterizam este período, a abordagem *fuzzy* e os métodos híbridos. Estas novas abordagens surgiram devido essencialmente ao aumento da dificuldade na compreensão da problemática, relacionado com métodos mais sofisticados para melhorar o desempenho do AHP e também a procura de formas de lidar com processos de tomada de decisão cada vez mais complexos.

Para Forman e Gass (2001) há uma ampla evidência que o uso generalizado do AHP se deve às potencialidades e à simplicidade. Muitas das principais empresas de tecnologia de informação em todo o mundo utilizam o método para modelos de decisão. Um dos exemplos apontados pelos autores é a *American Society for Testing and Materials (ASTM)* que adotou a aplicação do AHP como uma prática a ser seguida para a análise de decisão multicritérios de investimentos relacionados com edifícios e sistemas de construção, norma ASTM: E 1765-95 *Standard Practice of Applying Analytical Hierarchy Process to Multi-Attribute Decision Analysis of Investments Related to Buildings and Building Systems*.

Os mesmos autores referem exemplos de aplicações do AHP consoante a temática e o objetivo da sua aplicação:

- Seleção de alternativas, nomeadamente escolha de produtos, escolha de vendas, estrutura das organizações, e decisões políticas. Exemplos nas empresas: Xerox Corporation; British Columbia Ferries; Edgewood Research Development and Engineering Center; e NASA Lyndon B. Johnson Space Center.
- Estabelecer prioridades, em situações em que não há necessidade de seleção de uma alternativa, mas determinar o valor de um conjunto de alternativas criando uma classificação, encontrando desta forma qual a alternativa que apresenta maior mérito. Exemplos nas empresas e entidades: University of Santiago of Chile;

Rockwell International; Fulcrum Ingenieria Ltd., Chile; Apex Environmental, Inc.; Alaska Fish and Game Department; Martin Marietta Air Traffic Systems.

- Alocação de recursos. Sendo a afetação eficaz de recursos a chave para alcançar os objetivos táticos e estratégicos é importante apurar a eficácia relativa dos recursos na realização dos objetivos. Devido às múltiplas perspectivas, múltiplos objetivos e recursos, o AHP mede, compara e sintetiza, por forma à organização conseguir identificar alternativas, identificar e estruturar as metas da empresa em objetivos principais e secundários, avaliar de forma relativa o contributo de cada alternativa para cada objetivo, e encontrar a melhor conjugação de alternativas. Exemplos nas entidades e nas empresas: Northeast Fisheries Science Center; Scarborough Public Utilities Commission, Ontário, Canada; Air Force Medical Services (USA); Air Products and Chemicals, Inc.; Korea Telecommunication Authority; DOE/Savannah River Site.
- Estudo de referência (*Benchmarking*), envolvendo a avaliação e uma síntese dos muitos fatores a comparar de natureza quantitativa e qualitativa. Exemplo na empresa: IBM Rochester, Minnesota (USA).
- Gestão da Qualidade. A utilização do AHP baseia-se na aplicação das três funcionalidades básicas, estruturação da complexidade, medição, e capacidade de síntese aos inúmeros aspetos relacionados com a gestão da qualidade e com a gestão da qualidade total. Exemplo na empresa: Latrobe Steel Company.
- Políticas de domínio público. A estrutura do AHP permite aos diferentes domínios públicos compreenderem-se melhor em termos de jurisdição e adotar soluções vantajosas para ambos. Exemplos nas entidades: Environment and Policy Institute, East-West Center Honolulu, Hawaii; Alaska Department of Fish and Game.
- Serviços de saúde. O AHP tem sido utilizado nas seguintes entidades de saúde: University of Rochester School of Medicine; Madigan Army Medical Center of Tacoma, Washington (USA); University of Pittsburgh Anesthesiology and Critical Medicine Foundation; Rochester General Hospital, Rochester, NY (USA).
- Planeamento estratégico. O AHP é utilizado para seleccionar missões, estratégias e afetação de recursos. Exemplos nas entidades: The National Park Service (USA); Department of Defense, DoD (USA).

Forman e Selly (2001) comentam que a aplicação da teoria em um programa de computador denominado Expert Choice, em 1983, determinou um rápido crescimento do número, da diversidade e da complexidade das aplicações do AHP. Atualmente existem alguns programas de computador que permitem aplicar o AHP, entre eles, merecem destaque o Expert Choice já referido, o Criterium Decision Plus, o Logical Decision, o Automan, o WinPre, o Inpre, e o Hipre3+.

4.2.3 Implementação

A aplicação do AHP pode ser descrita num número variável de etapas dependendo da perspectiva de análise dos vários estudiosos do método. Para Vargas, citado por Abreu *et al.* (2001), a aplicação pode ser dividida em duas fases: a estruturação e a avaliação. A primeira envolve a decomposição do problema numa estrutura hierárquica, ou seja, numa estrutura de dominância estratificada para representar a extensão das influências, que representa as relações entre as metas, os critérios que exprimem os objetivos e as alternativas que envolvem a decisão. A segunda fase, a avaliação, é caracterizada pela definição do tipo de problema a ser tratado.

Segundo Drake (1998), De Steiguer, Duberstein e Lopes (2003), e Jansen, Shimizo e Jansen (2004), o AHP tem 4 fases de execução, conforme figura 4.3.

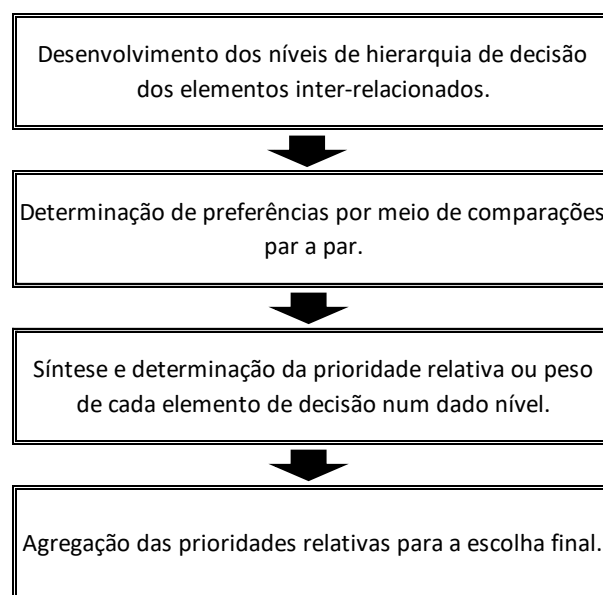


Figura 4.3 – Fases de execução do AHP

Contudo, uma descrição mais completa da implementação do método pode ser encontrada em Haller, Tiedeman e Whitaker (1996) e Saaty (2008), em que o processo tem 6 fases:

- 1) Definir o problema e determinar a temática (área do conhecimento) em questão. Na definição e seleção de um problema é importante ficar bem claro todos os pressupostos e todas as perspectivas que levaram à escolha daquele problema em particular;
- 2) Construção da estrutura hierárquica. Esta estrutura deve ser construída do nível superior para o inferior, ou seja, do objetivo, passando pelos critérios e subcritérios se existirem até às alternativas. Uma vez o objetivo estabelecido, em termos de conceção, também se pode construir a estrutura de baixo para cima. De uma forma ou de outra o essencial é que os critérios e as alternativas mais relevantes sejam considerados;
- 3) Construir matrizes de comparação par a par. A comparação par a par cria uma redundância que torna o processo mais preciso atribuindo um peso relativo a todos os elementos do problema tangíveis ou intangíveis;
- 4) Calcular o peso relativo de cada membro em cada nível da estrutura hierárquica e entre níveis;
- 5) Controlar e equilibrar a decisão. Verificar se ocorreram falhas, se os resultados satisfazem as expectativas;
- 6) Documentação da decisão. É importante documentar os fundamentos que suportaram as razões da tomada de decisão. Esta documentação é útil pois permite a melhoria contínua dos processos de tomada de decisão.

A metodologia do *Analytic Hierarchy Process* é baseada em quatro axiomas básicos que segundo Forman e Gass (2001) são axioma de reciprocidade, axioma de homogeneidade, axioma de síntese e axioma de expectativa:

- Axioma de reciprocidade. Numa comparação par a par, um elemento A é X vezes mais importante que um elemento B, ou seja, $A=XB$. Este axioma afirma que a reciprocidade desta equação também é verdadeira, então $A/X=B$. Se por exemplo $A=4B$, logo $B=A/4$;
- Axioma de homogeneidade. Os elementos do mesmo estrato da hierarquia a serem comparados não devem ter propriedades muito diferentes. Desta forma os erros de consistência são reduzidos;

- Axioma de síntese. Na estrutura hierarquizada, os elementos do nível inferior da hierarquia, isto é, as alternativas ou fatores, não dependem uns dos outros;
- Axioma de expectativa. Assegurar que as ideias dos decisores estão representadas de forma adequada na estrutura hierárquica.

4.2.4 Princípios de Aplicação

1º Princípio – Construir a estrutura de decisão. A estruturação hierárquica do problema é fundamental para o sucesso da metodologia porque possibilita melhor entendimento e juízo da temática e do propósito envolvidos, e traduz a relação entre o objetivo, os critérios e subcritérios e as alternativas, de uma forma que a comparação par a par dentro dos vários níveis e entre eles vai determinar qual a melhor alternativa para o objetivo.

2º Princípio – Realizar comparações par a par. As comparações iniciam-se entre os critérios no segundo nível, chegando a uma hierarquia da importância dos critérios relativamente ao objetivo. Numa segunda fase compara-se as alternativas entre elas em relação a cada um dos vários critérios. As comparações par a par são feitas segundo a escala fundamental de Saaty, em que os termos linguísticos de comparação são convertidos em valores numéricos, conforme tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Escala de classificação para comparação par a par

[Fonte: Saaty (1986)]

GRAU DE IMPORTÂNCIA	DEFINIÇÃO	EXPLICAÇÃO
1	Igualmente importante.	Duas possibilidades com a mesma importância.
3	Moderadamente mais importante.	Experiência e julgamento favorecem levemente uma possibilidade.
5	Fortemente mais importante.	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma possibilidade.
7	Muito fortemente mais importante.	Uma possibilidade é fortemente favorecida e a sua dominância é provada na prática.
9	Extremamente mais importante.	A evidência que favorece uma possibilidade é clara e inquestionável.
2,4,6,8	Valores intermédios.	Quando se procura uma condição entre duas definições.

3º Princípio – Construção das matrizes quadradas, onde a pontuação existente na linha (C_i) será melhor que o critério da coluna (C_j) sempre que o valor classificado tenha um valor superior a 1, caso contrário a importância do critério da coluna será maior em relação ao critério da linha. Como esta matriz é recíproca, apenas é necessário avaliar a metade triangular superior, porque a outra metade é simétrica e a diagonal principal tem sempre o valor 1:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1j} \\ 1/a_{12} & 1 & a_{23} & \dots & a_{2j} \\ 1/a_{13} & 1/a_{23} & 1 & \dots & a_{3j} \\ \dots & \dots & \dots & 1 & \dots \\ 1/a_{1j} & 1/a_{2j} & 1/a_{3j} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

em que:

Se $a_{ij} = \alpha$, então $a_{ji} = 1/\alpha$, sendo que $\alpha \neq 0$

Se C_i tiver a mesma importância que C_j , então $a_{ij} = a_{ji} = 1$

4º Princípio – Normalização da matriz de prioridades. Após a comparação par a par, a matriz de decisão “A” é utilizada para calcular os resultados parciais do conjunto “A” dentro de cada critério $v_i (A_j)$, $j = 1, \dots, n$, denominado peso relativo da alternativa “j” em relação à alternativa “i”, ou vetor de prioridades. Estes resultados são depois normalizados pela expressão:

$$\sum_{i=1}^n v_i (A_j) = 1 \tag{4.1}$$

Onde “n” corresponde ao número de alternativas ou elementos comparados e cada parte desse somatório consiste em:

$$v_i(A_i) = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (4.2)$$

Pelo que fará com que o vetor prioridades de alternativas “i” em relação ao critério C_k será:

$$v_k(A_j) = \frac{\sum_{i=1}^n v_i(A_j)}{n} \quad (4.3)$$

Após obtido o vetor prioridades ou de impacto das alternativas sob cada critério C_k o processo é repetido para os critérios e subcritérios. Neste caso o cálculo do vetor prioridades dos critérios será calculado através da normalização dos seus valores segundo a seguinte equação:

$$w_i(C_j) = \frac{c_{ij}}{\sum_{i=1}^m c_{ij}}, j = 1, \dots, m \quad (4.4)$$

Onde “m” corresponde ao número de critérios do mesmo nível. Determina-se assim o vetor de prioridades:

$$w(C_i) = \frac{\sum_{i=1}^m w_i(C_j)}{m}, i = 1, \dots, m \quad (4.5)$$

Para encontrar o objetivo, que será a hierarquização das alternativas após um processo de comparações entre todos os níveis, é utilizado um processo de agregação. A ordenação das alternativas é assim obtida através da equação:

$$f(A_j) = \sum_{i=1}^m W(C_j) \cdot v_i(A_j), j = 1, 2, \dots, m \quad (4.6)$$

Através desta expressão, os valores ficarão ordenados segundo uma escala de 0 a 1, sendo que os valores perto de 0 são os que representam menos importância, e os valores mais perto de 1 são os que se apresentam com maior importância.

5º Princípio – Sendo a metodologia baseada na comparação, existe a possibilidade de avaliações com alguma incongruência. Os juízos dos especialistas que procederam à comparação par a par podem ser inconsistentes devido ao fato de que quando se compara 3 itens, A, B, e C, sendo A superior a B, e B superior a C, em lógica C não pode ser superior a A. A avaliação da aplicação do método é realizada pelo cálculo do índice de consistência (IC), e, conseqüentemente pelo cálculo da razão de consistência (RC).

- Cálculo do índice de consistência (IC) que avalia o grau de inconsistência da matriz de preferências através da seguinte equação:

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (4.7)$$

onde:

n é a ordem da matriz,

λ_{max} é o maior autovalor da matriz de preferências e será calculado pela equação:

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n v_i \cdot \frac{AW_i}{W_i} \quad (4.8)$$

- Cálculo da razão de consistência (RC) que permite avaliar a inconsistência em função da ordem da matriz de preferências, através da seguinte equação:

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (4.9)$$

onde:

IC é o índice de consistência;

IR é o índice aleatório, que corresponde a uma escala com relação entre a ordem da matriz e o IR, conforme tabela 4.4;

Se $RC < 0,10$, considera-se o processo aceitável;

Se $RC > 0,10$, o processo necessita de ser revisto na matriz de comparações.

Tabela 4.4 – Índices aleatórios (IR)

[Fonte: Santos (2008)]

Ordem da Matriz (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IR	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

4.2.5 Vantagens e Limitações

Uma revisão pela extensa literatura sobre AHP revela-nos os aspetos positivos unanimemente mencionados e que fazem com que o método seja bastante utilizado: a consistência do processo, lógica na decisão, clareza dos passos de implementação, facilidade de uso, e a quantidade de aplicações assim como de publicações científicas que auxiliam e fundamentam futuras utilizações e abordagens. Uma das vantagens mais referida na literatura da especialidade é o facto de o AHP permitir problemas complexos com múltiplos e por vezes conflitantes critérios considerados. O método é também referido como ter sido feito à medida para um grande número de domínios do conhecimento e para diferentes problemas uma vez que assenta na propensão inata da natureza humana para efetuar comparações. O AHP proporciona a oportunidade de considerar a diferenciação da importância dos critérios, e consequentemente atribuir diferentes pesos de forma que alguns critérios ganhem preponderância em relação a outros na decisão.

Segundo De Steiguer *et al.* (2003) o AHP possui várias características desejáveis:

- É um processo decisório estruturado que pode ser documentado e repetido;
- É aplicável a situações que envolvem subjetividade nos julgamentos;
- Utiliza dados quantitativos e qualificativos;
- Tem medidas de aferição de consistência das preferências encontradas;

- Há uma ampla documentação sobre as suas aplicações práticas;
- Utilização apropriada para grupos de decisão.

Um estudo desenvolvido por Salomon, Pamplona e Montevechi (1999), analisou alguns trabalhos em que o método foi comparado com outros métodos MCDM/MCDA como o *Fuzzy Decision Approach* (FDA); *ELimination Et Choix Traduisant la REalité* (ELECTRE); *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) e *Analytic Network Process* (ANP). Os resultados obtidos pelos diferentes métodos foram considerados idênticos na maioria das vezes com os resultados obtidos pelo AHP. No entanto foram observadas algumas vantagens da aplicação do AHP em todos os casos levando os autores do estudo a recomendar este método quando comparado com os outros considerados. Para Ghotb e Warren (1995) citados neste mesmo estudo, o AHP quando comparado ao método FDA apresentou como vantagens forçar o decisor a pensar na decisão de uma maneira lógica (hierárquica) e a possibilidade de verificar a consistência dos julgamentos efetuados. Santana (1996) cujo trabalho também foi englobado no estudo referido, considerou que pelo facto do AHP assegurar a análise dos julgamentos, o método se mostra mais robusto (confiável) que o ELECTRE e o TOPSIS. Também Boritz (1992) aponta como um dos pontos fortes mais significativos a capacidade de medir o grau de inconsistência presente nos julgamentos par a par e desse modo ajudar a assegurar que somente ordenações justificáveis sejam usadas como base para as avaliações.

As desvantagens do método são também habitualmente enumeradas na literatura consultada e colocam as seguintes reservas:

- A ligação entre os pontos na escala de 1 a 9 e as descrições verbais correspondentes não têm fundamento teórico;
- A introdução de novas opções pode mudar a posição relativa de algumas das opções originais;
- As prioridades dependem do método usado para derivá-las, não são permitidas alternativas incomparáveis;
- Por não existir nenhuma base teórica para a formação da hierarquia, os decisores quando se deparam com situações idênticas de decisão, podem derivar hierarquias diferentes, obtendo então diferentes soluções.

Outro argumento amplamente debatido está relacionado com o facto do AHP ser apoiado nas comparações par a par levadas a cabo pelos decisores, e se essas comparações não forem bem executadas podem advir problemas que vai enviesar o processo. Se existir ponderações arbitrárias por parte dos especialistas pode conduzir a alguma inconsistência.

Assume-se que a fiabilidade da decisão tomada depende da consistência da comparação par a par. Isto levou ao aparecimento de ferramentas para detetar o grau de inconsistência das referidas comparações. Brunelli e Fedrizzi (2015) e Brunelli, Canal e Fedrizzi (2013) desenvolveram trabalho sobre este assunto e contribuíram identificando as propriedades axiomáticas dos índices de inconsistência e demonstraram que índices anteriores de inconsistência ignoram a sua definição geral e não proporcionam índices precisos de inconsistência.

Também outros trabalhos têm sido desenvolvidos para apresentar novas soluções para os problemas que as organizações enfrentam no campo da análise e tomada de decisão. Zhu e Xu (2014) consideraram uma situação onde os juízos dos decisores podem se considerar indecisos, e não podem ser agrupados nem revistos. Para ultrapassar esta possibilidade desenvolveram um método de programação multiplicativo de indecisão como um novo método de definição de prioridades, para com base numa escala de rácio derivar prioridades de juízos indecisos.

Outra situação considerada é o facto de o processo da tomada de decisão em grupo enfatizar o problema de se chegar a um consenso, condicionando de certa forma o processo e levando a uma decisão forçada. Dong e Cooper (2016) apresentaram um modelo que supera a necessidade de um moderador dentro do grupo. O modelo dispõe de um mecanismo automático de retorno de informação garantindo a consistência e a democracia dentro do grupo, e uma revisão flexível dos juízos produzidos.

Capítulo 5 – Metodologia Proposta

A metodologia para identificar e estabelecer relação entre os fatores respeitantes às atividades de operação e de manutenção, que causam impacto na disponibilidade de um equipamento, segue quatro etapas que estão representadas na figura 5.1.

5.1 Estudo do Equipamento

A primeira etapa da metodologia corresponde à seleção e estudo do equipamento. Importante neste passo é a recolha de toda a informação relativa ao equipamento, isto é, o histórico do equipamento em termos de manutenção corretiva e preventiva, análises e estudos estatísticos, alterações e melhoramentos efetuados, substituição de componentes obsoletos, e outras que possam de algum modo fornecer indicações sobre o equipamento, o seu meio envolvente, e o seu papel no processo produtivo da organização. Saber o fluxo produtivo, “input” e suas origens, e “output” e seus destinos, assim como todo o desenvolvimento da logística e outras atividades de apoio.

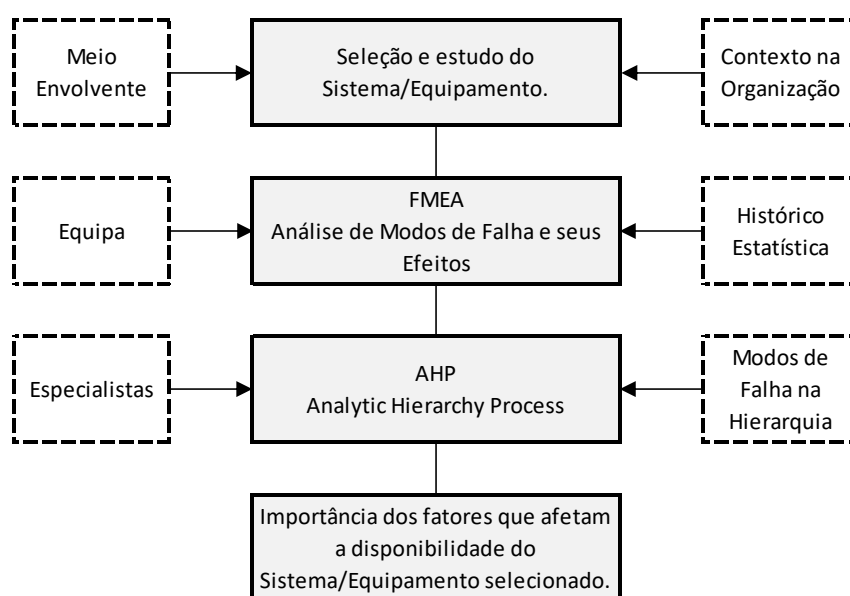


Figura 5.1 – Metodologia proposta

Essencial é também conhecer os controlos que o equipamento tem e as equipas de produção, acompanhando os seus métodos e técnicas de operação. Em suma, compreender e apreender o equipamento, por forma a ficar familiarizado com as suas características, funções e problemas. Este passo é fundamental para o passo seguinte, a construção da Análise de Modos de Falha e seus Efeitos.

5.2 Análise de Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA)

A segunda etapa da metodologia é a aplicação da Análise de Modos de Falha e seus Efeitos ao equipamento selecionado. Para a aplicação desta ferramenta é importante definir fronteiras no equipamento, determinando bem as zonas de cada sistema e subsistema assim como dos elementos ou de órgãos. Esta divisão é importante para a identificação e localização dos modos de falha, por forma a classificar corretamente os seus efeitos. No contexto da metodologia proposta é muito importante a caracterização e diferenciação dos modos de falha, de forma a que cada um deles fique bem definido e limitado. Para encontrar os modos de falha toda a informação recolhida na primeira etapa é fundamental. Considera-se também a realização da técnica *Brainstorming*, que, ao ser efetuada, deve seguir quatro regras essenciais:

- Não criticar nem julgar as ideias dos outros;
- Ser criativo nas ideias a apresentar, porque por vezes a ideia mais descabida pode ser a melhor solução;
- Quantas mais ideias apresentar melhor, a quantidade aumenta a probabilidade de se encontrar as boas ideias;
- Combinação de ideias, construindo e ligando as suas ideias com as dos outros.

As perguntas lançadas no *Brainstorming* são:

- De que forma pode falhar este *item* para não cumprir a função pretendida?
- O que poderá correr mal, apesar do *item* já ter sido revisto?
- Se a função do *item* já foi testada como seria um modo de falha reconhecível?
- Como é que a envolvente pode contribuir ou causar uma falha?

- Na aplicação do *item* como irá ele interagir com os outros?

O nível de detalhe de análise deve ser igual para todos os *itens* e deve também manter-se constante durante toda a análise. Segundo Moubray (1997) apesar de ser muito difícil encontrar um nível adequado de detalhe na pesquisa e análise dos modos de falha, é muito importante encontrar o nível adequado. Pouco detalhe pode conduzir a uma análise superficial. Muito detalhe pode causar um processo bastante longo. Ambas as situações não concorrem para uma análise correta que produza um resultado válido.

Para a quantificação da severidade dos efeitos dos modos de falha é sempre considerado o pior cenário. Analisando o modo de falha de fuga nas ligações e acessórios num atuador hidráulico apresenta-se duas situações distintas: a paragem para reparação de uma fuga hidráulica em que é necessário substituir os acessórios que estão em local de fácil acesso com a instalação à vista e tubagem de 10mm de diâmetro sem necessidade de ferramentas especiais, levaria cerca de uma hora. Porém, no mesmo circuito, uma ligação por acessório mais perto do atuador encontra-se num local de difícil acesso, com necessidade de desmontagem de painéis de insonorização e proteção, e para substituir os acessórios um troço completo da tubagem de 10mm terá de ser retirada. Esta paragem não demorará uma hora como na situação anterior, mas três horas pelo que é este tempo que será considerado no modo de falha para classificação da severidade.

O mesmo modo de falha em componentes similares pode ter tempos de reparação diferentes, e conseqüentemente, severidade diferente. Apesar de o componente e o modo de falha serem o mesmo, o tempo técnico de reparação é diferente porque as situações de aplicação e utilização do componente são diferentes.

As falhas funcionais são adequadas para equipamentos de fluxo contínuo, caracterizados por terem os sistemas e subsistemas em permanente relação de interdependência, materializada no tempo e no modo, de maneira a que o seu desempenho seja eficiente e total. As falhas funcionais obrigam a um conhecimento completo e abrangente do equipamento, principalmente os seus sistemas e subsistemas.

Segundo Moubray (1997) uma falha funcional é definida como a incapacidade de um qualquer bem em cumprir uma função segundo um padrão de desempenho requerido. O mesmo autor considera que um bem falha quando não consegue fazer aquilo que se espera dele, e tudo o que ele faz é uma função, logo, o bem tem mais do que uma e frequentemente diversas funções.

Para definir uma falha funcional em qualquer bem, antes do mais é necessário identificar quais as suas funções e determinar todas as que sejam significativas no respetivo ambiente operacional, dado que é nesse contexto que a sua incapacidade funcional pode ser definida.

5.2.1 Tabelas de Severidade, Ocorrência e Detetabilidade

As tabelas de classificação de severidade, ocorrência e detetabilidade para serem utilizadas na metodologia proposta, foram adaptadas de Ford Machinery FMEA (1996), tabelas 5.1, 5.2 e 5.3 respetivamente.

O critério para a classificação da severidade (tabela 5.1) é o tempo de paragem do equipamento, no entanto, os índices mais elevados de severidade também consideram efeitos dos modos de falha que afetem de modo severo ou muito severo a segurança do operador, técnicos de manutenção ou outro pessoal de apoio, a integridade do equipamento e das infraestruturas, assim como o não cumprimento de legislação governamental.

Tabela 5.1 – Índice de Severidade para a Metodologia proposta

[Fonte: Adaptado de Ford Machinery FMEA (1996)]

EFEITO	CRITÉRIO: TEMPO DE PARAGEM DE MÁQUINA (<i>DOWNTIME</i>)	ÍNDICE DE SEVERIDADE
Muito crítico	Superior a 24 horas, ou efeito muito severo na segurança que afeta pessoas e bens e/ou envolve o não cumprimento de regulamentação governamental.	10
Crítico	Entre 16 a 24 horas, ou efeito severo na segurança que afeta pessoas e bens e/ou envolve o não cumprimento de regulamentação governamental.	9
Muito alto	Entre 12 a 16 horas	8
Alto	Entre 10 a 12 horas	7
Moderado	Entre 8 a 10 horas	6
Baixo	Entre 6 a 8 horas	5
Muito baixo	Entre 4 a 6 horas	4
Diminuto	Entre 2 a 4 horas	3
Muito diminuto	Entre 1 e 2 hora	2
Sem efeito	Inferior a 1 hora	1

Os dados recolhidos no histórico de falhas, envolvidos para o estudo do equipamento, e utilizados para determinar o índice de ocorrência (tabela 5.2) são relativos a um período de sete anos e meio, em que o equipamento trabalhou dois turnos por dia, cinco dias por semana, e onze meses por ano, pelo que no total considerou-se 29040 horas de funcionamento. Para cada causa de um modo de falha, subtraiu-se a este valor o tempo de paragem do equipamento, dividindo-se depois pelo número de paragens provocado por essa causa, encontrando-se assim o MTBF de cada causa do modo de falha.

Tabela 5.2 – Índice de Ocorrência para a Metodologia proposta

[Fonte: Adaptado de Ford Machinery FMEA (1996)]

PROBABILIDADE DE FALHA	CRITÉRIO: TEMPO MÉDIO DE BOM FUNCIONAMENTO (MTBF)	ÍNDICE DE OCORRÊNCIA
Muito alta	MTBF inferior a 24 horas	10
Muito alta	MTBF entre 24 a 168 horas	9
Alta	MTBF entre 169 a 360 horas	8
Ligeiramente alta	MTBF entre 361 e 720 horas	7
Moderada alta	MTBF entre 721 e 1440 horas	6
Moderada	MTBF entre 1441 e 2880 horas	5
Moderada baixa	MTBF entre 2881 e 4320 horas	4
Baixa	MTBF entre 4321 e 5760 horas	3
Muito baixa	MTBF entre 5761 e 8544 horas	2
Remota	MTBF superior a 8544 horas	1

O MTBF de cada causa do modo de falha, está representado na equação (5.1).

$$MTBF = \frac{\text{Tempo total de funcionamento} - \text{Tempo de paragem}}{\text{Número de paragens}} \quad (5.1)$$

onde:

MTBF é o tempo médio de bom funcionamento associado a cada causa do modo de falha.

O critério do índice de detecção (tabela 5.3) é a probabilidade de os controlos considerados detetarem a falha antes que ela ocorra.

Tabela 5.3 – Índice de Detecção para a Metodologia proposta

[Fonte: Adaptado de Ford Machinery FMEA (1996)]

DETECÇÃO	CRITÉRIO: PROBABILIDADE DE DETECÇÃO DA FALHA	ÍNDICE DE DETECÇÃO
Quase impossível	Meios de controlo detetam com probabilidade improvável a falha, ou o dispositivo de alertas do equipamento não deteta a falha.	10
Muito remota	A falha terá uma probabilidade muito remota de ser detetada pelos meios de controlo, ou a mensagem de aviso relaciona a falha com vários sistemas.	9
Remota	A falha terá uma probabilidade remota de ser detetada pelos meios de controlo, ou a mensagem de aviso relaciona a falha com um sistema.	8
Muito baixa	A falha terá uma probabilidade muito baixa de ser detetada pelos meios de controlo, ou a mensagem de aviso relaciona a falha com vários subsistemas.	7
Baixa	A falha terá uma probabilidade baixa de ser detetada pelos meios de controlo, ou a mensagem de aviso relaciona a falha com um subsistema.	6
Moderada	A falha terá uma probabilidade moderada de ser detetada pelos meios de controlo, ou a mensagem de aviso relaciona a falha com vários itens.	5
Moderadamente alta	A falha terá uma probabilidade moderadamente alta de ser detetada pelos meios de controlo, ou a mensagem de aviso relaciona a falha com um item.	4
Alta	A falha terá uma probabilidade alta de ser detetada pelos meios de controlo, ou a mensagem de aviso relaciona a falha com vários componentes de um item.	3
Muito alta	A falha terá uma probabilidade muito alta de ser detetada pelos meios de controlo, ou a mensagem de aviso relaciona a falha com um componente.	2
Quase de certeza	A falha será quase certamente detetada pelos meios de controlo, ou a mensagem de aviso indica claramente qual o componente específico em falha.	1

5.2.2 Tabelas de Efeitos e Controlos

No preenchimento do formulário da FMEA optou-se por registar as consequências e os controlos não por forma descritiva, mas colocando códigos. Cada código refere-se a uma consequência ou a um controlo cujo significado está definido nas tabelas 5.4 e 5.5 respetivamente.

Tabela 5.4 – Tabela das consequências dos Modos de Falha

CÓDIGO	CONSEQUÊNCIA
A	Consequências que potenciam o risco no decurso do funcionamento do equipamento ou nas intervenções da manutenção e que afetam a segurança de pessoas e bens.
B	Implicações a nível ambiental como derrame de fluidos hidráulicos ou libertação de gases.
C	Afetam o desempenho da máquina.
D	Produto com qualidade afetada.
E	Aumento dos custos de operação.
F	Implica alteração do planeamento de produção de outras máquinas.

As consequências consideradas (Tabela 5.4) não seguem o padrão definido pela MIL STD 1629A (1984), de definir as consequências a nível local, no nível seguinte do sistema, e no nível final do sistema. Estabeleceram-se consequências globais que afetam o equipamento no desempenho e na qualidade do produto por ele produzido, a segurança de pessoas e bens, as agressões ambientais e a implicação para com os restantes equipamentos do fluxo produtivo, quer a montante quer a jusante.

Tabela 5.5 – Tabela dos Controlos considerados

CÓDIGO	CONTROLOS
A	Controlo visual por parte do operador.
B	Controlo auditivo por parte do operador.
C	Instrumentos de medição como manómetros, amperímetros, voltímetros, termómetros.
D	Indicadores como caudalímetros, sondas de temperatura, pressostatos, transdutores.
E	Documentação de verificação e ajuda visual.
F	Mensagem de aviso no painel no operador.
G	Controlo da manutenção através de rotinas de manutenção preventiva.

Os controlos considerados (tabela 5.5) são aqueles que o equipamento dispõe para captar e detetar a falha antes de ela acontecer. Para além dos controlos disponibilizados pelo equipamento são considerados também o controlo visual e auditivo dos operadores, que em certas situações são muito importantes e conseguem antever o aparecimento de falhas específicas, e também o controlo da manutenção através de inspeções e verificações englobadas nas atividades de manutenção preventiva.

5.2.3 Matriz do Número de Prioridade de Risco (NPR)

Tal como já referido no capítulo 3, o Número de Prioridade de Risco (NPR) é o valor que é utilizado para a avaliação do risco e quantifica a criticidade tendo em conta a severidade, a ocorrência e a detetabilidade de cada possível causa de um modo de falha.

Para classificação do NPR foi estabelecida uma matriz, tabela adaptada de www.reliasoft.com (2019), com o objetivo de determinar quais os modos de falha que mais riscos apresentam para o equipamento, representada na tabela 5.6.

Os modos de falha de risco crítico serão incluídos na estrutura hierárquica do *Analytic Hierarchy Process* (AHP) como subcritérios. A matriz (Tabela 5.6) determina o risco dos modos de falha através da relação entre os índices de severidade, ocorrência e deteção, e também pelo valor do Número de Prioridade de Risco (NPR). As diretrizes para a leitura da tabela são as seguintes:

- Modos de falha cujo índice de severidade conjugado com o índice de ocorrência corresponda ao quadrado da letra “B” são de risco baixo;
- Se a conjugação dos índices de severidade e ocorrência corresponder aos quadrados amarelos e se o índice de deteção tiver um valor igual ou superior ao valor considerado em cada quadrado, o modo de falha é considerado de risco médio, caso contrário será risco baixo;
- Se o valor do NPR for igual ou inferior a 75 é considerado risco baixo, independentemente dos valores dos índices de severidade, ocorrência e deteção;
- Se o valor do NPR for superior a 75 é considerado risco médio, independentemente dos valores dos índices de severidade, ocorrência e deteção;
- Todos os modos de falha cujo valor do índice de severidade seja 9 são considerados de risco alto;

- Todos os modos de falha cujo valor do índice de severidade seja 10 são considerados de risco crítico.

Tabela 5.6 – Matriz do Número de Prioridade de Risco (NPR)

[Fonte: Adaptado de www.reliasoft.com]

O/S	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	B	B	B	B	B	B	B	10	A	C
2	B	B	B	10	8	7	6	5	A	C
3	B	B	9	7	5	5	4	4	A	C
4	B	10	7	5	4	4	3	3	A	C
5	B	8	5	4	3	3	3	2	A	C
6	B	7	5	4	3	3	2	2	A	C
7	B	6	4	3	3	2	2	2	A	C
8	B	5	4	3	2	2	2	2	A	C
9	B	5	3	3	2	2	2	2	A	C
10	B	4	3	2	2	2	2	1	A	C

5.3 Objetivo do AHP

O AHP já foi abordado no capítulo 4, e surge neste trabalho como a ferramenta que irá quantificar a influência de cada um dos fatores considerados, na disponibilidade do equipamento.

A comparação par a par, que vai atribuir os pesos relativos a cada um dos critérios, subcritérios e alternativas, foi efetuada por três especialistas (ver respostas nos Anexos 1, 2 e 3).

Para a implementação da metodologia é necessário construir a estrutura hierárquica de decisão desde o topo que constitui o objetivo final, passando pelos critérios, subcritérios, e terminando nas alternativas, representando assim uma hierarquia de decisão de 4 níveis, conforme representado na figura 5.2.

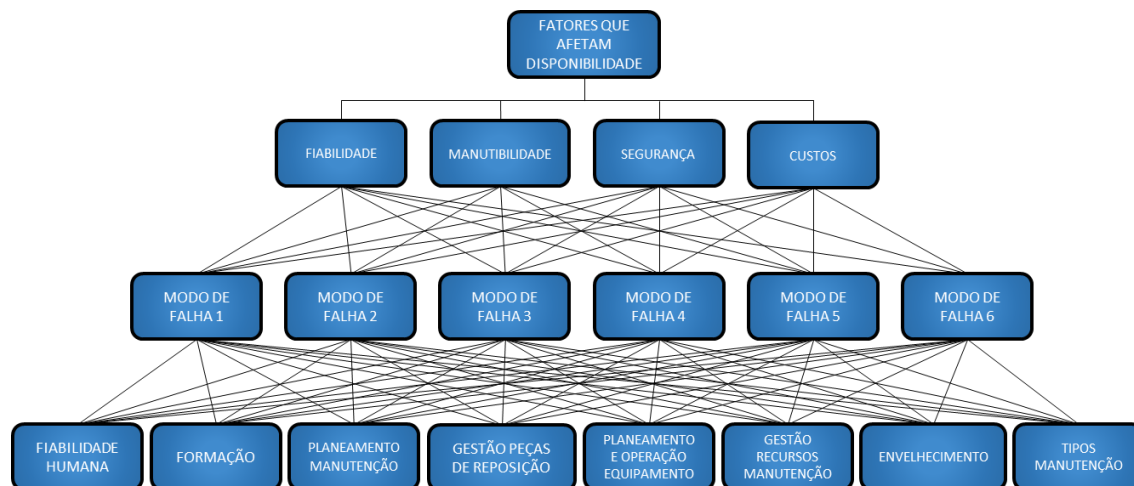


Figura 5.2 – Estrutura hierárquica para a quantificação dos Fatores que afetam a Disponibilidade Operacional de um Ativo Físico

No primeiro nível apresenta-se o objetivo principal, a partir do qual é pensada e construída toda a estrutura hierárquica. O segundo e terceiro nível correspondem aos critérios e subcritérios respetivamente, e são os requisitos para a avaliação das alternativas estruturando assim o objetivo. No quarto nível encontram-se as alternativas consideradas para satisfazer o objetivo final.

O propósito é identificar e estabelecer relação entre os fatores respeitantes às atividades de operação e de manutenção que causam impacto na disponibilidade de um equipamento, ou seja, a quantificação dos fatores que afetam a disponibilidade operacional.

A disponibilidade operacional foi amplamente abordada no capítulo 2.

5.4 Critérios do AHP

Os critérios utilizados são a probabilidade de paragem do equipamento (parâmetro que nos liga à fiabilidade), tempo de reparação (parâmetro que nos remete para a manutibilidade), a segurança e os custos. Os critérios pelos quais estamos a avaliar as alternativas para quantificar o seu impacto na disponibilidade do equipamento são os conceitos da abordagem RAMS+C.

5.4.1 Fiabilidade

Ter a capacidade de saber o futuro, o que irá acontecer nos próximos dias ou nos próximos anos, não é ciência dominado pelo homem. Saber exatamente qual o comportamento de um sistema ou de um equipamento não é assim possível. O que é possível é a previsão quantificada da probabilidade de algo acontecer. Os processos de recolha, análise e tratamento de dados têm-se desenvolvido bastante nas últimas décadas proporcionando uma previsão cada vez mais confiável.

Saber quantas horas, quantos ciclos ou quantos golpes o equipamento irá funcionar sem haver necessidade de intervenção de manutenção, ou saber quando irá ser necessário a substituição de um componente antes que ele falhe, são questões a que a fiabilidade tenta responder.

De acordo com a norma NP EN 13306 (2007) fiabilidade é a aptidão de um bem para cumprir uma função requerida sob determinadas condições, durante um dado intervalo de tempo. A norma francesa AFNOR X06-501 citada por Sobral (2010), na sua descrição, introduz a probabilidade no conceito, definindo fiabilidade como a característica de um dispositivo expressa pela probabilidade que esse dispositivo cumpra uma função requerida nas condições de utilização e por um período de tempo determinado.

A fiabilidade atingiu um elevado grau de desenvolvimento e desempenha um papel muito importante na função manutenção. Para Sobral (2010) a fiabilidade pode ser definida como uma ciência que fornece as ferramentas teórico-práticas, onde a probabilidade e a capacidade de componentes, sistemas ou equipamentos para satisfazer as funções requeridas durante determinados períodos de tempo sem avaria, em ambientes específicos, e dentro de certos intervalos de confiança, podem ser especificadas, projetadas, previstas, testadas e demonstradas.

Na perceção daqueles que desenvolvem a prática, o termo fiabilidade está muito associado ao termo “qualidade” e “confiança”. Qualidade porque o bem resiste às más práticas, erros ou omissões, dando imagem de infalível, apresentando em toda a sua vida útil poucos ou nenhuns problemas, e confiança porque o bem dá garantia de funcionar durante longos períodos como é esperado e desejado, não falhando.

No entanto, os conceitos de qualidade e fiabilidade estiveram sempre ligados, originando até alguma confusão sobre o significado de cada conceito e a sua aplicação ao estado e situação do componente, equipamento ou sistema. Atendendo à definição de qualidade

como uma uniformidade das características e conformidade com os requisitos de produto, e fiabilidade como a tradução da aptidão de um bem em assegurar as suas características de qualidade, a relação entre os dois conceitos pode ser estabelecida, entendendo-se assim fiabilidade como a capacidade de um equipamento em conservar as características que lhe proporcionam um desempenho de qualidade ao longo da sua vida útil.

Para Canuto (2009) os fatores que influenciam a fiabilidade de um sistema são:

- Funcionamento do conjunto;
- Fiabilidade dos equipamentos;
- Políticas e ações da manutenção;
- Operação dos equipamentos.

O mesmo autor cita Lewis que considera também, para além da dependência da fiabilidade ser uma função do tempo, o conceito de carga e da capacidade dos equipamentos bem como as suas relações com a fiabilidade através do chamado fator de segurança. Outros aspetos que também influenciam a fiabilidade dos equipamentos são as condições do meio ambiente e o tempo de funcionamento.

Na figura 5.3 estão representados os principais fatores que influenciam a fiabilidade em duas etapas da vida de um bem, a fase de projeto e fabrico em que decisões relativas à qualidade de materiais e processos é importante para a fiabilidade que o bem terá, e a fase de exploração em que as opções por diferentes estratégias e modos de utilização do bem, assim como o contexto em que ele está inserido influenciam igualmente a sua fiabilidade.

A fiabilidade está diretamente relacionada com o tempo, sabendo que quando este tende para infinito a probabilidade de falha tende para a unidade, ou seja, mais cedo ou mais tarde a falha acontecerá sempre, e a fiabilidade é sempre decrescente ao longo do tempo, isto é, tende para zero.

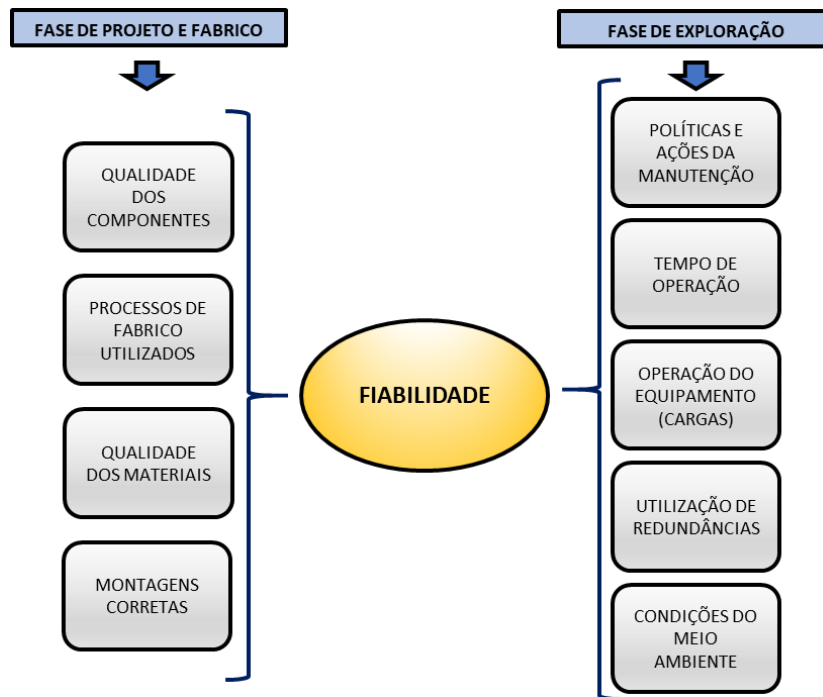


Figura 5.3 – Fatores que influenciam a Fiabilidade

Em sentido lato, fiabilidade está relacionada com a operação ser bem-sucedida, sem a presença de falhas. Pode-se então considerar que a fiabilidade $R(t)$ pode ser representada por uma probabilidade de sucesso, e a probabilidade de falha $F(t)$ por uma probabilidade de insucesso, sendo as duas probabilidades complementares, como representado na equação (5.2) e (5.3):

$$R(t) + F(t) = 1 \quad (5.2)$$

logo;

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (5.3)$$

Traduzindo quantitativamente fiabilidade $R(t)$ por uma probabilidade no tempo, a fiabilidade entre o instante (0) e o instante (t), ou dizendo de outra forma, a fiabilidade no momento (t), é dada pela probabilidade de não existir avaria no bem antes de se atingir o instante (t), ou seja, é a probabilidade do momento do acontecimento da avaria ser superior ao momento (t) considerado, como representado na equação (5.4):

$$R(t) = P(Tf > t) \quad (5.4)$$

em que:

$R(t)$ – Fiabilidade (probabilidade de sucesso);

Tf – Tempo em que ocorre a falha;

t – Tempo considerado (funcionamento do bem).

No estudo da fiabilidade, duas distribuições são bastante utilizadas. A distribuição de Weibull é das mais usadas devido à sua flexibilidade em ajustar-se às outras distribuições de probabilidade que caracterizam melhor o padrão de falhas, e a distribuição exponencial negativa que é aplicada quando estamos na presença de taxa de falhas constante.

A distribuição de Weibull é empregue para análise da fiabilidade nas três situações possíveis do sistema em termos de falhas, isto é, taxa de falhas constante, crescente e decrescente. Segundo Canuto (2009), verifica-se que a distribuição de Weibull conjuntamente com a distribuição exponencial negativa, tem grande aplicação prática na experimentação da fiabilidade dos sistemas devido à sua flexibilidade e modelação e à facilidade de utilização.

Considerando o funcionamento de um componente ou de um equipamento durante um dado período de tempo a taxa de avarias é dada pela equação (5.5):

$$\lambda = \frac{\text{Número de Avarias}}{\text{Tempo Total de Funcionamento}} \quad (5.5)$$

A fiabilidade na distribuição exponencial negativa, que é utilizada quando a taxa de falhas é constante, é dada pela equação (5.6):

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (5.6)$$

em que:

λ – Taxa de falhas;

t – Tempo de funcionamento.

Para Pereira (2003) a distribuição de Weibull tem uma grande vantagem quando utilizada em trabalhos de fiabilidade, pois, por modificação dos parâmetros da distribuição, nomeadamente o parâmetro de forma “ β ” pode ajustar-se a muitas distribuições de tempo de vida típicos, sendo as mais importantes a distribuição exponencial negativa ($\beta = 1$) e a distribuição normal ($\beta = 3,4$).

Sobral (2015) apresenta o cálculo da fiabilidade na distribuição de Weibull através da equação (5.7):

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (5.7)$$

em que:

β – Parâmetro de forma que caracteriza a forma da curva de ocorrência da avaria $f(t)$;

η – Parâmetro de escala ou vida característica que corresponde ao tempo (valor “t”) ao fim do qual a probabilidade de falha atinge 63,2 % ($R = e^{-1} = 0,368$);

γ – Parâmetro de posição ou vida garantida, define qual o instante até ao qual não se verificaram avarias;

t – Tempo (variável, pode ser ciclos, distância).

Tal como referido anteriormente, o parâmetro de forma “ β ” caracteriza a forma da curva de ocorrência da avaria e pode assumir os seguintes valores:

$\beta < 1$ – Representa uma distribuição que corresponde a taxa de falha decrescentes;

$\beta = 1$ – Distribuição que corresponde a falhas aleatórias (distribuição exponencial);

$1 < \beta < 3,4$ – As falhas predominam no início da vida (distribuição lognormal);

$\beta = 3,4$ – As falhas são geralmente distribuídas de modo simétrico (distribuição normal);

$\beta > 3,4$ – As falhas predominam no fim de vida.

Na figura 5.4 pode-se verificar o efeito dos diferentes valores do parâmetro de forma “ β ” na função densidade de probabilidade de falha “ $f(t)$ ”, no eixo das ordenadas, com o parâmetro de escala “ η ” constante.

Um parâmetro usualmente utilizado para aferir a fiabilidade é o *Mean Time Between Failures* (MTBF), média dos tempos de bom funcionamento do equipamento, que é o intervalo de tempo decorrido entre o final de uma avaria e o início da próxima. Este parâmetro será abordado no capítulo 6.

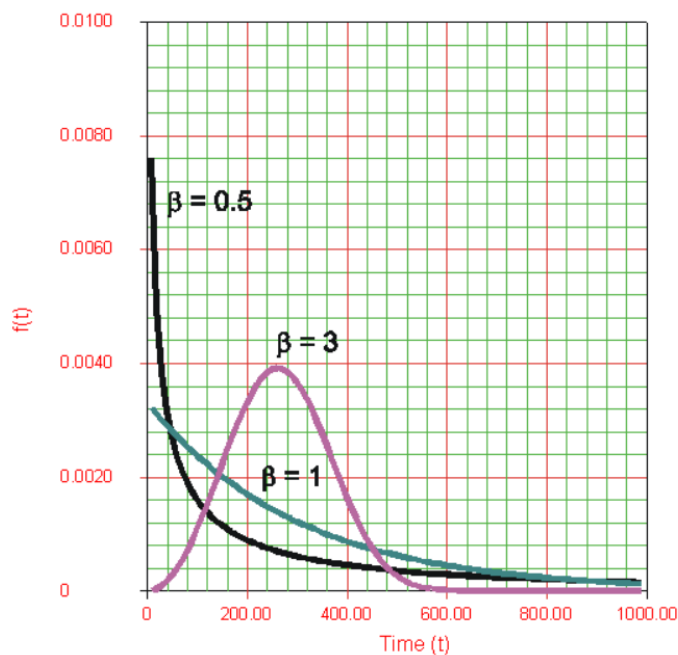


Figura 5.4 – Efeito do parâmetro “ β ” nos tipos de distribuição de Falhas

[Fonte: www.weibull.com]

5.4.2 Manutibilidade

O conceito de manutibilidade está diretamente relacionado com a atividade de reparação do componente ou órgão que seja reparável, e em que medida essa intervenção é facilitada pelo equipamento, por forma a colocá-lo em condições operacionais.

A NP EN 13306 (2007) define manutibilidade como a aptidão de um bem, sob condições de utilização definidas, para ser mantido ou restaurado, de tal modo que possa cumprir uma função requerida, quando a manutenção é realizada em condições definidas, utilizando procedimentos e recursos prescritos.

Segundo Dhillon (2006), manutibilidade é uma característica relacionada com o projeto e instalação que permite ao equipamento ter uma capacidade inerente para ser mantido, potenciando fatores como melhor disponibilidade operacional, custos de manutenção mais baixos, menos ferramentas, exigência de menos qualificações técnicas, e menos horas de trabalho necessárias. Por outro lado, Assis (2007) acrescenta que a manutibilidade mede a facilidade com que se efetuam as operações necessárias à reparação de um equipamento ou componente.

Manutibilidade é a quantificação da capacidade de um bem, expressa por probabilidade, de proporcionar as melhores condições, criadas por intermédio de fatores e aspetos relativos ao seu projeto e instalação, para ser reparado.

Os fatores de projeto que afetam a manutibilidade mais frequentemente abordados são:

- Acessibilidade (equipamento e espaço circundante);
- Autodiagnóstico;
- Controlos e visores (controlo do processo e interação com operador);
- Códigos e rotulagem (identificação por cores);
- Manuais e listas de verificação (documentação técnica e de processo);
- Equipamentos auxiliares de teste;
- Ferramentas necessárias.

Dhillon (2006) elege três elementos essenciais da manutibilidade que devem ser considerados na fase de projeto:

- Simplificação – É o elemento mais importante da manutibilidade e é provavelmente o mais difícil de conseguir. Deve ser um objetivo constante ao longo de todo o projeto. Uma das medidas preconizadas é a utilização do menor número de componentes possível, tendo em conta as boas práticas de conceção e projeto.

- Acessibilidade – É a relativa facilidade com que se pode alcançar um *item* para reparação ou substituição. A falta de acessibilidade é muitas vezes causa de manutenção ineficiente. Alguns dos fatores que afetam a acessibilidade são:
 - A necessidade de visualização do *item* por parte dos técnicos;
 - A localização do *item* e a sua envolvente;
 - A distância a percorrer até ao *item*;
 - O tipo de intervenção que é necessário realizar em espaços confinados;
 - Tempos específicos para realizar as tarefas;
 - Vestuário e apetrechos corporais utilizados pelo pessoal da manutenção;
 - Ferramentas e acessórios necessários deslocar até ao local do *item*.
- Permutabilidade – É uma característica do projeto que permite que um *item* seja substituído por outro similar, pelo que a normalização deve ser um princípio a seguir logo desde a conceção.

Por sua vez, Pinto (2002) considera manutibilidade como uma característica de construção dos equipamentos e componentes que tem relação com o tempo necessário para a sua manutenção, e que se caracteriza pelo grau de facilidade de acesso a inspeções, substituição ou reparação de componentes, e que pode portanto ser avaliada pelo tempo necessário para a sua manutenção, medido em duração, ou pelas horas-homem despendidas, ou ainda pelo custo das intervenções. Deste modo, apresenta três óticas pelas quais a manutibilidade pode ser avaliada:

- A probabilidade de um bem ser reparado e repostado em serviço dentro de um determinado período de tempo;
- A probabilidade de a duração de uma dada intervenção de manutenção não exceder um determinado tempo, ou o tempo e mão de obra envolvidos;
- A probabilidade de que o custo de uma dada operação de manutenção não exceda um valor fixado.

Para quantificar a manutibilidade é utilizado o parâmetro *Mean Time To Repair* (MTTR), tempo médio de reparação, que é a média dos Tempos Técnicos de Reparação (TTR). Para Ferreira (1998) o tempo técnico de reparação é constituído pela soma de vários tempos específicos da intervenção da manutenção, como está exemplificado na figura 5.5:

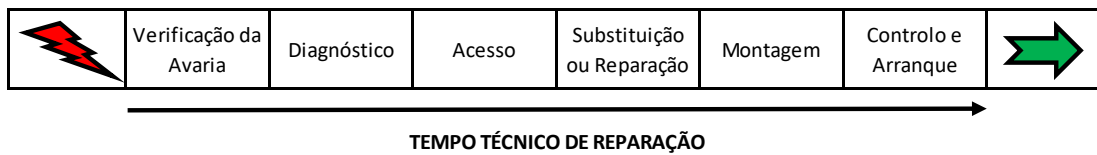


Figura 5.5 – Tempo Técnico de Reparação

[Fonte: Adaptado de Ferreira (1998)]

Desta forma o indicador MTTR é calculado de acordo com a equação 5.8:

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{n} \quad (5.8)$$

em que:

TTR – Tempo técnico de reparação;

n – Número de avarias.

Como referido anteriormente a manutibilidade também pode ter expressão por uma probabilidade e nesse caso a função manutibilidade corresponde à probabilidade do tempo para recolocação em serviço ser inferior a um dado tempo “t”, equação 5.9:

$$M(t) = \text{Prob} (TTR < t); t > 0 \quad (5.9)$$

Segundo Dhillon (2006), a distribuição exponencial é muito utilizada para moldar os tempos de reparação, apresentando o cálculo da função manutibilidade através da equação 5.10:

$$M(t) = 1 - e^{-\frac{t}{MTTR}} \quad (5.10)$$

em que:

MTTR – Tempo médio de reparação;

t – Tempo considerado.

Para Baptista (2007) a formulação de Dhillon limita a função manutibilidade porque utiliza a distribuição exponencial negativa que considera taxas de reparação constantes, situação que na prática normalmente acontece com pouca frequência e apresenta a formulação a partir da distribuição de Weibull, equação 5.11:

$$M(t) = 1 - e^{\left(\frac{-t}{\eta}\right)^\beta} \quad (5.11)$$

em que:

β – Parâmetro de forma;

η – Parâmetro de escala ou vida característica que corresponde ao tempo (valor “t”) ao fim do qual a probabilidade de falha atinge 63,2 % ($R = e^{-1} = 0,368$);

t – Tempo considerado.

Uma boa manutibilidade advém, de facto, dos princípios e conceitos empregues na conceção e construção de um equipamento por forma a facilitar e simplificar todas as possíveis intervenções que sejam necessárias para o seu restabelecimento em termos de operacionalidade, contudo, afiguram-se importantes alguns fatores que possibilitem a materialização dos benefícios da manutibilidade, destacando-se de entre eles a organização do meio envolvente no que toca à disposição e arrumação de material, estruturas e acessórios de apoio ao seu funcionamento, e a limpeza do próprio equipamento assim como dos seus acessos.

5.4.3 Segurança

O conceito segurança traduz-se na preservação de pessoas e bens na condição de isenção de riscos evitando danos, perdas ou acidentes. Envolve também o conhecimento de todas as potenciais ou reais situações que possam criar perigo para as pessoas ou bens no decurso de todas as atividades da organização, e a identificação de todos esses cenários, classificando os riscos decorrentes de cada atividade específica.

A segurança dos recursos, das infraestruturas e das pessoas, tem sido nos últimos anos uma preocupação séria que tem impulsionado a criação e o desenvolvimento da Segurança Industrial e da Segurança e Higiene no Trabalho, que baseando a sua atividade nas normas e regulamentação governamental procura minimizar e eliminar todos os riscos presentes no meio industrial.

Ventura (2008) salienta que três dos métodos mais utilizados para analisar os riscos no âmbito da engenharia industrial são: *Fault Tree Analysis* (FTA); *Hazard and Operability Analysis* (HAZOP) e *Failure Modes and Effect Analysis* (FMEA).

De acordo com a norma BS OHSAS 18001 (2007), risco é a combinação da probabilidade de ocorrência de um acontecimento perigoso ou exposição e da severidade das lesões e ferimentos ou danos para a saúde, que pode ser causada pelo acontecimento ou pela exposição. Define também risco aceitável todo aquele que foi reduzido a um nível que possa ser tolerado pela organização, tomando em atenção as obrigações legais de Segurança e Saúde no Trabalho.

As normas e principalmente a legislação quer de âmbito nacional quer de âmbito internacional, como por exemplo regulamentação da União Europeia, tem colocado aos fabricantes desafios constantes para estarem em conformidade com os requisitos legais de aprovação e certificação dos equipamentos em termos de segurança. As novas tecnologias e os novos processos não têm apenas a preocupação em melhorar desempenho e reduzir custos de exploração, têm também a preocupação de logo na fase de projeto assegurar a implementação de recursos e técnicas por forma a minimizar e eliminar os riscos. As células de automação, com *robots* e outras máquinas de funcionamento autónomo, têm hoje sistemas duplos de segurança caracterizados por fechaduras de segurança e detetores de presença que cortam diretamente a energia para a célula impedido qualquer movimento.

De acordo com Sobral (2010) o conceito de segurança está intimamente ligado aos outros elementos da RAMS, particularmente em aplicações ou instalações críticas com ambientes

industriais de alto risco, quando se considera que a ocorrência de avarias ou indisponibilidade dos equipamentos causa riscos para a vida humana, para o ambiente ou para a exploração, nomeadamente fatores económicos relacionados com a perda de bens ou a cessação das atividades. Refere também que os dados de fiabilidade têm impacto nos cálculos probabilísticos de segurança e que, de facto, os dados de fiabilidade assim como a informação relativa às taxas de avarias podem servir de ponto de partida para uma melhoria da segurança.

Em todos os trabalhos da manutenção é fundamental o cumprimento das normas e legislação de segurança, assim como adotar todas as medidas e cuidados especiais necessários por forma a assegurar que os trabalhos decorram sem risco ou com o menor risco possível para os técnicos, para o equipamento, e também para o ambiente.

Uma operação de reparação ou substituição de um órgão mecânico de grande volume apresenta potenciais riscos de desmontagem, de manobra por equipamentos de elevação de carga, e de derrame de fluidos. As falhas aleatórias criam situações imprevisíveis, onde a manutenção não tem por vezes o discernimento necessário para os problemas de segurança devido à ânsia e à preocupação de colocar o equipamento novamente a funcionar.

Uma intervenção num equipamento ou num meio que não se conhece muito bem potencia situações imprevistas que aumentam o risco. As intervenções realizadas em espaços confinados, assim como as equipas de manutenção com muitas horas de trabalho acumulado aumentam também o risco. Um aspeto igualmente importante é a qualidade da comunicação entre os elementos afetos ao trabalho. Mensagens incorretamente emitidas ou rececionadas, ou más condições de conversação, podem criar situações de risco.

Um incidente ou acidente pode-se refletir em potenciais lesões graves ou ferimentos nos técnicos, danos nos equipamentos e estruturas circundantes, agressões para o ambiente, mas também vai afetar o tempo de reparação e os custos associados aos estragos provocados.

5.4.4 Custos

A relação entre a abordagem RAMS (Fiabilidade, Disponibilidade, Manutibilidade e Segurança) e custos, tem-se tornado evidente quer quando analisada por uma abordagem

individual aos conceitos quer por uma abordagem única considerando RAMS como um todo.

Misra (2008) refere que a preocupação com os custos de manutenção tem aumentado, em algumas indústrias é um dos componentes do custo de operação mais elevado, e hoje está no topo das prioridades do controlo de custos. Segundo Jiang *et al.* (2018), no campo da manutenção preventiva condicionada, os custos de manutenção e o critério de fiabilidade do sistema são as principais considerações para a tradicional gestão da manutenção.

De acordo com Sharma e Sharma (2012) as investigações sobre a influência da fiabilidade, disponibilidade e manutibilidade na engenharia de sistemas aumentou substancialmente nos anos mais recentes devido ao aumento dos custos de manutenção e de operação. Martorell *et al.* (2004) refere que quando se tem uma quantidade enorme de recursos é necessário considerar os custos desses recursos para alcançar melhores resultados na abordagem RAMS. Refere ainda que na literatura pode-se encontrar muitos exemplos de otimização de segurança e de produção de instalações industriais, que nos processos de tomada de decisão consideram o RAMS como um todo ou parcialmente e os custos.

A otimização das atividades de manutenção, através principalmente da inclusão de mais recursos tecnológicos, no sentido de melhorar os indicadores da abordagem RAMS, resulta no aumento dos custos relacionados diretamente com o esforço da função manutenção na melhoria dos parâmetros e indicadores da fiabilidade, disponibilidade, manutibilidade e segurança.

Martorell *et al.* (2005) apresenta o campo da segurança como exemplo e refere que os investigadores nesta área lidam normalmente com problemas no âmbito do *Multiple Criteria Decision Making* com a finalidade de procurar os melhores níveis de fiabilidade, testes e segurança, mas que equilibre os parâmetros de RAMS e os custos. Torres-Echeverria (2009) adianta que Martorell *et al.* adicionaram o importante fator custo quando analisaram estes sistemas tornando RAMS+C.

Para Pinto (2002), o crescimento da participação relativa da função manutenção no valor da produção das empresas, determinou um maior empenhamento na gestão empresarial, o que resultou num apreciável desenvolvimento da gestão, políticas e técnicas de manutenção, com o objetivo de reduzir os seus custos valorizando assim a sua participação no valor da produção, e classifica os custos de manutenção em:

- Custos diretos, que são os custos do funcionamento da manutenção relativos a mão de obra, materiais consumidos e serviços como por exemplo subcontratação;
- Custos indiretos, que são originados pelas perdas de produção imputáveis à manutenção, quer paragens por avaria quer por outras intervenções;
- Custos de posse de peças de reposição, que corresponde aos custos da existência em armazém de todos os materiais e peças que sejam consumidos pela manutenção.

A necessidade de um melhor controlo dos custos tem resultado numa averiguação mais eficiente das suas proveniências de modo a estabelecer-se um endereçamento mais particular em várias e diferenciadas rúbricas caracterizando assim melhor o custo da função manutenção. Torres-Echeverria, Martorell e Thompson (2009) apresentam várias rúbricas de registo de custos da manutenção:

- Custo de adjudicações;
- Custos de operações;
- Custos de risco;
- Custos de projeto;
- Custo de aquisições/compras;
- Custo de instalação e comissionamento;
- Custos de manutenção preventiva;
- Custos de manutenção corretiva;
- Custos de *shutdown*;
- Custos de acidentes;
- Custos de perdas de produção.

5.5 Alternativas do AHP

5.5.1 Planeamento e Operação do Equipamento

O planeamento e a operação são as duas vertentes da função produção que mais diretamente afetam o equipamento. A sua importância e influência quer no processo produtivo, quer no desempenho do equipamento, apesar de ser relativa, deve ser

caracterizada por um conjunto de boas práticas que contribuam para a conservação das funcionalidades dos equipamentos. Na sua relação com o equipamento, boas práticas devem ser seguidas, das quais se destacam:

- Respeitar os passos indicados na fase de arranque ou ao desligar subsistemas ou o equipamento. Se existir uma ordem cronológica de instruções quando se comuta o modo de funcionamento do equipamento da função manual para a função automático, essa ordem deve ser respeitada. Não alterar a sequência das etapas e aguardar pelo tempo que uma ação leva a ficar completa para só depois passar para a ação seguinte. Por vezes a conflitualidade de instruções pode criar problemas de sequência em programas com pouca memória livre e ou com velocidades de processamento muito baixa;
- Respeitar e cumprir tempos necessários para o equipamento estar com todas as suas funcionalidades a 100%, nomeadamente temperatura nos parâmetros indicados e estável, pressão nos valores adequados e estável, e verificação de sinais de comprovação de ações realizadas;
- Salvar o equipamento respeitando as suas características e capacidades, nomeadamente capacidade de carga e velocidade. Não forçar funcionalidades com aplicações que não estejam enquadradas pelas características do equipamento;
- Todas as potenciais alterações no equipamento devem ser objeto de estudo por forma a não criar o risco de melhorando a flexibilidade ou a produtividade, através do aumento da capacidade de produzir uma maior variedade do produto, ou mesmo o produto com outras dimensões ou formatos, potenciar sobrecarga para o equipamento que não foi concebido para o novo tipo de aplicações;
- Utilizar o equipamento tendo sempre o pressuposto de considerar que se não está a corresponder a um comando o problema pode não estar no equipamento, mas na instrução que estamos a dar;
- Seguir as instruções e as boas práticas recomendadas pelo fabricante. Não é por insistir várias vezes no mesmo comando, ou empregar força excessiva em qualquer operação ou manobra de preparação do funcionamento do equipamento que, na eventualidade de se estar na presença de um problema, ele vai ser resolvido;
- Compreender e “sentir” o equipamento ajuda a melhorar a sua operação e como tirar o máximo rendimento.

5.5.2 Gestão de Peças de Reposição

Na literatura relativa à gestão da manutenção, a gestão de *stocks* (quantidade de artigos ou bens físicos armazenados para um determinado fim), é sempre tratada como um aspeto importante devido aos custos que lhe estão associados mas também devido aos danos que pode causar a uma empresa necessitar de uma peça para reparar um equipamento e não possuir essa peça no seu armazém. Mais grave é saber que o tempo de entrega dessa peça pode levar dias, semanas ou na pior das hipóteses meses.

Para Pinto (2002) a obtenção de uma boa disponibilidade operacional dos equipamentos depende em boa parte da existência de peças de reserva que possam ser aplicadas de imediato em caso de avaria, e classifica os artigos e equipamentos em *stock* em dois grupos:

- Peças de reserva estratégica que é constituído por peças e equipamentos com baixa taxa de utilização, mas que têm elevados prazos de entrega, e a sua não existência pode provocar paragens de produção prolongadas;
- Materiais e peças de consumo corrente, grupo caracterizado por artigos de utilização contínua e generalizada nas atividades normais de manutenção.

Na gestão de peças de reposição considera-se duas situações, o armazenamento de peças novas e o de peças reparáveis. Entende-se como reparável todo o componente ou equipamento que após uma falha pode ser reparado para repor o total desempenho da sua função. Para Machado e Ferreira (2010), componente, conjunto ou equipamento reparável, é aquele que é passível de alguma intervenção que tenha viabilidade técnica e económica.

A localização e o acesso à zona de armazenamento de peças de reposição são importantes dado que interferem diretamente com o tempo de transportar e disponibilizar o sobressalente na oficina de manutenção ou na linha de produção. O acesso é uma situação particular pelo facto de ser importante manter uma zona livre de circulação por forma a garantir a deslocação de componentes ou elementos de grande volume que se encontrem armazenados e podem ser requeridos para substituição em qualquer altura.

O local de armazenamento deve ter ambiente controlado. Parâmetros como a temperatura e a humidade devem ser monitorizados e mantidos nos valores normais. Componentes eletrónicos sensíveis além de estar em zona de temperatura e humidade controlados devem

estar em atmosfera isenta de pós e contaminantes sólidos. Componentes maquinados ou de metais ferrosos senão estiverem devidamente condicionados oxidam resultando em superfícies oxidadas.

Equipamentos e componentes elétricos ou eletrônicos quando estão em armazém necessitam de verificação e ações de manutenção por forma a garantir que se encontram nas condições ideais de desempenho quando são solicitados para substituição na produção. Os equipamentos que dispõem de alimentação auxiliar por baterias ou outro meio de energia ou equipamentos com grupos e baterias de condensadores, que necessitam de verificações nomeadamente medições e recargas para garantir a sua operacionalidade, devem estar devidamente identificados e localizados de modo a facilitar as ações de manutenção necessárias.

Outros equipamentos e componentes, nomeadamente componentes mecânicos como válvulas de segurança, hidráulicas ou pneumáticas, válvulas de purga, indicadores de pressão, manómetros ou outros, necessitam de certificações e calibrações para garantir o seu desempenho em termos de operacionalidade e segurança. Também todos os Equipamentos Sob Pressão (ESP) que devido à sua especificidade e dimensão se encontrem em armazém (como por exemplo acumuladores hidráulicos) devem estar licenciados de acordo com regulamentação e legislação em vigor.

Todos os *itens* devem estar identificados por um documento (ficha ou cartão) que contenha os dados mais importantes:

- Número de identificação do *item* (no sistema de gestão);
- Localização no armazém (divisória, estante, prateleira ou outros);
- Descrição do *item*;
- Função;
- Fabricante;
- Fornecedor;
- Modelo;
- Referência;
- Número de série;
- Data de aquisição;

- Número de “rotável” (se aplicável);
- Sistema/Subsistema onde o *item* é utilizado;
- Referência a desenho, esquema ou diagrama onde o *item* está representado.

Essencial para a identificação, consulta e no fundo para a própria gestão de peças de reposição é a uniformização de designações e termos utilizados. É importante que a linguagem usada pelo pessoal de manutenção seja a mesma que serviu para preencher quer a base de dados quer os documentos de identificação. Fundamental é também o rigor e correção das descrições dos códigos dos modelos e das referências dos itens. Todos os algarismos e letras são importantes assim como a ordem da sua sequência. Um componente que na sua referência tenha um algarismo errado resulta numa aquisição incorreta por parte do departamento de compras, e permanecendo errada a identificação (por troca ou omissão de caracteres), apenas quando esse componente for requisitado para substituir outro é que o erro será detetado pelo técnico quando o levantar em armazém, ou na montagem ou, em pior cenário, após a montagem se tal situação for possível, e verificar-se que a função desempenhada não corresponde à esperada.

Para Pinto (2002) a gestão corrente dos *stocks* rege-se fundamentalmente sobre os seguintes parâmetros:

- Nível de funcionamento, que define as quantidades máxima e mínima das quantidades necessárias em funcionamento normal;
- *Stock* de segurança, que se define como a quantidade de artigos adicional para fazer face a consumos imprevistos e prazos de entrega inesperados;
- Ciclo de encomenda, que é o intervalo de tempo que decorre entre as encomendas consecutivas;
- Prazo de entrega, que é o intervalo de tempo entre a encomenda, entenda-se o pedido feito pela manutenção, e a entrega do material por parte do fornecedor;
- Ponto de encomenda, que é o valor da quantidade em armazém que determina a emissão de nova encomenda.

O mesmo autor define a quantidade económica de encomenda como a quantidade por encomenda que torna mínimo o custo total do *stock* e tem a seguinte expressão matemática:

$$Qe = \sqrt{\frac{2 Cr N}{Ca}} \quad (5.12)$$

em que:

Cr – Custo unitário de requisição de encomenda;

N – Consumo anual (unidades);

Ca – Custo unitário de armazenagem.

Derivada da quantidade económica de encomenda, a periodicidade económica de encomenda (expressa em meses) é a seguinte:

$$P = 12 \sqrt{\frac{2 Cr}{Ca N}} \quad (5.13)$$

Outro parâmetro importante referido por Pinto (2002) é o ponto de encomenda que é definido pelo valor mínimo de quantidade em *stock* a partir do qual se desencadeia a encomenda, e tem expressão em unidades:

$$Pe = \frac{N}{12} (d + S) \quad (5.14)$$

em que:

N – Consumo anual;

d – Prazo de obtenção do artigo (meses) desde a encomenda até à entrega;

S – *Stock* de segurança (meses).

Independentemente de o controlo das peças de reposição estar dependente da área administrativa ou de finanças, o gestor da manutenção deve ter sempre como atributo da sua função a possibilidade de intervir na sua gestão, nomeadamente na decisão de estabelecer quantidades máximas e mínimas.

5.5.3 Planeamento da Manutenção

No contexto deste trabalho, Planeamento da Manutenção é entendida como uma atividade de avaliação e comparação entre meios e necessidades que elabora um programa de execução de um trabalho, considerando documentação (manuais do equipamento e histórico), apoio informático (programa informático da manutenção), e controlo de desempenho (análise de indicadores). A função do planeamento é programar, organizar e gerir as diferentes fases de uma intervenção da manutenção agilizando todos os recursos envolvidos por forma a cumprir o objetivo do trabalho no tempo e no modo planeado.

❖ Controlo de desempenho – Análise de indicadores.

Os indicadores permitem quantificar os processos acompanhando o seu desenvolvimento, tornando-se assim essenciais para a tomada de decisão e opção por novas estratégias de gestão. Para além de fornecer informação que fundamenta a seleção de um objetivo estratégico, auxiliando a identificar problemas nessa opção, proporciona uma leitura clara da situação em termos de resultados, permitindo uma comparação com as metas traçadas. De um modo geral os indicadores de manutenção devem ser empregues em processos globais e não em aspetos particulares.

Muitas organizações elegem poucos indicadores para aferir o desempenho da manutenção devido ao facto de muitos indicadores ser contraproducente em termos de informação. O facto de se possuir muita informação, para além de sobrecarregar o escrutínio, a análise e a sua avaliação por forma a contribuir positivamente para a gestão do desempenho, pode também criar alguma confusão. Mais informação é também sinónimo de mais tempo em recolha e tratamento de dados quer em campo quer através do *software* de gestão da manutenção.

O facto de uma organização dispor de muitos indicadores e mais informação não garante que ela esteja em melhores condições de aferir o seu desempenho que uma outra com

menos indicadores. Cabral (2006) refere que não se deve cair na tentação de querer trabalhar com muitos indicadores pois essa atitude poderá, em vez de auxiliar a perceber melhor o que se passa, desfocar a realidade porque terá de compreender a interação entre muitos parâmetros difíceis de relacionar entre si.

A norma NP EN 15341 (2009) estabelece um conjunto de indicadores bem definidos e uniformizados de forma a serem entendidos e utilizados de igual modo por todas as organizações. Os indicadores eleitos por uma empresa denominam-se Indicadores Chave de Desempenho (ICD) traduzido do inglês *Key Performance Indicators* (KPI). Normalmente estes indicadores são agrupados num painel de consulta e balanço, chamado de quadro de bordo, derivado do inglês *Balanced Score Card* (BSC), onde são analisados e relacionados entre si.

Os indicadores normalizados de manutenção podem ser agrupados da seguinte forma:

- Indicadores económicos;
- Indicadores técnicos;
- Indicadores organizacionais.

Contudo, os indicadores teóricos de manutenção mais utilizados são:

- Taxa de avarias. Representa o número de avarias por unidade de utilização (horas, quilómetros ou unidades de produção);

$$\text{Taxa de Avarias} = \frac{\text{Número de avarias}}{\text{Tempo total de funcionamento}} \quad (5.15)$$

- *Mean Time Between Failures* (MTBF). É o tempo médio de bom funcionamento e representa o tempo que decorre em média entre duas avarias consecutivas, considerando o final de uma e o início da outra. Num determinado equipamento exprime o tempo médio do seu bom funcionamento remetendo-nos assim para um parâmetro de fiabilidade do equipamento considerado, isto é, a sua aptidão para funcionar durante determinado período de tempo em boas condições;

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Tempos de bom funcionamento}}{\text{Número de avarias no período de tempo}} \quad (5.16)$$

- *Mean Time To Repair (MTTR)*. Representa o tempo médio de reparação, isto é, o tempo médio necessário para reparar uma avaria, tratando-se de um parâmetro de manutibilidade. Este conceito aplica-se nos dois seguintes tipos de tempos definidos pela norma NP EN 13306 (2007), Tempo de Manutenção Correctiva (TMC) e Tempo de Reparação (TR), e também ao período de intervenção;

$$MTTR = \frac{\text{Tempo total de reparações}}{\text{Número de avarias no período de tempo}} \quad (5.17)$$

- *Mean Waiting Time (MWT)*. Tempo médio de espera e que traduz a média dos tempos de espera de atendimento de pedidos de reparação de avarias num dado período;

$$MWT = \frac{\text{Tempo de espera no período de tempo}}{\text{Número de avarias no período de tempo}} \quad (5.18)$$

- *Disponibilidade*. Este indicador apresenta o período temporal em que determinado equipamento estará disponível para a operação.

$$\text{Disponibilidade} = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR + MWT)} \quad (5.19)$$

Estes indicadores teóricos, traduzidos por expressões matemáticas simples, são bastante utilizados pelas empresas porque refletem três conceitos muito importantes para a gestão da manutenção relativamente aos equipamentos que estão à sua responsabilidade, ou seja, estarem a funcionar o máximo de tempo possível nas melhores condições (Fiabilidade), que a sua reparação seja o menos demorada possível (Manutibilidade), e estarem sempre prontos para entrar em produção quando solicitados (Disponibilidade).

❖ Programa informático da manutenção

A informática na manutenção surgiu como resposta às exigências ditadas pela competitividade entre as empresas, obrigando estas a processos e métodos de gestão e organização interna mais eficazes. Segundo Siqueira (1996) no contexto da introdução de programas de Qualidade Total e na implementação das normas ISO9000 a partir de 1993, surgiu a necessidade de uma mudança comportamental relativa à manutenção. Para Pinto (2002) o aumento da capacidade de trabalho dos computadores assim como a sua redução física, juntamente com a baixa permanente dos custos dos sistemas informáticos permitiu um maior acesso a programas para aplicações empresariais.

Segundo Cabral (2006) um *software* de gestão da manutenção é, antes do mais, uma ferramenta para ajudar o gestor da manutenção a gerir melhor, e o património mais importante que se adquire com um sistema informatizado de gestão da manutenção não é o *software* em si mesmo mas a informação de manutenção que se acumula no sistema.

Os programas informáticos de gestão da manutenção, conhecidos por Gestão da Manutenção Assistida por Computador (GMAC) ou *Computerized Maintenance Management System* (CMMS) são atualmente bastante utilizados pelas empresas, desde modelos mais básicos até modelos mais sofisticados com funcionalidades que abrangem todas as vertentes da gestão da manutenção.

Os programas informáticos da manutenção fornecem planos de trabalho devidamente elaborados, com listagens e descrições de procedimentos, ferramentas e peças necessárias, agilizando assim todo o processo e minimizando o desperdício de tempo. São caracterizados também pela quantidade de informação acumulável e pela rapidez com que é possível analisar, avaliar e partilhar todos os dados inseridos no programa. As vantagens para a manutenção traduzem-se em:

- Partilha e difusão de informação técnica;
- Sistematização do acesso à informação;
- Disponibilidade imediata de relatórios, indicadores, procedimentos e informação técnica dos equipamentos;
- Inventário e existências de materiais e peças de reposição de acesso fácil.

Para Pinto (2002) um programa básico, de uma maneira geral, deve incluir as seguintes áreas da manutenção:

- Gestão de equipamentos;
- Materiais;
- Gestão e organização da manutenção preventiva;
- Análise de desempenho;
- Gestão da manutenção corretiva.

O uso de programas de informação na manutenção deve ser fruto de decisão ponderada e pensada devidamente pela organização. Para implementar o programa a manutenção deve estar devidamente organizada e todos os conceitos inerentes à função manutenção devem de estar bem apreendidos por toda a estrutura.

O programa funcionará assim como um complemento, uma ferramenta poderosa de auxílio, mas não terá o êxito pretendido se os pressupostos relativos à sua implementação e aplicação não forem cumpridos. As características do próprio programa influenciam também o seu desempenho.

Um programa com excesso de módulos, ou com informação organizada de modo deficiente, pode criar dispersão e banalização dos conteúdos sob consulta. Quando se pretende um dado específico muito importante este deve estar disponível de uma forma clara e de fácil acesso. Em muitas situações para se obter o máximo proveito é necessária formação muito completa e prática diária para dominar todas as funções do programa o que obriga a dedicação exclusiva em detrimento de trabalhos de campo da manutenção.

Outro aspeto importante é a sua utilização ser simples e intuitiva (*user friendly*) para facilitar a interação com o utilizador. Para cumprir com sucesso a sua função o programa tem de ser alimentado com dados. Se não se atualizar os dados relativos às existências e consumos de materiais, registar e completar as ordens de trabalho assim como intervenções corretivas, alterações e correções de procedimentos, o sistema não estará nas melhores condições para desempenhar o seu papel na gestão da manutenção.

❖ Documentação técnica

O manual técnico do equipamento, ou caderno técnico, é um conjunto de documentos de natureza técnica e normativa com todas as informações necessárias para a sua operação e

manutenção de forma correta e segura, dispostos e organizados de forma a facultar consulta acessível a todos os seus utilizadores.

Para Santos, Gonçalves e Gonçalves (2018) a falta de informação será um fator fundamental para a qualidade da prestação de serviços, por outro lado, a informação organizada num caderno ou dossier, quer em formato digital quer em papel, será o primeiro passo para uma boa prestação de serviço da manutenção. Destaca também que a negligência da mesma será um fator para o aumento dos custos de manutenção, dos tempos de intervenção, da diminuição da taxa de disponibilidade e aumento de avarias.

De acordo com Pinto (2002), o manual técnico do equipamento para além de permitir conhecer em pormenor todos os dados técnicos que possibilitarão a elaboração dos planos de manutenção, constitui ainda um importante meio de apoio a ações de formação do pessoal. Refere também o mesmo autor que deve ser utilizado para fazer o registo de todos os acontecimentos do equipamento devendo por isso ser constantemente atualizado.

Deve integrar este documento os aspetos mais importantes relativos ao equipamento como a especificação, peças de reserva, instruções de operação, instruções de manutenção, lista de fornecedores, e desenhos e esquemas dos diferentes circuitos de natureza elétrica ou mecânica.

Pinto (2002) apresenta a proposta de um manual técnico nos seguintes capítulos:

- 1 – Características gerais. (Deve conter todos os dados técnicos e de identificação, características de funcionamento e especificações como velocidades, forças, pressões, temperaturas.);
- 2 – Peças de reserva. (Deve permitir a listagem e identificação de todas as peças de reserva e sua localização no equipamento.);
- 3 – Documentação e correspondência. (Deverá se manter em arquivo toda a correspondência entre a empresa e o fornecedor do equipamento, como caderno de encargos, alterações ao projeto inicial, propostas de *retrofit*, componentes que se deixaram de fabricar assim como outras informações que se considerem úteis.);
- 4 – Registo de intervenções. (Será o histórico do equipamento com o registo das intervenções da manutenção, de relatórios de trabalhos e avarias, de alterações efetuadas, ordens de trabalho, intervenções de manutenção preventiva como medição de vibrações e termografia ou outras.);

5 – Execução de intervenções e rotinas específicas de manutenção. (Registo e consulta de instruções de trabalho, procedimentos de trabalhos específicos e da execução dos planos de manutenção preventiva e corretiva com informações detalhadas de ferramentas, peças, folgas e tolerâncias.);

6 – Desenhos, Croquis e Fotos. (Desenhos gerais e em pormenor de subsistemas e órgãos principais, esquemas elétricos, hidráulicos, pneumáticos e de lubrificação, fotos de montagem ou desmontagem de subsistema ou órgãos.);

7 – Manuais e Catálogos. (Manuais de operação, manutenção e lubrificação, catálogo técnicos de motores, bombas, aparelhagem elétrica e eletrónica, e outros, e respetivos fornecedores.).

A documentação é, pois, a base para o conhecimento do equipamento. A partir dela desenvolve-se todo um conjunto de dados que vai definir os planos de manutenção preventiva do equipamento, e possibilitar tirar o melhor rendimento do seu funcionamento. A documentação deve ser um elemento vivo e presente no funcionamento normal e diário da manutenção, pelo que deve estar atualizada em relação a todas as alterações de equipamento, aprovadas e acompanhadas pela engenharia de manutenção, em termos de esquemas, desenhos e listas de peças, assim como em relação à incorporação de novos componentes em substituição de outros obsoletos ou descontinuados.

Importante é também estar disponível, senão a totalidade, as partes mais importantes para as atividades da manutenção como esquemas, desenhos, manual de manutenção, identificação e quantidades existentes de peças de reposição, procedimentos técnicos e de segurança, instruções de trabalho, registo histórico de intervenções e relatórios, em formato digital no programa de gestão da manutenção com acesso para todos os técnicos.

5.5.4 Formação

A formação é hoje entendida como uma componente estratégica das empresas para criarem mais valor de forma a alcançarem os seus objetivos. Segundo Caetano (2007) a formação surge como uma estratégia eficaz para as organizações fazerem face à competitividade uma vez que permite a atualização e o desenvolvimento de competências por parte dos trabalhadores.

Dias (2003) cita um estudo efetuado pelo Departamento de Educação dos Estados Unidos da América sobre o impacto da formação sobre produtividade que chegou às seguintes conclusões:

- Aumentando 10% a formação individual, a produtividade aumenta 8,6%;
- Aumentando o número de horas de trabalho individual na mesma percentagem, isto é, 10%, a produtividade aumenta 6,0%, menos 2,6% que na situação de aumento da formação.

Vale (2015) refere um relatório internacional da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE) que enfatiza o papel crescentemente central das competências, definindo-as como força motriz fundamental para o sucesso económico.

A importância da formação é demonstrada pela ligação direta que é estabelecida entre o sucesso da gestão e a existência de técnicos com competências adequadas para a execução dos serviços da manutenção. Kardec e Nascif (2001) reforçam tal entendimento ao afirmar que um processo não pode atingir bons resultados se não tiver pessoas qualificadas, certificadas e motivadas.

Para Pinho (2017) citando Suzuki, só através de uma aprendizagem contínua é possível que os funcionários estejam estreitamente ligados ao seu equipamento de forma a cuidar dele de acordo com todos os requisitos necessários. Cabral (2006) afirma que a formação é parte indissociável da operação e manutenção dos equipamentos.

Xavier (2005) afirma que a evolução do conhecimento em manutenção é considerada estratégica para as empresas, devendo garantir a disponibilidade dos equipamentos e de sistemas produtivos com fiabilidade, segurança, e dentro de custos adequados.

Pinto (2002) diz que a formação em manutenção é muito importante porque a atividade tem uma componente muito forte de técnica e qualidade de execução que depende essencialmente do fator humano. Refere o mesmo autor que a formação numa empresa deve ter as seguintes finalidades:

- Proporcionar a plena integração dos trabalhadores na empresa;
- Melhorar os níveis de desempenho através do aumento de conhecimento em áreas técnicas e de gestão;
- Melhorar os comportamentos e atitudes, através da formação na área comportamental;

- Dar conhecimentos técnicos para aumentar o potencial do trabalhador de forma a poder assumir funções de maior responsabilidade.

A formação permite gerar valor tanto a nível individual como organizacional, razão pela qual não pode ser vista como um objetivo, uma meta, ou mais um desígnio da empresa que foi cumprido, mas como um processo vivo, contínuo, em constante desenvolvimento para colmatar todas as lacunas que vão surgindo na área do conhecimento (relacionado com a apreensão e compreensão dos conceitos), na área das capacidades (saber aplicar todos os conhecimentos adquiridos) e na área das atitudes (atitudes e comportamentos na organização).

Um plano de formação deverá ser estruturado de acordo com as necessidades da organização em termos da sua área de negócios e com as exigências que as diversas funções requerem aos funcionários. A par da formação técnica é também importante formação na área comportamental e na vertente da segurança, nomeadamente riscos, normas e procedimentos de segurança a seguir.

Um tipo de formação muito importante na indústria é a *On the Job Training* (OJT), também designado na gíria da área técnica como *Training on Job*, que é um método prático e interativo de transmitir conhecimentos. É uma forma de formação no local de trabalho, que se caracteriza pelo facto de proporcionar aos formandos o contato direto com as técnicas, ferramentas, equipamentos, e o meio ambiente onde vão desempenhar a sua futura função.

É uma componente muito considerável dado que os formandos vão para o campo para estar em contacto com a envolvente e o real contexto onde vão enfrentar as dificuldades e os desafios inerentes à aplicação das práticas e dos conhecimentos adquiridos. Os formandos são acompanhados por um orientador que pode ser um formador interno ou um técnico da empresa, cuja função é supervisionar e orientar a formação, mas também transmitir conhecimentos e experiência assim como procedimentos em vigor na empresa relativos à função que os formandos vão desempenhar.

5.5.5 Tipos de Manutenção e sua Interface com a Produção

São várias, mas não muito variadas, as definições de manutenção. A norma francesa AFNOR (NF X 60-010) (1984) especifica manutenção como sendo o conjunto de ações

que permitem manter ou restabelecer um bem, num estado especificado, ou com possibilidade de assegurar um serviço determinado.

Por sua vez a norma brasileira ABNT (NBR 5462) (1994) define manutenção como a combinação de ações técnicas, administrativas e de supervisão, com o objetivo de manter ou recolocar um *item* em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida, ou seja, fazer o que for preciso para assegurar que um equipamento ou máquina opere dentro das condições mínimas de requerimentos e especificações.

De acordo com a norma portuguesa NP EN 13306 (2007) manutenção é a combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão, durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou a repô-lo num estado em que possa desempenhar a função requerida. A norma portuguesa estabelece e define os seguintes tipos de manutenção:

- ❖ Manutenção Corretiva, que se define como a manutenção efetuada depois da deteção de uma avaria, e destinada a repor o bem.

A manutenção corretiva pode ser imediata ou diferida. Após a avaria surgir, se na intervenção da manutenção a reparação ficar completa com a reposição das condições para o bem continuar a desempenhar as suas funções, diz-se imediata, se a intervenção da manutenção apenas criar condições para o bem continuar a funcionar até uma oportunidade para se resolver definitivamente, diz-se diferida. Também podem ser designadas de corretiva curativa e corretiva paliativa respetivamente.

Para Ferreira (1998) a manutenção curativa, como método único de manutenção é, tradicionalmente, a mais utilizada na grande maioria das empresas. O seu conceito baseia-se na reação ao problema, ou seja, somente após o problema ocorrer é que se vai analisar, planejar e resolver. A sua utilização assenta em três pontos:

- Quando os custos indiretos das avarias são pequenos;
- Quando não existem problemas de segurança;
- Quando as avarias não afetam a produção de forma crítica.

- ❖ Manutenção Preventiva, que se define como a manutenção que é efetuada em intervalos de tempo pré-determinados, ou de acordo com critérios prescritos, com a

finalidade de reduzir a probabilidade de avaria ou de degradação do funcionamento de um bem.

A manutenção preventiva sistemática é a manutenção preventiva que é realizada a intervalos de tempo pré-estabelecidos ou segundo um número definido de unidade de utilização, mas sem controlo prévio do estado do bem. Manutenção preventiva condicionada é manutenção preventiva baseada na vigilância do funcionamento do bem e/ou dos parâmetros significativos desse funcionamento, integrando as ações daí decorrentes.

A manutenção preventiva apresenta duas funções fundamentais, antecipar o acontecimento da avaria, e minimizar os fatores que contribuem para a sua existência, o que, no fundo, é o que a distingue da manutenção corretiva. A manutenção preventiva condicionada, também denominada de preditiva, baseia-se no princípio de a manutenção poder ter a capacidade de decidir qual a melhor oportunidade para intervir no equipamento uma vez que tem conhecimento do seu estado real e da evolução de todas as falhas potenciais que sejam descortinadas pelos métodos e ferramentas da manutenção condicionada como análises de vibrações, termografia, análise de óleos, ultrassons ou outras.

A vigilância e acompanhamento do equipamento se for executada segundo um calendário, diz-se manutenção condicionada programada, quando é efetuada por solicitação da produção ou de outros, é denominada de condicionada a pedido, e por último se essa vigilância for feita de uma forma constante e ininterrupta chama-se condicionada contínua.

O acompanhamento do equipamento proporciona saber o grau de degradação de um órgão ou componente, concedendo assim tempo à manutenção para preparar a intervenção necessária, planeando com a produção se necessário a melhor oportunidade, para repor as condições do bem ou substituir.

Segundo Cabral (2006) a designação de manutenção condicionada surgiu para designar uma nova abordagem à manutenção preventiva, baseada no conhecimento do estado real do equipamento a partir da implementação de um sistema de controlo de condição.

A manutenção preventiva sistemática, ao contrário da condicionada, não necessita de saber a condição do equipamento. As intervenções de manutenção são efetuadas em momentos definidos por unidade de tempo ou outra grandeza e de acordo com um plano previamente estabelecido.

Os momentos de paragem são normalmente definidos seguindo as recomendações do fabricante, por experiência do pessoal da manutenção, por estudo de dados estatísticos, ou por conhecimento de situações ou equipamentos análogos em que determinado componente ou órgão, em períodos cíclicos, deixa de ter condições para desempenhar a sua função.

Para qualquer tipo ou mesmo estratégia de manutenção adotada, um dos aspetos mais importantes é a ligação entre a função manutenção e a função produção. Este relacionamento que necessariamente tem de existir é fundamental para que a função manutenção consiga desenvolver todas as suas atividades com sucesso e para a função produção retirar o máximo proveito dos equipamentos.

Pinto (2002) reconhece essa ligação e denomina-a Interface Produção/Manutenção, definindo-a como a área de gestão onde as funções produção e manutenção têm interesses sobrepostos e interligados. Refere também que o sucesso em alcançar os objetivos empresariais depende em grande medida do funcionamento e boa articulação das relações estabelecidas entre as duas funções nesta interface. Para o mesmo autor uma das evidências dessa interface é a construção conjunta do plano de produção.

Neste sentido seria proposto estabelecer um acordo permitindo que a produção elaborasse um plano considerando as paragens previstas para intervenções da manutenção e estabelecendo objetivos de disponibilidade operacional aceite por ambas as funções.

Viana (2013) refere que Wireman, na sua proposta de pirâmide da manutenção aborda o tema através do fator chamado “Envolvimento da Produção”, procurando um cenário onde todos estão comprometidos sistematicamente na melhoria da fiabilidade dos ativos e na sua melhor utilização para atingir os objetivos das organizações produtivas.

Uma boa interface entre manutenção e produção com um entrosamento efetivo entre os departamentos fomentaria a possibilidade de tarefas mais simples, mas importantes, fossem realizadas pelos operadores, como por exemplo, limpezas, inspeções e pequenos ajustes no equipamento. Com estes trabalhos os operadores ficariam mais sensibilizados com o estado do seu equipamento, comunicando à manutenção qualquer sintoma ou alteração que verificassem no equipamento e que suscitasse eventual anomalia.

Seria necessário que os operadores ganhassem consciência da sua importância como primeira barreira para reconhecer e filtrar os sinais do equipamento. Importante seria também os operadores terem conhecimento do retorno e das ações que se desenvolveram

após as suas informações, para reforçar os laços de confiança e criar mais motivação nos operadores.

Outro aspeto de uma boa interface seria a sintonia entre os planeamentos por forma a que as paragens dos equipamentos por parte da produção pudessem ser aproveitadas pela manutenção para efetuar intervenções. Um equipamento parado por problemas de logística, falta de matéria prima ou de pessoal, tem de ser, o mais antecipadamente possível, do conhecimento da manutenção. E quanto mais carregado estiver o equipamento em termos de horas e cargas de funcionamento mais importante se torna a sua manutenção, aproveitando todas as oportunidades para intervir.

Segundo Xavier (2005), a parceria operação e manutenção é fundamental para alcançar a excelência. Essa parceria pode ocorrer através da formação de equipas em áreas específicas que podem ser utilizadas para análise conjunta de falhas, problema crónicos, desempenho dos equipamentos, planeamento de serviços e até mesmo na programação diária da produção.

No entanto Dias (2003), cita Idhammar, referindo que é mais comum do que se pensa existirem problemas de relacionamento entre a operação e a manutenção, problemas esses que constituem um contratempo para o processo produtivo da empresa. Refere ainda que ambos os departamentos têm objetivos comuns, e mais que apontar responsáveis pelas perdas de produção, é necessário resolver os problemas.

O forte enraizamento do conceito de cliente fornecedor que em certas situações e em diferentes contextos degenera em distorções da sua aplicabilidade, precipitando atitudes e decisões mais emocionais que racionais, em nada beneficia o relacionamento entre os operacionais das duas funções. O conceito cliente fornecedor é muito importante para contextualizar objetivos e racionalizar o exercício da gestão e o controlo dos custos, mas os departamentos não podem ser herméticos por quanto partilham um objetivo único comum.

5.5.6 Envelhecimento

O envelhecimento de bens físicos tem sido um tema que tem ganho bastante atenção nos últimos anos. O tema *Ageing* tem sido estudado devido à sua abrangência em todas as áreas industriais e às suas graves consequências. Segundo Milazzo *et al.* (2018) o envelhecimento dos equipamentos e das instalações nos processos industriais tornou-se um

assunto bastante relevante nos anos recentes, e refere que envelhecimento não é relativo à idade do equipamento, mas à sua condição e aos fatores que influenciam o início, desenvolvimento, e a mitigação do seu processo de degradação.

Para Horrocks *et al.* (2010) envelhecimento não é sobre a idade do equipamento mas sobre o que se sabe das suas condições e como elas vão-se alterando ao longo do tempo, e que equipamento envelhecido é aquele para o qual há provas, ou existe a probabilidade de deterioração e danos significativos que tenham acontecido desde que é novo, ou para o qual a informação e conhecimento que existe é insuficiente para saber em que medida essa possibilidade existe. Refere também que o significado de deterioração e de danos está relacionado com o potencial efeito na funcionalidade, disponibilidade, fiabilidade e segurança do equipamento. Se um *item* for considerado velho, não significa necessariamente que ele esteja com deterioração e danos consideráveis.

De acordo com Bragatto e Milazzo (2016) o envelhecimento de um equipamento revela-se de alguma forma na sua deterioração e nos danos que apresenta, normalmente associado ao tempo de funcionamento, e provoca uma probabilidade crescente de falha ao longo do tempo.

Do ponto de vista de uma análise estatística pode-se concluir que o envelhecimento está associado ao crescimento gradual da taxa de falhas, provocando assim, consequentemente, uma menor fiabilidade dos equipamentos.

Para Hokstad, Johnsen e Habrekke (2008), de acordo com *European Safety Reliability and Data Association* (ESReDA), o conceito de envelhecimento tem duas perceções:

- Um primeiro conceito orientado para a parte física, que corresponde ao lento, mas contínuo processo de degradação das propriedades e das funções do equipamento;
- Um segundo conceito orientado para a fiabilidade que implica o acontecimento de uma falha com perda de função, ou o funcionamento da unidade, mas com possível degradação.

Os mesmos autores apresentam os fatores de risco que podem potenciar o envelhecimento, nomeadamente a qualidade do projeto e dos materiais, reparações e alterações, e ambientes agressivos ou corrosivos. As condições operacionais de funcionamento também são um fator de risco dado que contribuem para o envelhecimento afetando as propriedades dos materiais ou as capacidades funcionais, como por exemplo:

- Variações cíclicas de temperatura, que provocam fadiga resultando nas falhas mais evidentes que são quebra, colapso ou deformação;
- Pressões, que provocam fluência resultando em quebras e colapsos;
- Alterações em taxas de fluxo, que degeneram em erosão e desgaste o que provoca diminuição de espessuras e bloqueios.

Ainda de acordo com os mesmos autores, a gestão do envelhecimento divide-se em três ramos:

- Degradação do material, que está relacionado com propriedades dos materiais, condições operacionais, condições ambientais e atividades da manutenção;
- Obsolescência, que tem a ver com modificações no projeto devido a novas tecnologias, e gestão de peças de reposição;
- Assuntos organizacionais, relacionado com envelhecimento do pessoal e a transferência de conhecimento, e a revisão de documentação.

Milazzo *et al.* (2018), refere que é importante a diferenciação entre a degradação do material, devido aos mecanismos de deterioração (corrosão, erosão, fadiga), o que compromete as características fundamentais do sistema, e a obsolescência, que se refere às alterações em contexto operacional (mudanças técnicas, aspetos económicos, regulamentação e normas) o que torna o sistema de certa forma inaceitável, mas mesmo assim, em boas condições de funcionamento. A vertente do envelhecimento organizacional tem a ver com a incapacidade da organização em se manter atualizada acompanhando a evolução ao longo do tempo.

Horrocks *et al.* (2010) apresenta alguns mecanismos de envelhecimento (degradação):

- Corrosão – Degradação física de um material devido a reações químicas;
- Fragilização por corrosão sob tensão – Falha súbita normalmente de metais dúcteis sujeitos ao stress por tensão em ambientes corrosivos, especialmente a elevadas temperaturas no caso de metais;
- Erosão – Remoção da superfície de um material por abrasão;
- Fadiga – Rutura progressiva de materiais sujeitos a ciclos repetidos de carga;
- Danos físicos;
- Expansão/Contração devido à variação da temperatura.

Monteiro (2018) refere uma investigação da Marinha Americana que demonstra que 18% das falhas dos equipamentos resultam do seu envelhecimento.

O equipamento, assim como tudo o que a ele está associado, pode sofrer processo de envelhecimento independentemente da natureza do equipamento e dos seus componentes. Um exemplo de envelhecimento em equipamentos elétricos está na ocorrência de alterações irreversíveis no isolamento dos materiais (condutores, componentes, sistemas) o que afeta a sua operação. Em órgãos mecânicos um mecanismo de envelhecimento comum é por exemplo a corrosão por cavitação que é uma forma de dano mecânico provocado pela descarga de energia das bolhas de cavitação nas superfícies metálicas da bomba e das condutas.

5.5.7 Fiabilidade Humana

Fiabilidade humana é a disciplina que estuda e enquadra o fator humano em contexto de trabalho por forma a determinar a probabilidade que o erro humano tem de acontecer.

Para Pallerosi (2008) a fiabilidade humana é a probabilidade de que uma pessoa não falhe no decurso de uma atividade requerida e exigida, num determinado período de tempo, nas condições adequadas e com os recursos disponíveis para a executar.

As falhas humanas podem-se classificar em erros e transgressões. Os erros subdividem-se em deslizes e enganar.

Os deslizes acontecem quando o executante da produção ou da manutenção, mesmo com experiência na função desempenhada, sofre influência de certos fatores que determinam a qualidade do seu desempenho. Esses fatores são o cansaço (fadiga), o *stress*, a senilidade mental (natural e constante perda da capacidade cognitiva que acontece com o envelhecimento), e a inaptidão física ou mental (incapacidade devido a atributos físicos ou mentais do executante para prestar determinada função).

Os enganar por sua vez ocorrem quando não são seguidos procedimentos, regras ou normas estabelecidas para a função a desempenhar. As transgressões, que se dividem em intencionais e não intencionais estão relacionadas com a vertente comportamental. As não intencionais, tal como a definição sugere, ocorrem sem a intenção dos executantes que as praticam maioritariamente por desconhecimento, enquanto que as intencionais já acontecem com a perfeita consciência de quem as pratica.

Outra classificação utilizada para as falhas humanas considera erros ativos, erros latentes e violações. Erros ativos são aqueles onde o efeito manifesta-se de imediato, ou quase de imediato. Erros latentes são aqueles em que decorre um determinado tempo entre a sua execução e a demonstração dos seus efeitos. E violação é um desvio de um procedimento operacional, regulamento, padrão ou norma de segurança.

De acordo com esta classificação, Seixas (2011) apresenta exemplos de erros (falhas humanas) que estiveram na origem de vários acidentes nucleares, ferroviários, marítimos, químicos e aeronáuticos. Refere também dois estudos efetuados em centrais nucleares na década de 70 e 80, em que se verificou que 42% e 52% respetivamente, das ocorrências que provocaram paragens nas centrais foram originadas por problemas de desempenho humano.

Existem aspetos do comportamento humano que de certa forma potenciam o erro:

- Enquanto estão a desenvolver as suas atividades profissionais as pessoas normalmente estão a pensar noutros assuntos;
- As pessoas facilmente ficam confusas com coisas desconhecidas;
- As pessoas geralmente são impacientes no que diz respeito ao tempo necessário de espera de qualquer ação e ao tempo para cumprimento de precauções;
- Após a execução de uma tarefa com procedimento, as pessoas não verificam se fizeram o trabalho bem feito;
- As pessoas ao longo do tempo tornam-se complacentes e menos cuidadosas com situações de perigo que foram resolvidas na altura;
- Geralmente, as pessoas reagem irracionalmente em situações críticas ou de emergência;
- As pessoas têm uma tendência exagerada para utilizar as mãos em análises e testes;
- As pessoas na maioria dos casos são relutantes em assumir os seus erros;
- Com o passar dos anos, as pessoas vão perdendo os cuidados na utilização de máquinas e ferramentas;
- As pessoas normalmente sobrestimam as distâncias curtas e subestimam as distâncias longas;

- As pessoas esperam que certos movimentos apreendidos resultem em ações previstas, como por exemplo o movimento do interruptor para cima ligar a energia;
- As pessoas habituaram-se a associar determinadas cores a diferentes significados;
- As pessoas não leem corretamente ou com a devida atenção as instruções e os rótulos.

Para além desta propensão do comportamento humano para o erro, existem fatores ambientais que afetam as pessoas nas suas atividades: fatores ambientais ligados à envolvente do local, como ruído, temperatura, vibração, vento, humidade, poeira, ou gases; e outros fatores mais relacionados com as condições em que se realiza o trabalho, como iluminação, ventilação, tempo de atividade, área de trabalho, ou a hora de execução do trabalho.

Uma das áreas onde mais se tem investigado sobre a falha humana é em centrais nucleares. Dhillon (2006) refere um estudo onde foram analisados 23 defeitos de produção ocorridos em centrais nucleares e que concluiu que 82% dos defeitos foram causados por falha humana. O mesmo autor estabelece categorias para o erro humano:

- Erros de Operação – Erros cometidos pelos operadores causados pela influência do meio ambiente, por tarefas muito complexas, por falta de procedimentos adequados, por negligência do próprio operador, e também devido a processo de seleção de pessoal deficiente e má formação;
- Erros de Manutenção – Erros que acontecem no campo devido a omissão e negligência dos técnicos de manutenção, como por exemplo, reparação incorreta de um componente, má calibração de um equipamento ou aplicação do lubrificante errado;
- Erros de Montagem – Erros que acontecem durante a montagem de um produto causados por iluminação deficiente, diagramas ou planos de montagem errados, disposições erradas no local de trabalho, falta ou fraca comunicação;
- Erros de Instalação – Falha ao instalar equipamentos devido às especificações do fabricante e instruções de instalação erradas, ou desenhos, esquemas ou diagramas errados;
- Erros de Projeto – Projeto inadequado devido a não assegurar a melhor interação entre homem e máquina por forma a garantir um bom desempenho, não considerar

as necessidades das pessoas assim como atribuir aos operadores funções inapropriadas;

- Erros de Inspeção – Falhas relativas à falta de rigor e precisão do pessoal da inspeção, aceitando componentes fora de tolerância e rejeitando componentes dentro dos limites de tolerância;
- Erros de Manipulação – Erros causados por transporte e armazenamento impróprios ou inadequados.

Segundo Seixas (2011) a falha humana é uma preocupação constante na área da manutenção. Erros podem acontecer durante as intervenções da manutenção e o resultado a curto, médio ou longo prazo podem ser falhas cujas consequência podem ser bastante graves.

A moderna tecnologia chegou a patamares onde o reforço da segurança tem de ser alcançado através do estudo e melhor compreensão dos mecanismos do erro humano. Apesar do avanço de tecnologias como a automação e a informática, ainda é necessário o envolvimento humano na operação e manutenção dos sistemas e equipamentos, pelo que as falhas humanas são passíveis de acontecer.

De acordo com Dhillon (1999) os erros humanos, em especial nas atividades da manutenção, acontecem devido a:

- Falta de motivação das equipas;
- Formação deficiente ou falta de aptidão do pessoal;
- Conceção dos equipamentos que torna difícil a manutenção;
- Inadequados, ou de baixa qualidade, procedimentos de manutenção e de operação dos equipamentos;
- Condições de trabalho difíceis, como iluminação insuficiente, temperatura ambiente muito alta ou muito baixa, espaço de trabalho exíguo, ou nível elevado de ruído;
- Ferramentas inadequadas;
- Tarefas de execução demasiado complexas;
- Disposição inadequada dos equipamentos e das instalações.

O bom desempenho dos equipamentos é conseguido quando estes são operados e mantidos de maneira apropriada, respeitando normas e pré-requisitos, procedimentos e planos de trabalho que cumpram as recomendações e indicações do fabricante, e as boas práticas de operação e manutenção.

A fiabilidade (MTBF) e a manutibilidade (MTTR) podem ser afetadas devido aos erros que possam acontecer durante as atividades da produção e da manutenção, assim como as subsequentes repercussões em termos de segurança e de custos.

Na *Human Reliability Analysis* (HRA), Análise da Fiabilidade Humana, cujo objetivo é identificar as causas dos erros humanos e fornecer uma estimativa numérica da probabilidade de tais erros acontecerem, são utilizados os *Performance Shaping Factors* (PSF) que são aspetos relacionados com o comportamento humano e do respetivo contexto, que podem afetar o desempenho humano. No passado os PSF estavam apenas conotados com os efeitos que podiam exercer sobre o desempenho humano. Presentemente existe uma grande ênfase para investigar e descrever de que forma os PSF podem também melhorar o desempenho humano. Os principais PSF são:

- Formação e Experiência – Este fator é relativo ao grau de experiência e ao nível de formação que os intervenientes envolvidos numa determinada tarefa têm. Considera os anos de experiência individual ou da equipa e se os intervenientes foram ou não treinados para aquela situação, o tempo decorrido desde a formação, e os sistemas envolvidos assim como a envolvente;
- Procedimentos e Controlos Administrativos – Refere-se à existência e uso de procedimentos de operação e outros procedimentos administrativos formais para as tarefas consideradas;
- Ergonomia e *Human-Machine Interface* (HMI) – A ergonomia está relacionada com aspetos do equipamento como painéis de comando, monitores e controlos, disposições e configurações, qualidade da informação facultada pela instrumentação, e a interação entre operadores e o equipamento por forma a cumprir a tarefa. A parte da *Human-Machine Interface* contempla a acessibilidade e a funcionalidade, e inclui também o aspeto de o programa informático ser ou não o mais adequado;
- Tempo disponível – É relativo ao tempo que o operador ou equipa têm para diagnosticar e agir perante uma situação anormal. A falta de tempo pode afetar a

capacidade dos operadores de pensarem de forma esclarecida e racional para encontrar alternativas;

- Complexidade – Este PSF refere-se à dificuldade que a tarefa apresenta para ser cumprida no respetivo contexto. Quanto mais difícil e complexa for uma tarefa maior a probabilidade de ocorrer os erros humanos. Geralmente uma tarefa com um nível de complexidade elevado exige uma grande competência e entendimento para ser realizada com sucesso;
- Carga de Trabalho e *Stress* – O *stress* (considerando o nível de excitação) tem sido amplamente definido e utilizado para descrever as razões positivas, assim como negativas, de motivação para o desempenho humano. *Stress* inclui o desgaste mental, carga de trabalho excessiva, pressão do tempo;
- Ambiente – Este PSF refere-se às condições de trabalho e fatores ambientais como ruído, temperatura, vibração e outros;
- Aptidão para o Trabalho – Está relacionado com a aptidão física e mental que um indivíduo possa ter ou não para desempenhar uma tarefa num determinado tempo. Fatores que podem afetar a aptidão incluem a fadiga, doença, uso de drogas (legal ou ilegal), excesso de confiança, problemas pessoais e distrações;
- Processos de Trabalho – Refere-se aos aspetos da execução do trabalho, como dinâmica da equipa, disponibilidade do pessoal, impacto da relação entre vários níveis da organização, cultura de segurança, planeamento dos trabalhos, comunicação, políticas de gestão e apoio do planeamento.

5.5.8 Gestão dos Recursos da Manutenção

A gestão dos recursos é fundamental numa organização. Neste tópico referem-se os recursos humanos e os recursos materiais (ou recursos de apoio), utilizados na função manutenção.

❖ Recursos humanos da manutenção

As pessoas são a essência das organizações e o seu envolvimento é fundamental para que estas atinjam os seus objetivos. Segundo Xavier (2005), para que a empresa atinja a

excelência é necessária a melhoria em todas as áreas, e isso só será obtido pelo envolvimento e colaboração de toda a equipa. Canuto (2009) refere que a componente humana é essencial e constitui o recurso mais valioso de uma empresa.

Pinto (2002) refere que o estudo das motivações humanas e do comportamento no trabalho iniciados por Elton Mayo vieram demonstrar, após futuros desenvolvimentos, que a produtividade dos trabalhadores não dependia principalmente das condições físicas em que o trabalho se realizava, mas de fatores psicológicos relacionados com normas sociais que iam sendo formadas dentro de grupos informais de trabalhadores que o próprio trabalho criava.

Na gestão de recursos humanos caracterizada pelo envolvimento das pessoas é importante:

- Comunicação – Deve ser permanente e transparente por forma a que as informações devidamente enquadradas e contextualizadas circulem sem qualquer obstáculo. Valorizar o *feedback* nas reuniões de equipa ou de outro tipo. O *feedback* aumenta a confiança no processo de comunicação e a sua ausência faz aumentar as dúvidas entre os interlocutores comprometendo o processo. É importante também fomentar melhor comunicação no seio das equipas por forma a reforçar a aproximação entre os seus elementos;
- Trabalho em equipa – Motivar os indivíduos para o trabalho em conjunto, direcionado para soluções comuns e evitando a confrontação. Fomentar o espírito de equipa devido à sua importância no seio das equipas de manutenção;
- Satisfação – Reconhecimento do mérito individual e coletivo dos contributos pelos resultados alcançados;
- Motivação para a mudança – Questionar e desafiar situações atuais incutindo a ideia de evolução por forma a provocar mudanças benéficas;
- Responsabilização – Atribuição de responsabilidades para que os elementos se sintam parte ativa e que o seu contributo possa constituir uma parte do coletivo.

Para o bom desempenho da manutenção é necessário que os seus elementos tenham as qualificações técnicas adequadas e o perfil psicológico requerido para corresponder aos requisitos de uma atividade que exige versatilidade, tenacidade, espírito de sacrifício e resistência a ambientes psicologicamente agressivos.

Como Canuto (2009) salienta, a gestão das competências assume um papel relevante no contexto operacional e para isso devem ser definidas claramente as competências pretendidas. Refere também que o dimensionamento e otimização das equipas de manutenção, partindo do pressuposto de que essas equipas têm o mesmo nível de competências, é um problema que desde sempre e cada vez mais tem despertado a atenção das organizações porque as variações no número de pessoas (equipas) e a sua maior ou menor eficiência, traduzida nos tempos médios de reparação, influenciam a disponibilidade dos equipamentos.

Para se definir quais os elementos de uma equipa que vão efetuar um trabalho no âmbito da manutenção corretiva ou preventiva, é necessário conhecer as competências e o nível de polivalência desses elementos, mas também o contexto operacional em que essas pessoas vão intervir. A especificidade do trabalho, o tipo e as características físicas do equipamento assim como a sua localização, e a disponibilidade do pessoal, influenciam também a definição dos recursos direcionados.

O trabalho em equipa é essencial nas equipas de manutenção. Para Pinto (2002) o trabalho em grupo é provavelmente a resposta mais eficiente à complexidade, diversidade e mudança acelerada que hoje caracterizam a atividade empresarial.

A rotação das pessoas por diferentes equipas da manutenção, ou diferentes funções como supervisão ou planeamento, cria desafios e muitas vezes quebra rotinas que se tinham tornados monótonas, e proporciona um conhecimento global do departamento. Pinto (2002) considera que é um importante instrumento gerador de motivação e de desenvolvimento das capacidades e criatividade individuais.

A rotatividade das equipas, devido às particularidades técnicas e pessoais, carece de ponderação e de análise cuidada. Dependendo do número total de elementos da equipa, a quantidade de pessoas a rodar deve ser o mínimo por forma a que a saída e a entrada de elementos não representem uma mudança drástica que será mais dificilmente encarada, e também para manter o conhecimento e experiência dentro da equipa.

Antes de se proceder à rotação há que garantir a consistência profissional e emocional da equipa e a sua perfeita funcionalidade como grupo autónomo e coeso. Sabendo que as pessoas de um modo geral são adversas à mudança quanto mais sólidas estiverem as equipas melhor enfrentam a saída de um ou dois elementos e também proporcionam um melhor período de adaptação.

A rotatividade contribui também para uma melhor partilha de conhecimentos contribuindo assim para o aumento da polivalência entre as equipas de manutenção.

❖ Recursos de apoio da manutenção (ferramentas e outros)

Em todas as atividades da manutenção, das mais elementares às mais complicadas, os elementos da manutenção necessitam de ferramentas para o desempenho das suas funções. Essas ferramentas podem ser manuais, elétricas, pneumáticas ou hidráulicas e tem um papel fundamental justificado pelo facto de que sem ferramentas, ou sem a ferramenta certa, avarias não são reparadas, trabalhos de manutenção não são executados, ou seja, a manutenção não poderia desenvolver a sua função que é manter e repor os equipamentos nas melhores condições de funcionamento.

As ferramentas de apoio à manutenção devem estar localizadas em local próprio, devidamente limpas, arrumadas e identificadas. Especiais cuidados devem ter as ferramentas de medição, que necessitem de certificações e calibrações, e as que sejam específicas para trabalhos particulares. Ferramentas que necessitem de revisão, assistência técnica, calibração ou outro serviço no exterior devem existir em duplicado para quando estiverem fora exista sempre um exemplar disponível.

Todas as ferramentas de apoio devem estar registadas e codificadas em base de dados, com as existências e localização. Esta base de dados deverá estar sempre atualizada por forma a quando for necessária uma ferramenta especial o seu paradeiro seja conhecido, pois pode estar na oficina de reparações como pode estar a ser usada num trabalho mais demorado num equipamento na área da produção.

Uma metodologia muito utilizada para auxiliar na gestão do ambiente de trabalho e que implica o envolvimento das pessoas é o “5S”. Esta ferramenta é um conjunto de técnicas de melhoria da organização dos locais de trabalho e caracteriza-se por ser uma metodologia de sistematização e normalização que conduz a um melhor desempenho no contexto em que é utilizada.

A metodologia teve origem no Japão e é composta de cinco princípios cujos nomes no alfabeto latino começam com a letra “S”. São eles:

- Seiri – Triagem. Identificar e separar tudo o que é necessário do que não é necessário. Remover e eliminar tudo o que desnecessário;

- Seiton – Arrumação. Consiste em estabelecer o modo em que deve ser colocado e identificado tudo o que nos faz falta para desempenharmos o nosso trabalho de forma a permitir a sua localização, utilização e reposição de forma simples e rápida;
- Seiso – Limpeza. Identificar e eliminar todas as fontes de sujidade assegurando que tudo no espaço de trabalho esteja sempre limpo e em perfeito estado de uso para desta forma proporcionar as melhores condições de trabalho;
- Seiketsu – Normalização. Normalizar procedimentos através de normas simples e de fácil visão para todos;
- Shitsuke – Disciplina. Empenho e compromisso em seguir as normas estabelecidas e promover melhorias.

Com a implementação desta metodologia os resultados são:

- Aumento da segurança no trabalho com conseqüente descida da taxa de acidentes devido ao espaço estar limpo, organizado e todas as ferramentas e materiais de apoio visíveis e identificados;
- Aumento da produtividade devido à redução de tempo de procura de ferramentas e materiais de apoio;
- Redução dos custos através da diminuição dos tempos de reparação, e melhor conservação das ferramentas e materiais de apoio;
- Melhoria da satisfação no trabalho como resultado de um posto de trabalho limpo, acolhedor, com melhores condições de trabalho.

Capítulo 6 – Caso de Estudo

6.1 Descrição do Equipamento

A linha de corte de aço bobinado é um equipamento constituído por uma estrutura de preparação da fita de aço, uma prensa mecânica de corte, e uma estrutura de empilhamento, que se destina ao corte de fita de aço, fornecida em bobines, em platinas retangulares ou trapezoidais. Para melhor estudo e também para uma melhor aplicação da FMEA, divide-se o equipamento em três sistemas, como representado na figura 6.1.

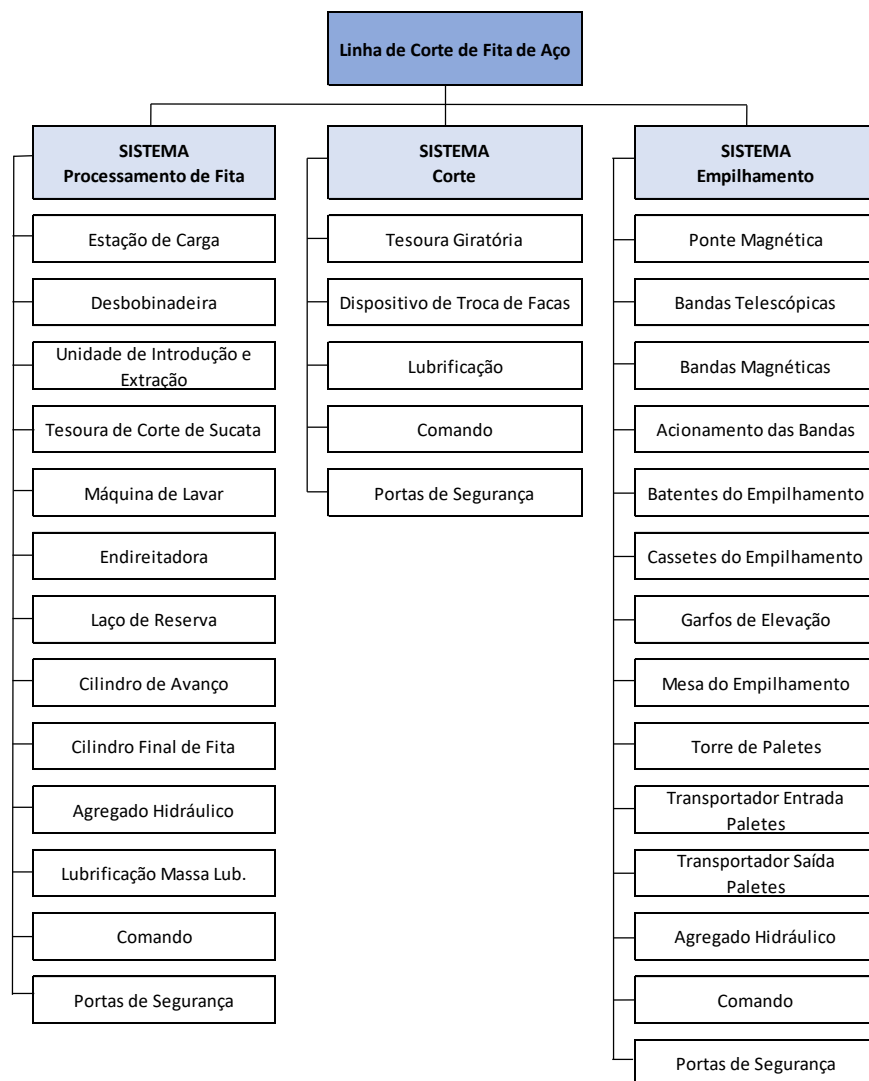


Figura 6.1 – Sistemas e Subsistemas da Linha de Corte

Os três sistemas considerados têm as seguintes funções:

- Processamento de fita – Tem a missão de receber o aço em bobinas, desenrolar a fita de aço, tirar rebarbas às arestas, lavar, tirar irregularidades e tensões, e fornecer ao corte apenas a fita necessária para fazer a platina;
- Corte – Tem a finalidade de efetuar o corte direito ou em trapézio, transformando a fita de aço em platinas que são fornecidas para o sistema seguinte;
- Empilhamento – Sendo o sistema a seguir ao corte tem o objetivo de receber as platinas e colocá-las de forma ordenada e orientada em paletes de metal.

Os cilindros de saída da unidade de introdução e extração, a máquina de lavar, os cilindros alimentadores e a endireitadora são acionados pelo mesmo motor de corrente contínua acoplado a caixa redutora. Deste modo, este conjunto de subsistemas encontram-se sempre sincronizados. Os três sistemas descritos têm dois modos de funcionamento, o modo de ajuste e o modo automático. No primeiro modo o operador é quem decide quais as operações a serem realizadas e é utilizado principalmente para a introdução e retrocesso da fita de aço. O modo automático destina-se para a produção, em que todas as operações são controladas pelos automatismos da linha de corte.

6.1.1 Processamento de Fita

Este sistema tem os seguintes subsistemas:

- Estação de Carga (Dispositivo de Carregamento da Fita)

Este dispositivo é constituído por uma plataforma de elevação hidráulica com dois rolos de carga que recebem a bobina elevando-a até à altura do mandril da desbobinadeira. Os rolos de carga têm acionamento hidráulico e rodam nos dois sentidos para preparar a bobina para a desbobinadeira. A elevação da bobina é controlada por uma barreira de luz que emite um sinal de altura alcançada.

- Desbobinadeira

A desbobinadeira vai recolher a bobina de aço no dispositivo de carregamento de fita e tem a função de colocar a bobina de aço centrada com a linha de processamento da fita, fazer retrocesso da fita de aço e gerar tensão constante durante o funcionamento para mantê-la

esticada. A bobina de aço é suportada por um mandril de expansão hidráulico. Durante o funcionamento em automático o motor de corrente contínua funciona como gerador. Este motor acoplado a uma caixa redutora é reversível permitindo o retrocesso da fita de aço.

➤ Unidade de Introdução e Extração

Este subsistema tem a função de introduzir e preparar a fita de aço para as restantes etapas do processamento da linha. É constituída por dois pares de cilindros, uma mesa alimentadora e um rolo fletor. Para evitar flexão dos cilindros estes têm cadeiras de apoio. A abertura e fecho dos cilindros é efetuada por atuadores pneumáticos. A mesa alimentadora e o rolo fletor têm acionamento hidráulico. O primeiro par de cilindros é usado para levar o princípio da fita de aço até à tesoura de corte de sucata. Como as primeiras voltas da bobina de aço estão sempre em mau estado, estas são cortadas não sendo utilizadas para produção. O segundo par é utilizado para conduzir a fita de aço em boas condições até aos cilindros puxadores na endireitadora. Em produção ambos os cilindros estão abertos.

➤ Tesoura de Corte de Sucata

A tesoura de corte de sucata é essencialmente uma guilhotina com acionamento hidráulico que corta o início da bobina de aço. Quando a fita de aço chega, empurrada pelos cilindros da unidade de introdução e extração até à medida de corte, é apertada por rolos pressores através de um atuador pneumático. A lâmina da guilhotina faz o corte e as platinas são conduzidas para um contentor de sucata através de um tapete metálico magnético.

➤ Máquina de Lavar

A tarefa da máquina de lavar é a limpeza da fita de chapa antes do passo seguinte que é a endireitadora. Tem um reservatório incorporado para o detergente e é composta por um par de cilindros de entrada, dois pares de cilindros escovadores, e dois pares de cilindros de saída. Os cilindros de entrada são revestidos a borracha e têm a função de puxar a fita de aço para os cilindros escovadores. Antes destes estão dispostos injetores que pulverizam o detergente para a chapa que é limpa e escovada na parte inferior e superior. Os cilindros de saída em aço e revestidos a borracha têm a finalidade de pressionar a fita de chapa retirando assim resquícios de sujidade, óleo e detergente. Em modo de funcionamento de ajuste, na colocação da fita de aço, o sentido de rotação dos cilindros escovadores é o mesmo do sentido de deslocação da chapa. Em modo de funcionamento de automático, em produção, os cilindros da máquina de lavar estão fechados e o sentido de rotação dos

cilindros escovadores é contrário ao sentido da fita de aço. A abertura e fecho dos cilindros é feita por atuadores pneumáticos.

➤ Endireitadora

A endireitadora tem a função de retirar irregularidades, curvaturas e tensões que a fita de aço foi ganhando durante o processo de enrolamento em bobina e também durante o armazenamento. Dispõe de um par de cilindros alimentadores que puxam a fita para entrar no bloco de cilindros endireitadores que é composto por cilindros sobrepostos apoiados por cilindros intermédios e cadeiras de apoio de modo a evitar a flexão. O bloco superior é regulável em altura na entrada e na saída permitindo afinação de acordo com a espessura e o grau de irregularidades ou tensões que a fita de aço apresenta. Possui também um cilindro de saída que corrige a curvatura final resultante do processo de nivelamento. A endireitadora tem também a função de ir controlando a quantidade de fita de aço no laço de reserva.

➤ Laço de Reserva

O laço de reserva é composto por um fosso, designado por fosso de compensação, onde a fita de aço descreve um laço. O objetivo deste dispositivo é equilibrar as diferentes velocidades da fita de aço entre a endireitadora e os cilindros de avanço permitindo o ciclo de corte na faca sem tempos de espera. A fita de aço desloca-se para o laço de reserva em velocidade constante para compensar os avanços espaçados efetuados pelo cilindro de avanço em sincronismo com a faca de corte. Em modo de funcionamento de ajuste, o laço é coberto por duas mesas giratórias de acionamento hidráulico que possibilitam a introdução da fita de aço.

➤ Dispositivo de Cilindro de Avanço

Este dispositivo é composto por um par de cilindros de avanço cuja finalidade é colocar dentro da faca o comprimento indicado da fita de aço de acordo com o tipo de platina a cortar. Estes cilindros possuem cadeiras de apoio para evitar flexão e o cilindro superior é acionado por atuadores pneumáticos. Tem também um travão antirretorno atuado por mola e desativado por atuador hidráulico que impede a fita de aço de cair para o laço de reserva. Entre este travão e os cilindros existe um equipamento ótico para deteção de costura de soldadura.

➤ Cilindro de Final de Fita

O par de cilindros de final de fita têm a mesma função que o cilindro de avanço, mas com a diferença de serem apenas usados quando o final da fita de aço já passou pelo cilindro de avanço, aproveitando desta forma a totalidade da fita inserida na linha de processamento.

➤ Agregado Hidráulico

A função do agregado hidráulico é armazenar, filtrar, arrefecer e fornecer óleo hidráulico para os diferentes circuitos e atuadores em uso na linha de processamento da fita. Possui motobomba, permutador, filtro, bloco de comando, de pressão e de segurança, e sensor de nível.

➤ Lubrificação por Massa Lubrificante

Junto ao agregado hidráulico encontra-se uma central de lubrificação de massa lubrificante constituída por reservatório e bombas independentes. A massa lubrificante é conduzida por ligações rígidas ou flexíveis até distribuidores que encaminham a massa para os respectivos pontos de lubrificação.

➤ Comando

Este subsistema engloba o conjunto de elementos de *hardware* e *software* que processam os automatismos e modos de funcionamento da máquina para o processamento da fita, e que estão interdependentes dos outros sistemas da máquina.

➤ Portas de Segurança

Estas barreiras físicas garantem a segurança de toda a zona de processamento de fita. A abertura e fecho das portas são controlados por interruptores fim de curso e fechos de segurança.

Na figura 6.2 estão representadas as relações existentes entre os vários subsistemas do processamento da fita, assim como o sentido do fluxo da fita de aço:

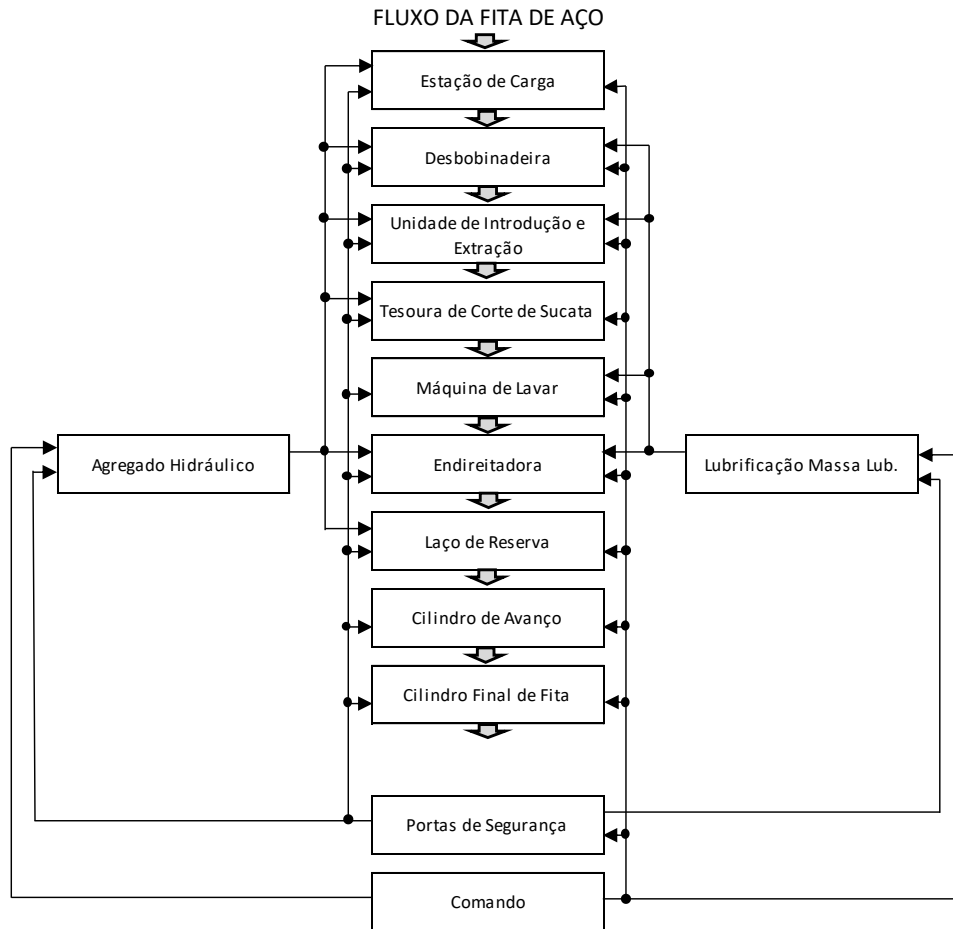


Figura 6.2 – Sistema de Processamento de Fita e Interação entre os seus Subsistemas

6.1.2 Corte

Este sistema é constituído pelos seguintes subsistemas:

➤ Tesoura Giratória

A tesoura giratória corta a fita de aço em platinas retangulares ou trapezoidais em medidas exatas. O corte é efetuado por uma ferramenta, designada faca, que é constituída por uma parte superior que está fixa no martelo e uma parte inferior que está fixa na mesa rotativa. O corte é efetuado quando a ferramenta superior fecha sobre a inferior. O curso do martelo é originado por um sistema de movimento mecânico que tem um motor como acionamento principal para transmitir movimento circular às bielas que graças a uma cadeia cinemática provocam o movimento linear do martelo. O motor que está sempre em funcionamento, tem acoplado um conjunto embraiagem-travão. Para transmitir movimento às bielas, a embraiagem é acionada e o travão é retirado, no caso contrário, ou seja, para parar o

movimento do martelo a embraiagem é retirada e automaticamente o travão entra em serviço. Este sistema permite resposta muito rápida uma vez que o motor está sempre em funcionamento anulando a inércia inicial da cadeia cinemática e da estrutura móvel.

➤ Dispositivo de Troca de Facas

Dispositivo que tem por função introduzir e extrair de forma semiautomática as facas que se encontram dentro da tesoura giratória. Tem acionamento pneumático para se deslocar e as facas são movidas por um braço movido por servomotor.

➤ Lubrificação

O sistema de lubrificação da tesoura giratória é composto por uma bomba, dois sistemas de filtragem e um distribuidor, garantindo a circulação ininterrupta do óleo. O *carter* da tesoura giratória funciona como reservatório do óleo de lubrificação.

➤ Comando

Este subsistema contempla o conjunto de elementos de *hardware* e *software* que processam os automatismos e modos de funcionamento da máquina para o corte e que estão interdependentes dos outros sistemas da máquina.

➤ Portas de Segurança

As portas de segurança têm a função de isolar a tesoura de corte e atenuar o ruído proveniente do corte da fita de aço. A abertura e fecho são controlados por interruptores fim de curso. Na figura (6.3) estão representados os vários subsistemas do corte e suas interações, assim como o sentido do fluxo da fita de aço, que após o corte passa a platina.

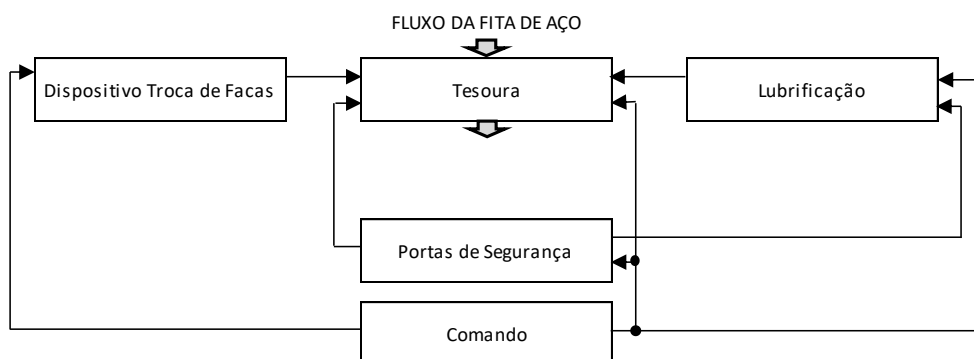


Figura 6.3 – Sistema de Corte e Interação entre os seus Subsistemas

6.1.3 Empilhamento

Este sistema é constituído pelos seguintes subsistemas:

- Ponte Magnética

Esta estrutura é constituída por magnetos que têm a função de manter a fita de aço que passa para além da zona de corte à mesma altura que se encontra na faca, garantindo assim que esta execute o corte nas melhores condições. Estão cobertos na zona de contacto com a platina por capas de liga de latão.

- Bandas Telescópicas

As bandas telescópicas possuem magnetos permanentes e correias planas que transportam a platina até às bandas magnéticas. Cada banda tem um braço móvel que se ajusta à posição da faca por forma a ficar colocada o mais próximo possível desta para recolher a platina após o corte. O acionamento é o mesmo das bandas magnéticas.

- Bandas Magnéticas

A função destas bandas é recolher as platinas diretamente das bandas telescópicas e fazer o seu transporte até ao empilhamento que é feito na mesa em paletes. Possui magnetos controlados eletricamente, para permitir a queda das platinas na zona do empilhamento de acordo com o formato e as dimensões.

- Acionamento das Bandas Telescópicas e Magnéticas

O acionamento das bandas é constituído por um motor acoplado a uma caixa redutora que transmite movimento às bandas magnéticas por corrente de elos. A transmissão do movimento das bandas magnéticas para as bandas telescópicas é efetuada por caixas angulares e braços de transmissão.

- Batentes de Empilhamento

A função dos batentes é amortecer a queda das platinas transportadas pelas bandas magnéticas e corrigir a sua posição com a finalidade de formar pilhas direitas e orientadas nas paletes, quando é utilizado empilhamento central.

- Cassetes de Empilhamento

As cassetes de empilhamento utilizam-se quando não se faz empilhamento central e a sua função é amortecer e guiar as platinas com formatos mais pequenos e trapezoidais de maneira a fazer pilhas direitas nos garfos de elevação. Os batentes da cassete têm

regulação no sentido longitudinal (sentido do corte da platina) e no sentido transversal. Tem um dispositivo de unhas mecânicas acionadas pneumaticamente para suportar as platinas enquanto os garfos de elevação sobem ou descem para empilhar as platinas na palete.

➤ Garfos de Elevação

Este subsistema tem a função de recolher as platinas amortecidas e guiadas pela cassete e coloca-las na palete que se encontra na mesa de empilhamento. O movimento de subida e descida dos garfos é realizado por motor e caixas angulares que acionam dois fusos sem-fim.

➤ Mesa de Empilhamento

A mesa de empilhamento é usada nos dois tipos de empilhamento, isto é, empilhamento central e empilhamento por cassete. A sua função é transportar e suportar as paletes de empilhamento onde são depositadas as platinas, e também transportar e colocar na posição a cassete de empilhamento. A mesa desloca-se longitudinalmente (sentido do corte) para fazer os dois tipos de empilhamento e roda 90° para empilhar platinas nas paletes no sentido longitudinal ou transversal. Tem dois cilindros hidráulicos para fazer o movimento vertical.

➤ Torre de Paletes

A torre de paletes funciona como um depósito de paletes que são transportadas para dentro do empilhamento à medida que vão sendo solicitadas. A torre vai automaticamente alimentando o transportador de paletes e pode simultaneamente ser abastecida com novas paletes. Tem uma mesa e unhas mecânicas de acionamento hidráulico, que possibilita o fornecimento de paletes ao transportador sem interferência com a sua reposição.

➤ Transportador de Entrada de Paletes

A função do transportador de entrada de paletes é transportar as paletes desde a torre até às mesas do empilhamento. O transporte é efetuado por correntes. Possui batentes de encosto que posicionam as paletes por forma a entrarem guiadas na zona de empilhamento.

➤ Transportador de Saída de Paletes

Após as paletes ficarem completas com as pilhas das platinas cortadas, são transportadas para fora da mesa e da zona de empilhamento pelo transportador de saída de paletes. Estas

são colocadas numa zona livre para serem recolhidas e enviadas para o próximo passo do processo.

➤ Agregado Hidráulico

A função do agregado hidráulico é armazenar, filtrar, arrefecer e fornecer óleo hidráulico para os atuadores utilizados no empilhamento. Possui motobomba, permutador, filtro, bloco de comando, pressão e segurança, e sensor de nível.

➤ Comando

Este subsistema incorpora elementos de *hardware* e *software* que processam os automatismos e modos de funcionamento da máquina para o empilhamento e que estão interdependentes dos outros sistemas da máquina.

➤ Portas de Segurança

No empilhamento existem as portas do empilhamento e as portas de homem. As portas têm a função de isolar a zona de empilhamento e atenuar o ruído proveniente do embate das platinas nos batentes e da queda nas paletes. As portas do empilhamento apenas permitem a entrada e saída de paletes e funcionam em automático para possibilitar a entrada e saída das paletes sem parar a máquina. Estas portas têm um mecanismo de abertura por cabo de aço em enroladores acionados por motor elétrico. As portas de homem dão acesso à zona de empilhamento para intervenções da manutenção ou dos operadores. Ambas as portas são controladas por interruptores fim de curso.

A figura 6.4 mostra as interações entre os vários subsistemas do empilhamento, assim como o sentido do fluxo das platinas.

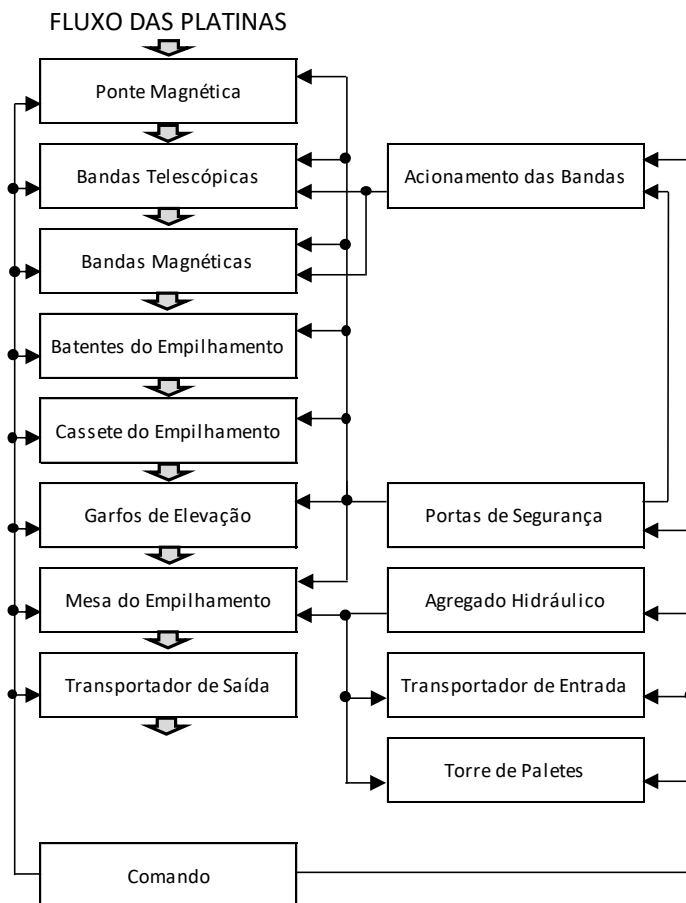


Figura 6.4 – Sistema de Empilhamento e Interação entre os seus Subsistemas

6.2 Aplicação da FMEA

Tal como referido no capítulo 5, o nível de detalhe é muito importante na realização duma Análise de Modos de Falha e seus Efeitos. Durante o estudo e divisão do equipamento em sistemas e subsistemas, verificou-se que a análise ficaria demasiado complexa e extensa caso se optasse por efetuar uma investigação até ao nível mais baixo de componentes. Esta situação deve-se não só à escala de grandeza de uma linha de corte, mas também à complexidade da maioria dos seus componentes mecânicos, elétricos, e principalmente eletrónicos. Assim o estudo foi até ao nível do motor, não tendo sido avaliado o rotor, estator, veio, ventilação e carcaça. No campo da eletrónica, o estudo apenas contemplou variadores, módulos de controlo, e fontes de alimentação, não incidindo em níveis mais detalhados da eletrónica de potência e de comando.

A tabela 6.1 mostra a classificação das 1157 situações identificadas, de acordo com a matriz de risco:

Tabela 6.1 – Classificação das situações de Risco

RISCO CRÍTICO	6
RISCO ALTO	34
RISCO MÉDIO	60
RISCO BAIXO	1057
TOTAL	1157

Como se pode verificar apenas uma pequena percentagem do total de 1157 situações de risco são classificadas como sendo de risco alto e crítico. Mais de 90% das situações são consideradas de baixo risco, aproximadamente 5,2% são de risco médio, 2,95% de risco alto, e apenas 0,69% são de risco crítico. Estas 6 situações de risco crítico são os modos de falha que representam um risco muito severo para o equipamento em termos de desempenho, que se traduz, de acordo com a tabela de índice de severidade adotada para esta metodologia proposta, em paragens de produção em períodos superiores a 24 horas.

Os modos de falha de risco alto, embora de severidade menor que os de risco crítico devem ser devidamente considerados dado que a maioria deles provocam tempos de paragem muito próximo de 24 horas. Nas tabelas 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, e 6.7 irão ser mostrados os 6 Modos de Falha de risco crítico:

Tabela 6.2 – Modo de Falha 1

ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	MTBF	Consequências	Controlos	Severidade	Ocorrência	Detecção	NPR	Matriz de Risco
Motor de Rotação	Transmitir movimento ao prato da desbobinadeira para enrolar ou desenrolar a bobina	Motor movimentava o prato da desbobinadeira no sentido de desenrolar demasiado rápido	Sonar sujo ou danificado	7259	C-E	F	3	2	5	30	BAIXO
		Motor iniciou o movimento do prato da desbobinadeira mas depois parou de desenrolar a bobina	Fotocélula do final de fita 2 desajustada	7260	C	A-F	2	2	3	12	BAIXO
			Fotocélula do final de fita 2 danificada	14519	C-E	A-F	2	1	6	12	BAIXO
		Motor não movimentava o prato da desbobinadeira	Sobrecarga mecânica na operação	9679	C	F	2	1	6	12	BAIXO
			Falta de fase no motor	29036	A-C		3	1	10	30	BAIXO
			Botoneira e potenciómetro do comando móvel com mau contacto ou danificados	3630	C-E		2	4	10	80	MÉDIO
			Travão do motor não abre	9679	C-E	B	3	1	5	15	BAIXO
			Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado	29036	A-C-E	A-F	3	1	5	15	BAIXO
			Não chega energia elétrica ao motor	14519	C		3	1	10	30	BAIXO
			Variador em falha	3630	C	F	1	4	4	16	BAIXO
			Variador danificado	29028	C-E	F	7	1	4	28	BAIXO
			Motor danificado	29016	A-C-E-F	F	9	1	10	90	ALTO
			Rolamento do veio do mandril agarrado	28968	A-C-E-F		10	1	10	100	CRÍTICO
		Travão do veio do mandril não abre	29037	C		3	1	10	30	BAIXO	
Motor não para o movimento do prato no sentido de desenrolar a bobina	Sensor da guia da extensão da mesa inferior do dispositivo de introdução desajustado	14519	C		2	1	10	20	BAIXO		

O modo de falha 1 (tabela 6.2) está relacionado com o rolamento do prato do mandril da desbobinadeira. Este rolamento suporta a rotação da bobine de chapa, com pesos que variam entre as 10 e as 27,8 toneladas. Para a sua substituição é necessário um trabalho de desmontagem e montagem de estruturas volumosas e pesadas com uma duração de 72 horas. As suas consequências são ao nível da segurança, tempo de paragem da máquina, aumento dos custos de operação devido à substituição do rolamento e dos consumíveis necessários, e alteração do plano de produção por causa do tempo de paragem e também porque este trabalho terá de ser feito com uma das pontes rolantes da nave, impedindo esta de fazer carregamentos noutras máquinas de produção.

Tabela 6.3 – Modo de Falha 2

ITEM	FUNÇÃO	MODOS DE FALHA	CAUSAS	MTBF	Consequências	Controlos	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR	Matriz de Risco
Caixa Redutora do Motor da Endireitadora	Converter velocidade / Fornecer binário	Funciona com temperatura excessiva	Sobrecarga mecânica na operação	14519	C		2	1	10	20	BAIXO
			Lubrificação incorrecta ou insuficiente	29038	C	C	2	1	4	8	BAIXO
			Rolamentos com prisão	29016	C-E-F		9	1	10	90	ALTO
			Ventilação obstruída	29039	C	G	1	1	8	8	BAIXO
		Funciona com ruído excessivo ou anormal	Rolamentos danificados	29016	C-E-F		9	1	10	90	ALTO
			Nível de óleo baixo	29039	C-E	C-G	1	1	2	2	BAIXO
			Ajustes mecânicos incorrectos	29016	C		9	1	10	90	ALTO
		Funciona com excessiva vibração	Lascas de material nas engrenagens	29036	C		3	1	10	30	BAIXO
			Engrenagens gastas	29016	C-E-F		9	1	10	90	ALTO
			Elementos de fixação da caixa soltos	29038	C	G	2	1	9	18	BAIXO
			Chumaceiras gastas	29016	C-E-F		9	1	10	90	ALTO
			Veio de saída não gira	Caixa não recebe movimento do motor	29039	C		1	1	10	10
		Engrenagens partidas		28980	C-E-F		10	1	10	100	CRÍTICO

O modo de falha 2 (tabela 6.3) está relacionado com a caixa redutora do motor da endireitadora que aciona a endireitadora, os cilindros puxadores, a máquina de lavar e os cilindros de entrada da unidade de introdução e extração. Como se pode ver na tabela 6.3 do modo de falha 2, muitas das situações associadas à caixa têm a classificação de alto risco. Na verdade, também elas poderiam ser consideradas de risco crítico dado que estão relacionadas com as chumaceiras, rolamentos, e com as engrenagens. A caixa redutora é de facto um órgão muito crítico e uma reparação ao nível das engrenagens tem uma duração de 60 horas, com muitos problemas de peças de reposição. As suas consequências são o tempo de paragem da máquina, aumento dos custos de operação devido à substituição das engrenagens, chumaceiras e rolamentos, assim como juntas e outros consumíveis, e alteração do plano de produção por causa do tempo de paragem da máquina.

Tabela 6.4 – Modo de Falha 3

ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	MTBF	Consequências	Controlos	Severidade	Ocorrência	Detecção	NPR	Matriz de Risco
Cilindros de Avanço	Puxar a fita de aço para alimentar a faca	Cilindros não puxam correctamente a fita de aço	Acoplamento PK danificado	14514	C-D-E-F	G	8	1	9	72	BAIXO
			Fuga nos atuadores pneumáticos	29034	A-C-D-E-F		4	1	10	40	BAIXO
			Cilindros não se encontram paralelos ao plano da fita de aço	29028	C-D-F		7	1	10	70	BAIXO
			Rolamentos com folga nas corredeiras	9658,67	C-D-E-F	G	10	1	10	100	CRÍTICO

O modo de falha 3 (tabela 6.4) está relacionado com os rolamentos de apoio dos cilindros de avanço. Estes cilindros tracionam a fita de chapa, conduzindo-a até à faca no subsistema do corte. Os cilindros não rodam em modo contínuo, mas em períodos muito rápidos de tempo, que são calculados de acordo com a quantidade de fita de aço necessária no corte e também com o tempo de ciclo do golpe de corte da faca. Os rolamentos de apoio dos cilindros ganham folga entre a pista exterior e o alojamento, causando uma paragem de 64 horas para reparação. Este tempo deve-se ao processo de desmontagem necessário, mas principalmente ao problema das peças de reposição. As consequências são o tempo de paragem da máquina, aumento dos custos de operação devido à substituição de peças e aplicação dos consumíveis necessários, produto com qualidade afetada devido ao escorregamento dos cilindros, e alteração do plano de produção por causa do tempo de paragem e também porque este trabalho terá de ser feito com uma das pontes rolantes da nave, impedindo esta de fazer carregamentos noutras máquinas de produção.

Tabela 6.5 – Modo de Falha 4

ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	MTBF	Consequências	Controlos	Severidade	Ocorrência	Detecção	NPR	Matriz de Risco
Motor de Rotação da Tesoura	Fazer rodar a mesa da faca para cortes trapezoidais	Motor não movimenta a mesa	Travão do motor não abre	7259	C-E	B	3	2	5	30	BAIXO
			Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado	29032	A-C-E	A-F	5	1	5	25	BAIXO
			Não chega energia elétrica ao motor	14518,5	C		3	1	10	30	BAIXO
			Variador do motor em falha	1209,98	C	F	1	6	6	36	BAIXO
			Variador do motor desparametrizado	3629,5	C	F	3	4	6	72	BAIXO
			Variador danificado	29028	C-E	F	7	1	6	42	BAIXO
			Motor danificado	29024	C-E-F	F	9	1	8	72	ALTO
			Processador perdeu parâmetros de instalação	14504	C-E		10	1	10	100	CRÍTICO
			Cabo do encoder interno do motor com mau contacto	14518	C		3	1	10	30	BAIXO
			Encoder interno danificado	29030	C-E	F	6	1	6	36	BAIXO
		Cabo do encoder interno danificado	29036	C-E	F	3	1	6	18	BAIXO	
		Motor não para na posição indicada	Programa bloqueado	1814,75	C		3	5	10	150	MEDIO
		Motor com excesso de velocidade	Variador do motor desparametrizado	3629,5	C	F	4	4	6	96	MEDIO

O modo de falha 4 (tabela 6.5) está associado ao variador de corrente do motor de rotação da tesoura. Para fazer cortes em formato trapezoidal, a parte inferior da ferramenta de corte (faca) gira juntamente com a mesa da tesoura giratória. O motor que roda a mesa é controlado por um variador que é alimentado por um circuito comum aos outros variadores utilizados na linha. Este modo de falha apresenta-se bastante complexo uma vez que as cartas de comunicação e de parametrização do variador ficam inoperacionais, o que obriga a uma investigação meticulosa para averiguar quais as cartas danificadas. O tempo de paragem da máquina é de 32 horas e é devido aos procedimentos de substituição de componentes eletrónicos e também procedimentos de parametrização. As suas consequências são ao nível do tempo de paragem da máquina, e aumento dos custos de operação devido à substituição das cartas e outros componentes eletrónicos.

Tabela 6.6 – Modo de Falha 5

ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	MTBF	Consequências	Controlos	Severidade	Ocorrência	Detecção	NPR	Matriz de Risco
Conjunto de Giro da Faca	Transferir movimento do motor para a mesa da faca	Mesa da faca não para na posição indicada	Pinhão do motor com folga	29024	C-E-F		8	1	10	80	MEDIO
			Fixação da roda dentada da mesa folgada	29018	C-E-F		9	1	10	90	ALTO
		Mesa da faca não gira	Pinhão do motor arrasado	29024	C-E-F		8	1	10	80	MEDIO
			Fixação da roda dentada intermédia partida	28968	C-E-F		10	1	10	100	CRITICO
			Fixação da roda dentada da mesa partida	28968	C-E-F		10	1	10	100	CRITICO

O modo de falha 5 (tabela 6.6) está relacionado com o mecanismo de rotação da mesa da tesoura giratória. A transmissão de movimento é feita por duas rodas dentadas, em que uma engrena no pinhão de ataque do motor e a outra engrena no pinhão do veio da mesa. Como se pode ver na tabela 6.6 existem duas situações de risco crítico, mas no fundo são a mesma situação devido ao anteriormente exposto. O tempo de paragem para reparação tem a duração de 72 horas e deve-se principalmente às condições de acesso e de desmontagem do mecanismo e do motor de rotação que é necessário desmontar, e das estruturas circundantes. As suas consequências são o elevado tempo de paragem da máquina, o aumento dos custos de operação devido à substituição das rodas dentadas e outras peças, e alteração do plano de produção por causa do tempo de paragem e também porque em algumas fases deste trabalho será necessário a utilização da ponte rolante da nave, impedindo esta de fazer carregamentos noutras máquinas de produção.

Tabela 6.7 – Modo de Falha 6

ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	MTBF	Consequências	Controles	Severidade	Ocorrência	Detecção	NPR	Matriz de Risco
Motorreductor de Regulação Transversal das Bandas Magnéticas	Deslocar as bandas transversalmente de acordo com o formato das platinas	Motorreductor não desloca as bandas	Embraiagem inoperacional	29034	C-E	G	4	1	10	40	BAIXO
			Chumaceiras das bandas agarradas no veio estriado	7252	C-E	A-G	10	2	10	200	CRITICO
			Travão do motor não abre	14518	C-E	B	3	1	4	12	BAIXO
			Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado	29036	A-C-E	A-F	3	1	5	15	BAIXO
			Não chega energia elétrica ao motor	14518,5	C		3	1	10	30	BAIXO
			Arrancador ou ponte rectificadora com defeito	14518,5	C-E		3	1	10	30	BAIXO
			Motorreductor danificado	29034	C-E	F	4	1	5	20	BAIXO
			Sobrecarga mecânica na operação	1814,88	C	F	2	5	4	40	BAIXO
			Falta de fase no motor	14518,5	C		3	1	10	30	BAIXO
			Porca do fuso de regulação danificada	14518	C-E		3	1	10	30	BAIXO
			Fuso de regulação danificado	29016	C-E-F		9	1	10	90	ALTO
			Braços cardan danificados	29032	C-E	A	5	1	2	10	BAIXO

O modo de falha 6 (tabela 6.7) está associado à regulação transversal das bandas magnéticas. A regulação é feita por um motorreductor e fuso sem-fim que desloca as bandas de acordo com o formato das platinas. As bandas deslocam-se sobre o veio estriado que lhes transmite movimento através de uma noz estriada e cada banda está apoiada em duas chumaceiras. Quando a noz e as chumaceiras bloqueiam é necessário desmontar o veio e reparar. A desmontagem implica retirar o veio por completo, o que adicionado às condições do espaço de trabalho obriga a uma reparação de 32 horas. As suas consequências são ao nível do tempo de paragem da máquina, e aumento dos custos de operação devido à substituição do veio, chumaceiras e consumíveis.

Na figura 6.5 está representada a distribuição dos modos e falha de alto e médio risco, pelos três subsistemas:

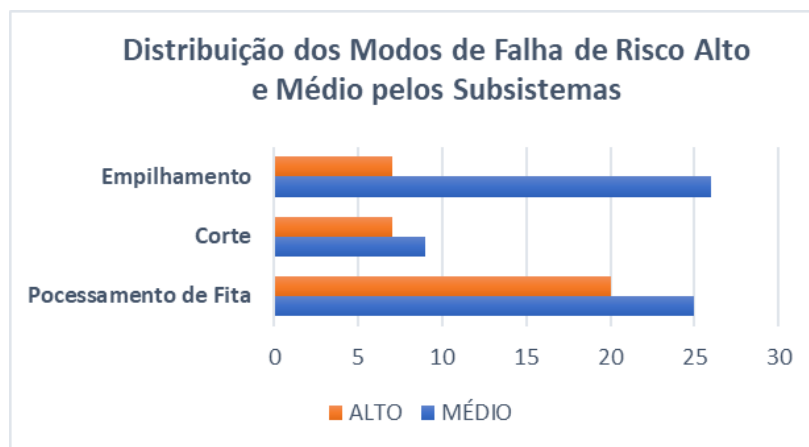


Figura 6.5 – Distribuição dos Modos de Falha de Risco alto e médio pelos Subsistemas

Como se comprova pela figura 6.5, o processamento de fita apresenta a maior quantidade de modos de falha de risco alto, e praticamente o mesmo número de modos de falha de risco médio que o empilhamento, que é o subsistema com maior quantidade destes modos de falha. A Figura 6.6 mostra como se reparte os modos de falha de risco crítico:

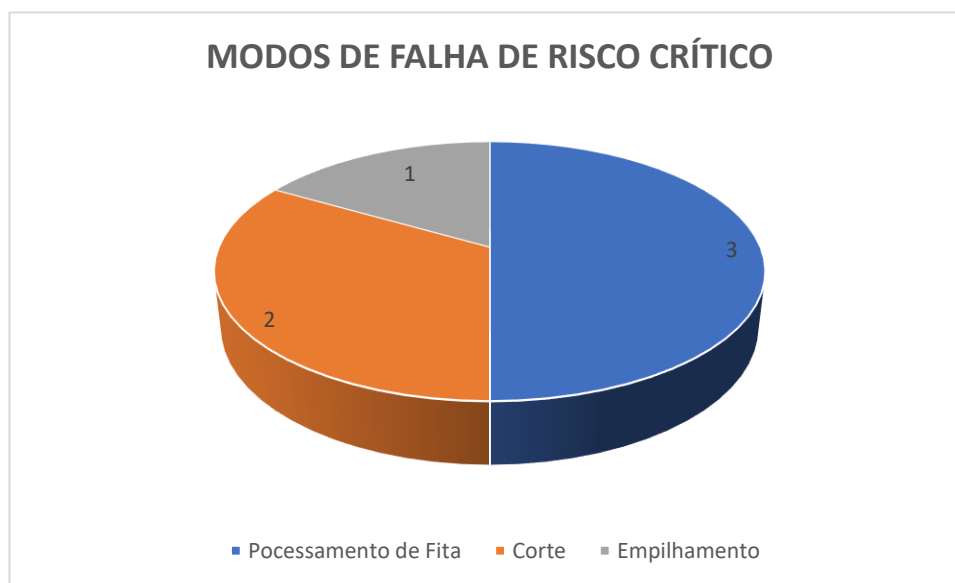


Figura 6.6 – Distribuição dos Modos de Falha de Risco crítico

6.3 Aplicação do AHP

Após a construção da hierarquia e da definição dos critérios, subcritérios e alternativas, como já referido anteriormente no Capítulo 5, seguem-se as comparações par a par.

Todas as comparações foram efetuadas por três especialistas, pelo que foi construída uma matriz final em cada comparação que resulta da média aritmética das preferências de cada um dos especialistas. As matrizes de preferências dos especialistas de todas as comparações, serão disponibilizadas nos anexos.

No caso dos quatro critérios, estes foram comparados por forma a se definirem os respetivos pesos que cada um tem. A Tabela 6.8 representa as comparações par a par dos 4 critérios identificados. Os valores na matriz são a média aritmética das avaliações dos três especialistas.

Tabela 6.8 – Comparação par a par para definição de prioridades de Critérios

	F	M	S	C
F	1,0000	3,1111	3,3750	6,6667
M	0,3214	1,0000	2,3750	3,3890
S	0,2963	0,4211	1,0000	5,6667
C	0,1500	0,2951	0,1765	1,0000

De seguida procede-se à normalização da matriz. O cálculo compreende o somatório dos elementos de cada coluna (Tabela 6.9) e a divisão de cada elemento da coluna pelo respetivo somatório, o que resulta na matriz normalizada (Tabela 6.10).

Tabela 6.9 – Matriz auxiliar para o cálculo de definição de prioridades de Critérios

	F	M	S	C
F	1,0000	3,1111	3,3750	6,6667
M	0,3214	1,0000	2,3750	3,3890
S	0,2963	0,4211	1,0000	5,6667
C	0,1500	0,2951	0,1765	1,0000
Σ	1,7677	4,8272	6,9265	16,7223

Tabela 6.10 – Matriz normalizada para a definição de prioridades de Critérios

	F	M	S	C
F	0,5657	0,6445	0,4873	0,3987
M	0,1818	0,2072	0,3429	0,2027
S	0,1676	0,0872	0,1444	0,3389
C	0,0849	0,0611	0,0255	0,0598

Após calcular a matriz normalizada segue-se o cálculo do vetor prioridades. Para se definir o vetor prioridades, calcula-se o somatório de cada linha da matriz normalizada e a posterior divisão desse valor pelo número de colunas, ou seja, encontra-se a média de cada linha. (Tabela 6.11).

Tabela 6.11 – Vetor prioridades de Critérios

	F	M	S	C	W
F	0,5657	0,6445	0,4873	0,3987	0,5240
M	0,1818	0,2072	0,3429	0,2027	0,2336
S	0,1676	0,0872	0,1444	0,3389	0,1845
C	0,0849	0,0611	0,0255	0,0598	0,0578
					Σ 1,0000

Ficam, assim, definidos os pesos de cada critério:

- Fiabilidade é o critério mais importante com 52,40%
- Manutibilidade é o segundo critério mais importante com 23,36%
- Segurança é o terceiro critério mais importante com 18,45%
- Custos é o quarto e último critério com 5,78%

Após a obtenção do vetor prioridades dos quatro critérios, procedeu-se à análise de consistência da metodologia, cujo objetivo é a avaliação da congruência e robustez das comparações.

Como primeira etapa procede-se ao produto da matriz de comparação com o vetor prioridades de critérios, como representado na Tabela 6.12.

Tabela 6.12 – Cálculo auxiliar para Análise de Consistência

	F	M	S	C	X	W	=	PRODUTO
F	1,0000	3,1111	3,3750	6,6667		0,5240		2,2591
M	0,3214	1,0000	2,3750	3,3890		0,2336		1,0362
S	0,2963	0,4211	1,0000	5,6667		0,1845		0,7658
C	0,1500	0,2951	0,1765	1,0000		0,0578		0,2379

Em seguida é realizado o cálculo do λ_{max} que corresponde ao somatório da divisão do produto pelo vetor prioridades, multiplicado pelo inverso do grau da matriz, e também o cálculo do Índice de Consistência (IC) através das seguintes equações (6.1) e (6.2):

$$\lambda_{max} = \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{2,2591}{0,5240} + \frac{1,0362}{0,2336} + \frac{0,7658}{0,1845} + \frac{0,2379}{0,0578} \right) = 4,2529 \quad (6.1)$$

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} = \frac{4,2529 - 4}{4 - 1} = 0,0843 \quad (6.2)$$

Finalmente para o cálculo da razão de consistência (RC), procede-se à divisão do Índice de Consistência (IC) calculado, pelo valor correspondente do Índice Aleatório (IR), ver Tabela 4.4. Neste caso, o valor do IR é 0,9 que corresponde ao índice equivalente a uma matriz de ordem 4.

$$RC = \frac{0,0843}{0,90} = 0,0937 < 0,10 \quad (6.3)$$

Como se verifica, o valor de RC é inferior a 0,10 pelo que as avaliações são consistentes e homogêneas.

O mesmo processo é seguido para os subcritérios e para as alternativas, chegando às matrizes finais que representam o vetor prioridades subcritérios e alternativas. As tabelas 6.13, 6.14, 6.15, e 6.16 mostram o vetor prioridades dos subcritérios em relação a cada um dos critérios:

Tabela 6.13 – Vetor prioridades dos Subcritérios para o Critério Fiabilidade

	MF 1	MF 2	MF 3	MF 4	MF 5	MF 6	W
MF 1	0,1476	0,1994	0,1196	0,1806	0,1384	0,1780	0,1606
MF 2	0,0492	0,0665	0,0689	0,0433	0,1615	0,0908	0,0800
MF 3	0,5252	0,4105	0,4257	0,5370	0,2523	0,2528	0,4006
MF 4	0,1273	0,2393	0,1236	0,1559	0,3179	0,2599	0,2040
MF 5	0,0984	0,0380	0,1557	0,0453	0,0923	0,1552	0,0975
MF 6	0,0524	0,0463	0,1064	0,0379	0,0376	0,0632	0,0573
	Σ						1,0000

Tabela 6.14 – Vetor prioridades dos Subcritérios para o Critério Manutibilidade

	MF 1	MF 2	MF 3	MF 4	MF 5	MF 6	W
MF 1	0,3858	0,4015	0,4795	0,3501	0,2810	0,3139	0,3686
MF 2	0,2204	0,2294	0,2483	0,2027	0,2619	0,1781	0,2235
MF 3	0,0827	0,0949	0,1028	0,1681	0,1064	0,2183	0,1289
MF 4	0,0609	0,0626	0,0338	0,0553	0,2017	0,0285	0,0738
MF 5	0,1240	0,0791	0,0872	0,0248	0,0903	0,1584	0,0940
MF 6	0,1262	0,1324	0,0484	0,1990	0,0586	0,1027	0,1112
	Σ						1,0000

Tabela 6.15 – Vetor prioridades dos Subcritérios para o Critério Segurança

	MF 1	MF 2	MF 3	MF 4	MF 5	MF 6	W
MF 1	0,4331	0,5342	0,4462	0,3226	0,4031	0,3230	0,4104
MF 2	0,1083	0,1336	0,2486	0,2034	0,1189	0,1112	0,1540
MF 3	0,1392	0,0771	0,1434	0,2806	0,2016	0,2171	0,1765
MF 4	0,1130	0,0553	0,0430	0,0842	0,1240	0,1450	0,0941
MF 5	0,0999	0,1045	0,0662	0,0631	0,0930	0,1244	0,0919
MF 6	0,1065	0,0954	0,0525	0,0461	0,0594	0,0794	0,0732
	Σ						1,0000

Tabela 6.16 – Vetor prioridades dos Subcritérios para o Critério Custos

	MF 1	MF 2	MF 3	MF 4	MF 5	MF 6	W
MF 1	0,2810	0,4539	0,2946	0,2191	0,1740	0,1694	0,2653
MF 2	0,1022	0,1650	0,3271	0,2337	0,1367	0,1993	0,1940
MF 3	0,1510	0,0799	0,1583	0,3575	0,1897	0,1744	0,1851
MF 4	0,1349	0,0743	0,0465	0,1052	0,3150	0,1578	0,1389
MF 5	0,2484	0,1857	0,1283	0,0514	0,1538	0,2492	0,1695
MF 6	0,0826	0,0413	0,0452	0,0332	0,0308	0,0498	0,0472
	Σ						1,0000

As tabelas 6.17, 6.18, 6.19, 6.20, 6.21, e 6.22 mostram o vetor prioridades das alternativas em relação a cada um dos subcritérios:

Tabela 6.17 – Vetor prioridades das Alternativas para o Subcritério Modo de Falha 1

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	W
A1	0,0403	0,0618	0,0535	0,0328	0,0290	0,0289	0,0346	0,0320	0,0391
A2	0,0867	0,1331	0,1247	0,1697	0,1822	0,1012	0,1508	0,1329	0,1352
A3	0,2416	0,3423	0,3208	0,3393	0,2816	0,2964	0,2200	0,3611	0,3004
A4	0,1786	0,1141	0,1375	0,1454	0,1863	0,2265	0,1508	0,1313	0,1588
A5	0,1035	0,0544	0,0849	0,0582	0,0745	0,0747	0,1467	0,0780	0,0844
A6	0,1208	0,1141	0,0939	0,0557	0,0866	0,0867	0,0978	0,0837	0,0924
A7	0,0426	0,0324	0,0535	0,0354	0,0186	0,0325	0,0367	0,0333	0,0356
A8	0,1858	0,1479	0,1312	0,1636	0,1412	0,1531	0,1627	0,1477	0,1542
									Σ 1,0000

Tabela 6.18 – Vetor prioridades das Alternativas para o Subcritério Modo de Falha 2

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	W
A1	0,0550	0,0844	0,0523	0,0537	0,0486	0,0819	0,0906	0,0253	0,0615
A2	0,0471	0,0724	0,0718	0,0628	0,1127	0,1210	0,0493	0,0804	0,0772
A3	0,2537	0,2432	0,2413	0,2630	0,2652	0,1940	0,1828	0,1846	0,2285
A4	0,3124	0,3521	0,2803	0,3054	0,3183	0,3195	0,2786	0,2389	0,3007
A5	0,0899	0,0511	0,0724	0,0764	0,0796	0,1164	0,1611	0,0652	0,0890
A6	0,0689	0,0615	0,1278	0,0982	0,0702	0,1027	0,1567	0,2215	0,1134
A7	0,0317	0,0766	0,0690	0,0573	0,0258	0,0342	0,0522	0,1189	0,0582
A8	0,1413	0,0587	0,0852	0,0833	0,0796	0,0302	0,0286	0,0652	0,0715
									Σ 1,0000

Tabela 6.19 – Vetor prioridades das Alternativas para o Subcritério Modo de Falha 3

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	W
A1	0,1772	0,1894	0,2141	0,1935	0,1698	0,1000	0,1390	0,1634	0,1683
A2	0,1418	0,1515	0,2941	0,2666	0,1519	0,0679	0,0968	0,1206	0,1614
A3	0,1022	0,0636	0,1235	0,1376	0,1728	0,2359	0,1564	0,1371	0,1411
A4	0,1418	0,0880	0,1389	0,1548	0,2145	0,2470	0,1787	0,1645	0,1660
A5	0,1119	0,1070	0,0767	0,0774	0,1072	0,1760	0,1490	0,0841	0,1111
A6	0,1969	0,2479	0,0582	0,0696	0,0677	0,1111	0,1787	0,2127	0,1429
A7	0,0570	0,0699	0,0353	0,0387	0,0322	0,0278	0,0447	0,0519	0,0447
A8	0,0714	0,0826	0,0593	0,0619	0,0839	0,0344	0,0566	0,0658	0,0645
									Σ 1,0000

Tabela 6.20 – Vetor prioridades das Alternativas para o Subcritério Modo de Falha 4

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	W
A1	0,0740	0,0721	0,1070	0,0829	0,1587	0,1171	0,0254	0,0699	0,0884
A2	0,2422	0,2360	0,3253	0,2491	0,1725	0,1561	0,1869	0,1808	0,2186
A3	0,0711	0,0745	0,1027	0,0983	0,1450	0,1301	0,2256	0,1644	0,1265
A4	0,2634	0,2795	0,3082	0,2950	0,3312	0,2212	0,2759	0,2301	0,2756
A5	0,0386	0,1133	0,0586	0,0738	0,0828	0,1041	0,1640	0,1068	0,0928
A6	0,0247	0,0590	0,0308	0,0521	0,0311	0,0390	0,0185	0,0301	0,0357
A7	0,2337	0,1012	0,0365	0,0856	0,0404	0,1686	0,0801	0,1685	0,1143
A8	0,0522	0,0644	0,0308	0,0632	0,0382	0,0639	0,0234	0,0493	0,0482
Σ									1,0000

Tabela 6.21 – Vetor prioridades das Alternativas para o Subcritério Modo de Falha 5

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	W
A1	0,0649	0,1542	0,0918	0,0772	0,0322	0,0577	0,0939	0,0244	0,0745
A2	0,0464	0,1102	0,2448	0,0883	0,1126	0,1009	0,0905	0,1205	0,1143
A3	0,1425	0,0907	0,2016	0,2501	0,2961	0,2631	0,2547	0,1927	0,2114
A4	0,2226	0,3305	0,2134	0,2648	0,2682	0,2703	0,2574	0,2193	0,2558
A5	0,1948	0,0944	0,0657	0,0953	0,0966	0,1370	0,1399	0,0731	0,1121
A6	0,0730	0,0708	0,0497	0,0636	0,0457	0,0649	0,0748	0,0997	0,0678
A7	0,0433	0,0763	0,0496	0,0644	0,0432	0,0543	0,0626	0,1905	0,0730
A8	0,2125	0,0729	0,0834	0,0963	0,1053	0,0519	0,0262	0,0798	0,0910
Σ									1,0000

Tabela 6.22 – Vetor prioridades das Alternativas para o Subcritério Modo de Falha 6

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	W
A1	0,0532	0,0780	0,0613	0,0481	0,0408	0,0884	0,0780	0,0334	0,0601
A2	0,0266	0,0390	0,0565	0,0361	0,0264	0,0442	0,0475	0,0255	0,0377
A3	0,2992	0,2379	0,3447	0,5342	0,3769	0,2210	0,2080	0,2752	0,3121
A4	0,1773	0,1730	0,1034	0,1603	0,2827	0,2062	0,2278	0,2627	0,1992
A5	0,1473	0,1671	0,1034	0,0641	0,1131	0,1473	0,1411	0,1876	0,1339
A6	0,0266	0,0390	0,0689	0,0343	0,0339	0,0442	0,0619	0,0306	0,0424
A7	0,0304	0,0366	0,0739	0,0314	0,0357	0,0318	0,0446	0,0350	0,0399
A8	0,2394	0,2295	0,1880	0,0916	0,0905	0,2169	0,1910	0,1501	0,1746
Σ									1,0000

Finalmente, após a avaliação de todos os pesos relativos, as tabelas 6.23 e 6.24 mostram, respectivamente, a matriz final do vetor prioridades das alternativas em relação aos subcritérios, e a classificação das alternativas de acordo com o vetor prioridades:

Tabela 6.23 – Vetor prioridades das Alternativas em relação ao Objetivo

	MF1	MF2	MF3	MF4	MF5	MF6	X	W	=	PRODUTO
A1	0,0391	0,0615	0,1683	0,0884	0,0745	0,0601		0,2613		0,0911
A2	0,1352	0,0772	0,1614	0,2186	0,1143	0,0377		0,1338		0,1382
A3	0,3004	0,2285	0,1411	0,1265	0,2114	0,3121		0,2833		0,2116
A4	0,1588	0,3007	0,1660	0,2756	0,2558	0,1992		0,1495		0,2099
A5	0,0844	0,0890	0,1111	0,0928	0,1121	0,1339		0,0998		0,1002
A6	0,0924	0,1134	0,1429	0,0357	0,0678	0,0424		0,0722		0,0950
A7	0,0356	0,0582	0,0447	0,1143	0,0730	0,0399				0,0570
A8	0,1542	0,0715	0,0645	0,0482	0,0910	0,1746				0,0970

Tabela 6.24 – Peso de cada Alternativa em relação ao Objetivo

		CLASSIFICAÇÃO
A1 - FIABILIDADE HUMANA	= 9,11%	7
A2 - FORMAÇÃO	= 13,82%	3
A3 - PLANEAMENTO DE MANUTENÇÃO	= 21,16%	1
A4 - GESTÃO DE PEÇAS DE REPOSIÇÃO	= 20,99%	2
A5 - GESTÃO DE RECURSOS DA MANUTENÇÃO	= 10,02%	4
A6 - PLANEAMENTO E OPERAÇÃO DO EQUIPAMENTO	= 9,50%	6
A7 - ENVELHECIMENTO	= 5,70%	8
A8 - TIPOS DE MANUTENÇÃO E SUA INTERFACE	= 9,70%	5

Ficam assim definidos os pesos das alternativas em relação ao objetivo, isto é, a influência de cada fator na disponibilidade operacional do equipamento considerado.

O fator mais importante é o Planeamento da Manutenção, com 21,16%, seguido da Gestão de Peças de Reposição, com 20,99 %, e o terceiro fator mais importante é a Formação com 13,82%. De referir a pequena diferença entre o primeiro e o segundo fator e a diferença mais substancial destes dois para o terceiro fator mais importante. Também de salientar a diferença muito ténue entre o quarto fator, a Gestão de Recursos da Manutenção, com 10,02%, o quinto fator, os Tipos de Manutenção e sua Interface, com 9,70%, o sexto fator,

o Planeamento e Operação do Equipamento, com 9,50%, e o sétimo fator, a Fiabilidade Humana com 9,11%. Por último, com alguma distância para este grupo anterior de fatores, o oitavo fator, o Envelhecimento, com 5,70%.

Capítulo 7 – Conclusões

Uma das principais conclusões deste trabalho é relativa à FMEA. Esta metodologia apresenta-se muito versátil para a identificação e análise de criticidade dos modos de falha e estreita a distância entre os elementos que a realizam e o equipamento onde foi aplicada. Para se aproveitar todas as potencialidades desta ferramenta, um estudo rigoroso e exaustivo do equipamento tem de ser efetuado, ficando desta forma, os elementos da equipa da FMEA, com um profundo conhecimento da máquina estudada, seus componentes e órgãos assim como da envolvente do equipamento e a posição no fluxo produtivo da empresa. No entanto, o grau de exigência da FMEA, faz com que esta ferramenta se torne muito trabalhosa, e que obrigue a uma certa disciplina na sua realização. Neste trabalho foram identificadas 1157 situações de risco provocadas por modos de falhas que foram o resultado de um histórico de sete anos e meio. Foi, portanto, um trabalho exaustivo, mas importante, porque um equipamento com uma FMEA/FMECA representa seguramente uma mais valia para o trabalho da manutenção.

Com a aplicação do AHP neste trabalho constatou-se o facto desta metodologia ser das mais utilizadas quando se procura uma ferramenta de análise para apoio à decisão. Toda a implementação é bastante dedutiva, suportando e credibilizando as decisões sempre com conceitos matemáticos, por forma a revestir as suas decisões de fundamento teórico objetivo, eliminando quaisquer conclusões de índole subjetiva. Etapa por etapa o processo vai construindo o caminho para a decisão que melhor corresponde ao objetivo, e o teste de consistência realizado em todas elas garante a coerência e credibilidade dos resultados apresentados. Neste trabalho em concreto, as classificações dos fatores, com o planeamento da manutenção a ser o mais importante com 21,16% e o envelhecimento o menos importante com 5,70% vão ao encontro do objetivo do AHP, que era quantificar os fatores que afetam a disponibilidade operacional do equipamento selecionado para este trabalho.

Com este trabalho espera-se ter contribuído para uma visão diferente sobre o desempenho de um equipamento de produção e a sua importante relação com fatores intrínsecos e particulares do contexto onde está inserido, relevando a ligação entre homem e máquina como elemento decisivo na missão da manutenção.

Para trabalhos futuros, e dando continuidade a este caso de estudo, apresenta-se como trabalho potencial, uma análise mais profunda aos quatro fatores com maior importância, o planeamento da manutenção, a gestão de peças de reposição, a formação, e a gestão de recursos da manutenção, para desenvolver medidas concretas a implementar no seio da empresa e diretamente no equipamento por forma a melhorar a disponibilidade operacional do mesmo, atuando nestes quatro fatores.

Referências

ABNT (NBR5462) (1994), Norma para Confiabilidade e Manutenibilidade, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, Brasil

Abreu, L. M., Granemann, S. R., Gartner, I. & Bernardes, R. S. (2000), Escolha de um programa de controle da qualidade da água para consumo humano: aplicação do método AHP, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Vol.4, No.2, pp.257-262

AFNOR (NFX60-010) (1984), Maintenance Industrielle, Fonction Maintenance, Association Française de Normalisation, France

Ahmet, C. K. & Mehmet, E. (2012), Fuzzy failure modes and effects analysis by using fuzzy TOPSIS-based fuzzy AHP, Experts Systems with Applications, Vol.39, Issue:1, pp.61-67

Assis, R. (2004), Apoio à decisão em gestão da manutenção, Lidel, Edições Técnicas, Lisboa, Portugal

Assis, R. (2007), Manutenção Centrada na Fiabilidade: Economia das decisões, Lidel, Edições Técnicas, Lisboa, Portugal

Assis, R. (2010), Apoio à decisão em manutenção na gestão de activos físicos, Lidel, Edições Técnicas, Lisboa, Portugal

August, J. (2002), Failure Mode and Effect Analysis, CQA, American Biltrite Inc., Tape Products Division, Moorestown, United States of America

Baptista, L. M. L. (2007), RAMS aplicado a sistemas reparáveis – extração de oleaginosas, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Monte da Caparica, Portugal

Barbarosoglu, G. & Pinhas, D. (1995), Capital rationing in the public sector using the Analytic Hierarchy Process, The Engineering Economist, Vol.40, Issue:4, pp.315-341

Bazerman, M. H. (1994), Judgment in Managerial Decision Making, third edition, John Wiley & Sons, New York, United States of America

Belton, V. & Stewart, T. J. (2002), Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht

Ben-Daya, M. & Raouf, A. (1996), A revised failure mode and effects analysis model, International Journal of Quality & Reliability Management, Dhahran, Saudi Arabia, Vol.13, No.1, pp.43-47

Boritz, J. E. (1992), Pairwise Comparison – The Analytic Hierarchy Process, University of Waterloo, Belgium

Bragatto, P. & Milazzo, M. F. (2016), Risk due to the ageing of equipment: assessment and management, Chemical Engineering Transactions, Vol.53

Brito, T. B., Silva, R. C. S., Botter, R. C., Pereira, N. N. & Medina, A. C. (2010), Discrete event simulation combined with multi-criteria decision analysis applied to steel plant logistics system planning, in: Winter Simulation Conference, pp.2126-2137, Baltimore, Maryland, United States of America

Brunelli, M. & Fedrizzi, M. (2015), Axiomatic Properties of Inconsistency Indices for Pairwise Comparisons, Journal of the Operational Research Society, Vol.66, Issue:1, pp.1-15

Brunelli, M., Canal, L. & Fedrizzi, M. (2013), Inconsistency Indices for Pairwise Comparison Matrices: A numerical Study, Annals of Operations Research, Vol.211, Issue:1, pp.493-509

BS OHSAS 18001 (2007), Standards for Occupational Health and Safety Assessment Series, British Standards Institution, United Kingdom

Cabral, J. P. S. (2006), Organização e Gestão da Manutenção, dos conceitos à prática, Lidel, Edições Técnicas, 6ª Edição, Lisboa, Portugal

Cabral, J. P. S. (2009), Gestão da Manutenção de Equipamentos, Instalações e Edifícios, Lidel, Edições Técnicas, Lisboa, Portugal

Cabrita, C. P. & Cardoso, A. J. M. (2015), Conceitos e definições de falha e avaria nas normas portuguesas de manutenção NP EN 13306:2007 e NP EN 15341:2009, Revista Manutenção, APMI, Associação Portuguesa de Manutenção Industrial, No.125, 2ºTrimestre de 2015

Caetano, A. (2007), Avaliação da Formação – Estudos em Organizações Portuguesas, Livros Horizonte, Lisboa, Portugal

Canuto, R. M. F. (2009), As Melhores Práticas de Gestão para a Melhoria da Fiabilidade Operacional, Dissertação para obtenção do título de Doutor em Gestão, Universidade Aberta, Lisboa, Portugal

Chang, C. L., Liu, P. H. & Wei, C. C. (2001), Failure Mode and Effects Analysis using Grey Theory, Integrated Manufacturing Systems, Vol.12, No.3, pp.211-216

Chuang, P. (2010), Incorporating disservice analysis to enhance perceived service quality, Industrial Management & Data Systems, Kaohsiung City, China, Vol.110, No.3, pp.368-391

Coelho, L. K., Silva, G. A., Filho, O. P. A. & Borba, J. L. (2011), Aplicação da manutenção centrada em confiabilidade à extrusora polimérica, XI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica e Industrial, Porto Alegre, Brasil

Crawford, G. & Williams, C. (1985), A note on the analysis of subjective judgment matrices, Journal of Mathematical Psychology, Vol.29, Issue:4, pp.387-405

Dailey, K. W. (2004), The FMEA Pocket Handbook, DW Publishing Co.

De Steiguer, J. E., Duberstein, J. & Lopes, V. (2003), The Analytic Hierarchy Process as a means for integrated watershed management, in: Interagency Conference on Research on the Watersheds, Agricultural Research Service, Benson, Arizona, United States of America

Dhillon, B. S. (1999), Design Reliability: Fundamentals and Applications, CRC Press, Taylor & Francis Group, LCC, Boca Raton, Florida, United States of America

Dhillon, B. S. (2006), Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers, CRC Press, Taylor & Francis Group, LCC, Boca Raton, Florida, United States of America

Dias, J. M. R. (2003), *A Gestão da Manutenção em Portugal*, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Economia e Gestão, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal

Dodgson, J., Spackman, M., Pearman, A. & Phillips, L. (2001), *DTLR multi-criteria analysis manual*, DTRL – Department for Transport, Local Government and the Regions, United Kingdom

Dong, Q. & Cooper, O. (2016), A peer-to-peer dynamic adaptive consensus reaching model for the group AHP decision making, *European Journal of Operational Research*, Vol.250, Issue:2, pp.521-530

Dooley, A. E., Smeaton, D. C., Sheath, G. W. & Ledgard, S. F. (2009), Application of multiple criteria decision analysis in the New Zealand agricultural industry, *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, Vol.16, Issue:1-2, pp.39-53

Drake, P. R. (1998), *Using the Analytic Hierarchy Process in Engineering Education*, Tempus Publications, United Kingdom

Dyer, J. S. (1990), Remarks on the Analytic Hierarchy Process, *Management Science*, Vol.36, No.3, pp.247-399

Ehrlich, P. J. (2004), *Procedimentos para apoio às decisões: gestão dos riscos e de objetivos conflitantes*, Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, Brasil

Eldrandaly, K., Ahmed, A. H. & Aziz, N. A. (2009), An expert system for choosing the suitable MCDM method for solving a spatial decision problem, 9th International Conference on Production Engineering, Design and Control, Alexandria, Egypt

Emrouznejad, A. & Marra, M. (2017), The state-of-the-art development of AHP (1979-2017): a literature review with a social network analysis, *International Journal of Production Research*, Vol.55, Issue:22, pp.6653-6675

Ferreira, J. M. C., Neves, J. & Caetano, A. (2001), *Manual de Psicossociologia das Organizações*, McGraw-Hill, Lisboa, Portugal

Ferreira, L. A. (1998), Uma introdução à Manutenção, Publindústria, Edições Técnicas, Porto

Ford Machinery FMEA (1996), Failure Mode and Effects Analysis Handbook Supplement for Machinery, Ford Production System, Ford Motor Company

Ford Motor Company (1995), Potential Failure Mode and Effects Analysis; Concept (System) – Design – Process Handbook, Prepared by: Environmental and Safety Engineering Automotive Safety and Engineering Standards Office, Ford Motor Company

Forman, E. H. & Gass, I. S. (2001), The Analytic Hierarchy Process – an exposition, Operations Research, Vol.49, No.4, pp.469-486

Forman, E. H. & Selly, M. A. (2001), Decision by objectives: how to convince others that you are right, World Scientific Publishing, New Jersey, United States of America

Fulop, J. (2005), Introduction to Decision Making Methods in BDEI Workshop 2005, pp.1-15

Ghotb, F. & Warren, L. (1995), A case study comparison of the Analytic Hierarchy Process and a fuzzy decision methodology, The Engineering Economist Journal, Vol.40, No.3, pp.233-246

Guimarães, A. C. F. & Lapa, C. M. F. (2004), Fuzzy FMEA applied to PWR chemical and volume control system, Progress in Nuclear Energy, Vol.44, Issue:3, pp.191-213

Hajshirmogammadi, A. & Wedley, W. (2004), Maintenance management – an AHP application for centralization/descentralization, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol.10, No.1, pp.16-25

Haller, W., Tiedeman, E. & Whitaker, R. (1996), Expert choice – user manual, Pittsburgh, Pennsylvania, United States of America

Hammond, J. S., Keeney, R. L. & Raiffa, H. (1999), Smart choices: a practical guide to making better life decisions, Random House LLC

- Hanne, T. (1995), On the classification of MCDM literature, methods of multicriteria decision theory, Proceedings of the 5th Workshop of the DGOR – Working Group Multicriteria Optimization and Decision Theory, pp.113-120
- Harker, P. T. & Vargas, L. G. (1987), The theory of ratio scale estimation: Saaty's Analytic Hierarchy Process, Management Science, Vol.33, No.11, pp.1367-1509
- Harker, P. T. & Vargas, L. G. (1990), Reply to 'Remarks on the Analytic Hierarchy Process' by J. S. Dyer, Management Science, Vol.36, No.3, pp.247-399
- Harker, P. T. (1987), Incomplete pairwise comparisons in the Analytic Hierarchy Process, Mathematical Modelling, Vol.9, Issue:11, pp.837-848
- Heller, S. (2005), Managing Industrial Risk – Having a tested and proven system to prevent and assess risk, Journal of Hazardous Materials, Vol.130, pp.58-63
- Herpich, C. & Fogliatto, F. S. (2013), Aplicação de FMEA para definição de estratégias de manutenção em um sistema de controle e instrumentação de turbogeradores, Iberoamerican Journal of Industrial Engineering, Florianópolis, SC, Brasil, Vol.5, No.9, pp.70-88
- Hokstad, P., Johnsen, R. & Habrekke, S. (2008), Ageing and life extension of offshore installations, Petroleum Safety Authority, PSA, Stavangen
- Horrocks, P., Mansfield, D., Parker, K., Thomson, S., Atkinson, T. & Worsley, J. (2010), Managing Ageing Plant: a summary guide, Published by The Health and Safety Executive (HSE) 08/10, United Kingdom
- Hwang, C. L. & Masul, A. S. M. (1979), Multiple Objective Decision Making: methods and applications – A state-of-the-art survey, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Vol.164, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, DOI:10.1007/978-3-642-45511-7
- ICA (2015), Gestão de Ativos, Guia para Aplicação da Norma ABNT NBR ISO 55001, International Copper Association, Latin America, Los Condes, Santiago, Chile
- Jansen, L. K. C., Shimizo, T. & Jansen, J. U. (2004), Uma análise de investimentos considerando factores intangíveis, in: XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Florianópolis, Brasil

Jiang, A., Dong, N., Tam, K. L. & Lyu, C. (2018), Development and optimization of a condition-based maintenance policy with sustainability requirements for production system, *Mathematical Problems in Engineering*, Article ID4187575

Kardec, A. & Nascif, J. (2001), *Manutenção Função Estratégica*, Editora Qualitymark, Rio de Janeiro, Brasil

Kornysheva, E. & Camille, S. (2007), MCDM techniques selection approaches: state of the art, in: *Proceedings of IEEE Symposium on Computational Intelligence in Multicriteria Decision Making*, Honolulu, Havai, United States of America

Liu, H. C., Lin, L., Liu, N. & Mao, L. X. (2012), Risk evaluation in Failure Mode Effect Analysis with extended VIKOR method under fuzzy environment, *Experts Systems with Applications*, Vol.39, Issue:17, pp.12926-12934

Liu, H. C., Liu, L., Bian, Q. H., Lin, Q. L., Dong, N. & Xu, P. C. (2011), Failure Mode and Effects Analysis using fuzzy evidential reasoning approach and Grey Theory, *Expert Systems with Applications*, No.38, pp.4403-4415

Lu, J., Zhang, G., Ruan, D. & Wu, F. (2007), *Multi-Objective group decision making – methods, software and applications with fuzzy set technology*, Imperial College Press, London, United Kingdom

Machado, O. A. & Ferreira, V. R. (2010), O cálculo da quantidade de giro de suprimentos reparáveis para frotas de aeronaves de asa rotativa, ISSN 2175-6295, 12 e 13 de agosto de 2010, Rio de Janeiro, Brasil

Maheswaran, K. & Loganathan, T. (2013), A novel approach for prioritization of failure modes in FMEA using MCDM, *International Journal of Engineering Research and Applications*, Vol.3, Issue:4, pp. 733-739

Martorell, S., Sánchez, A., Carlos, S. & Serradell, V. (2004), Alternatives and challenges in optimizing industrial safety using genetic algorithms, *Reliability Engineering and System Safety*, No.86, pp.25-38

Martorell, S., Villanueva, J. F., Carlos, S., Nebot, Y., Sánchez, A., Pitarch, J. L. & Serradell, V. (2005), RAMS+C informed decision-making with application to multi-

objective optimization of technical specifications and maintenance using genetic algorithms, *Reliability Engineering and Systems Safety*, No.87, pp.65-75

Milazzo, M. F., Bragatto, P., Ancione, G. & Scionti, G. (2018), Ageing assessment and management at major-hazard industries, *Chemical Engineering Transactions*, Vol.67

Miller, R. (2006), *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA, FMECA)*, Clinic and Laboratory Standards Institute

MIL-STD-1629A (1984), *Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*, Washington D.C., United States of America, DoD – Department of Defense

Misra, K. (2008), *Maintenance Engineering and Maintainability: An Introduction*, obtido pela internet: <http://www.researchgate.net/publication/227046791>, DOI:10.1007/978-1-84800-131-2_46

Monchy, F. (1989), *A função Manutenção – formação para a gerência da manutenção industrial*, Editora Durban, São Paulo, Brasil

Monteiro, R. (2018), Como a IIoT melhora a gestão do desempenho de activos, *Revista Manutenção*, APMI, No.136, 1º Trimestre 2018

Moubray, J. (1997), *Reliability-Centered Maintenance, RCM, Second Edition*, Butterworth-Heinemann, Oxford, United Kingdom

Moura, C. (2000), *Análise do Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA)*, Manual de Referência SAE J-1739, ASQC

Nord, L. O., Anantharaman, R., Rausand, M. & Bolland, O. (2009), A qualitative reliability and operability analysis of an integrated reforming combined cycle plant with CO₂ capture, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, Vol.3, No.4, pp.411-421

NP EN 13306 (2007), *Terminologia da Manutenção*, IPQ, Almada, Portugal

NP EN 15341 (2009), *Indicadores de desempenho da Manutenção (KPI)*, IPQ, Almada, Portugal

NP ISO 55000 (2016), *Sistema de Gestão de Ativos*, IPQ, Almada, Portugal

OPAH (2004), Operational Availability Handbook, Reliability Analysis Center (RAC), 201 Mill Street, Rome, New York, United States of America, obtido pela internet: www.acqnotes.com/attachments/introduction%20to%20operational%20availability.pdf

acedido em 13.02.2019

Palady, P. (1997), FMEA: Análise dos Modos de Falha e Efeitos, 5ª Edição, IMAM, São Paulo, Brasil

Pallerosi, C. A. (2008), Confiabilidade Humana: nova metodologia de análise qualitativa e quantitativa, 6º Simpósio Internacional de Confiabilidade, Florianópolis, Brasil

Pereira, F. J. D. (2003), Fiabilidade, Escola Superior de Tecnologia, Instituto Politécnico de Setúbal, Setúbal, Portugal

Pinho, C. A. F. (2017), Desenvolvimento de um Modelo para avaliar o nível de Manutenção Lean de uma Organização, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, Portugal

Pinho, L. A., Gomes, S. M. S., Pinho, W. A. & Azevedo, T. C. (2008), FMEA: Análise do Efeito e Modo de Falha em serviços – Uma metodologia de prevenção e melhoria dos serviços contáveis, ABCustos, Salvador, Brasil, Vol.3, No.1

Pinto, C. V. (2002), Organização e Gestão da Manutenção, Edição Monitor, 2ª Edição, Lisboa, Portugal

Pryor, G. A. (2008), Methodology for Estimation of Operational Availability as applied to Military Systems, International Test and Evaluation Association Journal, No.29, pp.420-428

Ramanathan, R. & Ganesh, L. S. (1995), Energy resource allocation incorporating quantitative and qualitative criteria: an integrated model using Goal Programming and AHP, Socio-Economic Planning Sciences, Vol.29, No.3, pp.197-218

Rausand, M. (2004), Chapter 3: FMECA, Department of Production and Quality Engineering, RAMS Group, NTNU, Norway

Roy, B. (1985), Metodologie Multicriterie D'aide a la Decision, Paris, Economica, 1985

Saaty, T. L. & Vargas, L. G. (1987), Uncertainty and rank order in the Analytic Hierarchy Process, *European Journal of Operational Research*, Vol.32, Issue:1, pp.107-117

Saaty, T. L. (1990), An exposition on the AHP in reply to the paper 'Remarks on the Analytic Hierarchy Process', *Management Science*, Providence, Vol.36, No.3, pp.259-268

Saaty, T. L. (2004), Scales from measurement not measurement from scales, in: *International Conference on Multiple Criteria Decision Making – MCDM*, Whistler, Canada, *Proceedings Whistler 2004*, pp.10

Saaty, T. L. (2008), Decision Making with the Analytic Hierarchy Process, *International Journal of Services Sciences*, Genova, Vol.1, No.1, pp.83-98

Sakurada, E. Y. (2001), As técnicas de análise dos modos de falha e seus efeitos e análise da árvore de falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos, *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Salomon, V. A. P., Pamplona, E. O. & Montevechi, J. A. B. (1999), Justificativas para aplicação do método de análise hierárquica, in: *Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 19 de janeiro, Associação Brasileira de Engenharia de Produção, ABEPRO

Sankar, N. R. & Prabhu, B. S. (2001), Modified approach for prioritization of failures in a system failure mode and effects analysis, *International Journal of Quality & Reliability Management*, Chennai, India, Vol.18, No.3, pp.324-335

Santana, E. A. (1996), Múltiplos Critérios: uma alternativa, apesar das fragilidades das soluções, *XVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, Universidade Metodista de Piracicaba, Associação Brasileira de Engenharia de Produção, São Paulo, Brasil

Santos, A. A., Gonçalves, J. & Gonçalves, A. (2018), Elaboração de um diagrama de manutenção aplicado à mini-fábrica e à moagem de malte, *Revista Manutenção*, APMI, No.136, 1º trimestre 2018

Seixas, E. S. (2011), Erro Humano na Manutenção, obtido pela internet: www.arsymposium.org/southamerica/palestras2011/P4S2paper_ErroHumano_Seixas.pdf, acessado em 31.01.2019

- Seydel, J. (2006), Data envelopment analysis for decision support, *Industrial Management and Data Systems*, Vol.106, Issue:1, pp.81-95
- Sharma, R. K. & Sharma, P. (2012), Integrated framework to optimize RAM and cost decisions in a process plant, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, No.25, pp.883-904
- Sharma, R. K., Kumar, D. & Kumar, P. (2005), Systematic Failure Mode Effect Analysis (FMEA) using fuzzy linguistic modelling, *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol.22, No.9, pp.986-1004
- Shiau, Y. C., Tsai, T. P., Wang, W. C. & Huang, M. L. (2002), Use questionnaire and AHP techniques to develop sub-contractor selection system, *Chung Hua University, China*
- Silva, C. E. S., Tin, J. V. & Oliveira, V. C. (1997), Uma análise da disseminação do FMEA nas normas de: Sistema de Gestão pela Qualidade (ISO9000 e QS9000), Sistema de Gestão Ambiental (ISO14000) e Sistema de Gestão da Segurança e Saúde do Trabalho (BS8800-futura ISO18000), 17º Encontro Nacional de Engenharia de Produção, ENEGEP, Gramado, RS, Brasil
- Silva, R. L. A., Soares, P. R. F. T. & Silva, A. K. B. (2008), Análise de risco utilizando a ferramenta FMEA em um gerador de vapor, XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Rio de Janeiro, Brasil
- Siqueira, K. T. (1996), Critérios para escolha do sistema de gerenciamento da manutenção, *Revista Manutenção No.57*, março/abril 1996, ABRAMAN, Brasil
- Slack, N., Chambers, S. & Johnston, R. (2008), *Administração da Produção*, 8ª Edição, Atlas, São Paulo, Brasil
- Sobral, J. A. S. (2010), Utilização da metodologia “RAMS” na análise de barreiras de segurança de instalações industriais de risco elevado, *Dissertação apresentada para obtenção do título de Doutor em Engenharia, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal*

Sobral, J. A. S. (2015), Apontamentos da disciplina de Fiabilidade, Mestrado em Engenharia Mecânica, Área Departamental de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, Portugal

Souza, R. V. B. (2012), Aplicação do método FMEA para priorização de ações de melhoria em fluxos de processos, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de S. Carlos, Universidade de São Paulo, Brasil

Spreafico, C., Russo, D. & Rizzi, C. (2017), A state-of-the-art review of FMEA (FMECA) including patents, Computer Science Review No.25, pp.19-28

Stamatis, D. H. (2003), Failure Mode and Effect Analysis: From Theory to Execution, American Society for Quality, Quality Press, Milwaukee, United States of America

TM5-698-4 (2006), Failure Modes, Effects and Criticality Analysis (FMECA) for Command, Control, Communications, Computer, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance (CAISR) Facilities, 29 September 2006, United States of America, Department of the Army

Torres-Echeverria, A. C. (2009), Modelling and optimization of safety instrumental systems based on dependability and cost measures, PhD thesis, The University of Sheffield, Sheffield, United Kingdom

Torres-Echeverria, A. C., Martorell, S. & Thompson, H. A. (2009), Design optimization of a safety-instrumented system based on RAMS+C addressing IEC61508 requirements and diverse redundancy, Reliability Engineering and System Safety, No.94, pp.162-179

Trammell, S. R., Lorenzo, D. K. & Davis, B. J. (2004), Integrated Hazard Analysis: using the strengths of multiple methods to maximize the effectiveness, Professional Safety, Vol.49, pp.29-37

Vale, A. P. L. (2015), Formação em Empresas: opções e práticas no (des)encontro entre a formação técnica e a formação transversal, Dissertação de Mestrado, Universidade Católica Portuguesa, Porto, Portugal

Ventura, J. (2008), Apontamentos da cadeira de Gestão da Qualidade e Segurança – Parte da Segurança, Instituto Superior Técnico, Lisboa

Viana, H. R. G. (2013), Fatores de sucesso para gestão da manutenção de ativos: um modelo para elaboração de um plano diretor de manutenção, Dissertação para a obtenção do título de Doutor em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

Villari, B. D. (2011), Sistematização de problemas e propostas de melhorias de aplicação do FMEA no processo de desenvolvimento de produto, Trabalho de conclusão do Curso de Engenharia de Produção Mecânica, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil

Von Ashen, A. (2008), Cost-oriented failure mode and effects analysis, International Journal of Quality & Reliability Management, Darmstadt, Germany, Vol.25, No.5, pp.466-476

Xavier, J. N. (2005), Manutenção classe Mundial, Congresso Brasileiro de Manutenção, ABRAMAN, Salvador, Brasil, obtido pela internet: www.tecem.com.br/downloads/manutenção.pdf

Xu, K., Tang, L. C., Xie, M., Ho, S. L. & Zhu, M. L. (2002), Fuzzy assessment of FMEA for engine systems, Reliability Engineering and System Safety, Vol.75, pp.17-29

Zeleny, M. & Cochrane, J. L. (1982), Multiple Criteria Decision Making, McGraw-Hill, New York, United States of America

Zhu, B. & Xu, Z. (2014), Analytic Hierarchy Process – hesitant group decision making, European Journal of Operational Research, Vol.239, Issue:3, pp.794-801

Webgrafia

www.ergonomicsblog.uk/2015/07/23/performance_shaping_factors, acedido em 07.04.2018

www.fagorarrasate.com, acedido em 09.01.2019

www.iqasystem.com/news/risk-priority-number/#33-SOD, acedido em 23.01.2019

www.jier-na.com, acedido em 26.01.2019

www.qualitydigest.com/inside/quality-insider-article/problems-risk-priority-numbers,
acedido em 03.01.2019

www.reliasoft.com/resources/resource-center/examining-risk-priority-numbers-in-fmea,
acedido em 14.02.2019

www.schulergroup.com, acedido em 08.01.2019

www.tubemills-reliantt.com, acedido 25.01.2019

www.weibull.com/hotwire/issue14/relbasics14.htm, acedido em 03.01.2019

Anexo 1 – Questionário 1 AHP

QUESTIONÁRIO – ESPECIALISTA 1
(com posterior correcção devido a inconsistência)

Actualmente muitas organizações têm utilizado ferramentas que suportam a selecção e decisão perante problemas complexos com muitas e diferentes variáveis.

O método Analytic Hierarchy Process (AHP) tem sido empregue por um grande número de empresas devido à fácil aplicação da sua metodologia e também à variedade de áreas onde pode ser utilizado.

O método baseia-se na Pairwise Comparison, isto é; comparações entre duas possibilidades que terão de ser avaliadas da seguinte maneira:

Se a possibilidade do lado esquerdo da escala for considerada mais importante que a possibilidade do lado direito, deverá ser assinalado na escala de 1 a 9 do lado esquerdo o valor dessa importância.

O mesmo se aplica para a possibilidade do lado direito.

Se se considerar que ambas as possibilidades têm o mesmo grau de importância deverá ser assinalado o quadrado da escala com o 1.

Os valores correspondentes ao grau de importância são:

Grau de importância	Definição	Explicação
1	Igualmente importante.	Duas possibilidades com a mesma importância.
3	Moderadamente mais importante.	Experiência e julgamento favorecem levemente uma possibilidade.
5	Fortemente mais importante.	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma possibilidade.
7	Muito fortemente mais importante.	Uma possibilidade é fortemente favorecida e a sua dominância é provada na prática.
9	Extremamente mais importante.	A evidência que favorece uma possibilidade é clara e inquestionável.
2,4,6,8	Valores intermédios.	Quando se procura uma condição entre duas definições

Exemplo: vamos fazer comparação de três frutos em relação ao critério do gosto pessoal.

Então em relação ao gosto qual a importância da banana em relação ao morango?

BANANA									MORANGO								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

Isto quer dizer que em relação ao seu gosto aprecia 3 vezes mais o morango do que a banana. Ou seja, de acordo com o quadro dos valores, considerando a experiência e julgamento, favorece levemente a possibilidade do morango em relação à banana.

Agora vamos fazer o mesmo entre a banana e a maçã.

BANANA									MAÇÃ								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

Isto quer dizer que em relação ao seu gosto aprecia 6 vezes mais a banana que a maçã.

Agora vamos fazer o mesmo entre a maçã e o morango.

MAÇÃ									MORANGO								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

Isto quer dizer que em relação ao seu gosto aprecia 7 vezes mais o morango que a maçã.

O AHP tem um teste de racionalidade para averiguar se as respostas seguem o raciocínio lógico nas comparações.

LEGENDA:

Classificação atribuída

Classificação corrigida

Passemos então ao questionário.

Está a decidir fazer um estudo com o objectivo de descobrir quais os factores que mais influenciam a disponibilidade operacional de um equipamento.

Os critérios que vai comparar são: Fiabilidade (probabilidade de paragem), Manutibilidade (tempo de paragem), Segurança (impacto na segurança), Custos (impactos nos custos).

Para o objectivo referido, qual o grau de importância da Fiabilidade (Probabilidade de paragem) relativamente à Manutibilidade (Tempo de paragem)?

Repete-se a mesma pergunta para cada comparação com diferentes critérios.

Fiabilidade - (Probabilidade de paragem)										Manutibilidade - (Tempo de paragem)									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Fiabilidade - (Probabilidade de paragem)										Segurança (Impacto na segurança)									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Fiabilidade - (Probabilidade de paragem)										Custos (Impacto nos custos)									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Manutibilidade - (Tempo de paragem)										Segurança (Impacto na segurança)									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Manutibilidade - (Tempo de paragem)										Custos (Impacto nos custos)									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Segurança (Impacto na segurança)										Custos (Impacto nos custos)									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Para cada critério vamos comparar a importância de cada um dos modos de falha identificados no equipamento.

Os seguintes modos de falha são os de maior risco para o equipamento e foram encontrados através de uma FMECA.

Modo de falha 1

Rolamento do prato do mandril agarrado, impossibilitando a desbobinadeira de funcionar.

Modo de falha 2

Caixa redutora do motor da endireitadora com carretos partidos.

Modo de falha 3

Rolamentos dos cilindros de avanço da fita com folga no alojamento - chumaceira de guiamento.

Modo de falha 4

Motor de rotação da faca não faz cortes cortes trapezoidais devido à inoperacionalidade das cartas de processamento e comunicação do inversor - Masterdrive.

Modo de falha 5

Mecanismo de rotação da faca com engrenagens partidas.

Modo de falha 6

Chumaceiras das bandas magnéticas agarradas no veio estriado.

Para o critério FIABILIDADE (Probabilidade de paragem) compare a importância dos modos de falha.

Relativamente ao critério Fiabilidade (Probabilidade de paragem) qual o grau de importância do modo de falha 1 relativamente ao modo de falha 2?

Repete-se a mesma pergunta para cada comparação com diferentes modos de falha.

Modo de falha 1										Modo de falha 2						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 1										Modo de falha 3						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 1										Modo de falha 4						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 1										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 1										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 2										Modo de falha 3						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 2										Modo de falha 4						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 2										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 2										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 3										Modo de falha 4						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 3										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 3										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 4										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 4										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 5										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Para o critério MANUTIBILIDADE (Tempo de paragem) compare a importância dos modos de falha.

Relativamente ao critério Manutibilidade (Tempo de paragem) qual o grau de importância do modo de falha 1 relativamente ao modo de falha 2?

Repete-se a mesma pergunta para cada comparação com diferentes modos de falha.

Modo de falha 1										Modo de falha 2						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 1										Modo de falha 3						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 1										Modo de falha 4						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 1										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 1										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 2										Modo de falha 3						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 2										Modo de falha 4						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 2										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 2										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 3										Modo de falha 4						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 3										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 3										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 4										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 4										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 5										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Para o critério SEGURANÇA (Impacto na segurança) compare a importância dos modos de falha.

Relativamente ao critério Segurança (Impacto na segurança) qual o grau de importância do modo de falha 1 relativamente ao modo de falha 2?

Repete-se a mesma pergunta para cada comparação com diferentes modos de falha.

Modo de falha 1										Modo de falha 2						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 1										Modo de falha 3						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 1										Modo de falha 4						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 1										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 1										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 2										Modo de falha 3						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 2										Modo de falha 4						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 2										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 2										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 3										Modo de falha 4						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 3										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 3										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 4										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 4										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 5										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Para o critério CUSTOS (Impacto nos custos) compare a importância dos modos de falha.

Relativamente ao critério Custos (Impacto nos custos) qual o grau de importância do modo de falha 1 relativamente ao modo de falha 2?

Repete-se a mesma pergunta para cada comparação com diferentes modos de falha.

Modo de falha 1										Modo de falha 2						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 1										Modo de falha 3						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 1										Modo de falha 4						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 1										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 1										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 2										Modo de falha 3						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 2										Modo de falha 4						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 2										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 2										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 3										Modo de falha 4						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 3										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 3										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 4										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 4										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 5										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Finalmente faremos a comparação da importância das alternativas (factores que influenciam a disponibilidade operacional) relativamente aos modos de falha.

As alternativas são:

Fiabilidade Humana (Erro humano) - Factores inerentes à actividade desempenhada e ao ambiente operativo (Performance Shaping Factors) que conduzem ao erro humano.

Formação - Desenvolvimento e consolidação de conhecimentos técnicos específicos e adequados à função desempenhada.

Planeamento da manutenção - Actividade de avaliação e comparação entre meios e necessidades que elabora um programa de execução de um trabalho, considerando documentação (manuais do equipamento e histórico), apoio informático (software de manutenção), controlo de desempenho (análise de indicadores) e outsourcing.

Gestão de Peças de Reposição - Quantidade a encomendar, armazenamento, controlo de consumos.

Gestão de recursos da manutenção - Gerir os recursos humanos (efectivos por equipa, motivação) e de materiais (ferramentas e dispositivos de análise de apoio às actividades da manutenção).

Planeamento e Operação do equipamento - Respeito pelas capacidades e características do equipamento, e forma como os operadores utilizam o equipamento nos processos e manobras necessários para a produção.

Envelhecimento do equipamento - Componentes obsoletos, spare parts descontinuados e novos modelos que obrigam a alterações de montagem, componentes sem substituição e alterações estruturais de grande custo.

Tipos de manutenção e seu interface com a produção - Manutenção correctiva, preventiva sistemática e condicionada e desenvolvimento das suas actividades em ligação com a produção.

Para o MODO DE FALHA 1 compare a importância das alternativas.

Relativamente ao modo de falha 1 (Rolamento do prato do mandril agarrado, impossibilitando a desbobinadeira de funcionar) qual o grau de importância da Fiabilidade Humana relativamente à Formação?

Repete-se a mesma pergunta para cada comparação com diferentes alternativas

Fiabilidade Humana										Formação								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Fiabilidade Humana										Planeamento da Manutenção								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Fiabilidade Humana										Gestão de Peças de Reposição								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Fiabilidade Humana										Gestão de Recursos da Manutenção								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Fiabilidade Humana										Planeamento e Operação do Equipamento								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Fiabilidade Humana										Envelhecimento do Equipamento								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Fiabilidade Humana										Tipos de Manutenção e sua Aplicação								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Formação						Planeamento da Manutenção						Formação						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Formação						Gestão de Peças de Reposição						Formação						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Formação						Gestão de Recursos da Manutenção						Formação						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Formação						Planeamento e Operação do Equipamento						Formação						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Formação						Envelhecimento do Equipamento						Formação						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Formação						Tipos de Manutenção e sua Aplicação						Formação						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Planeamento da Manutenção						Gestão de Peças de Reposição						Formação						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Planeamento da Manutenção										Gestão de Recursos da Manutenção						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção										Planeamento e Operação do Equipamento						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção										Envelhecimento do Equipamento						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção										Tipos de Manutenção e sua Aplicação						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição										Gestão de Recursos da Manutenção						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição										Planeamento e Operação do Equipamento						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição										Envelhecimento do Equipamento						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição										Tipos de Manutenção e sua Aplicação						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção										Planeamento e Operação do Equipamento						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção										Envelhecimento do Equipamento						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção										Tipos de Manutenção e sua Aplicação						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento e Operação do Equipamento										Envelhecimento do Equipamento						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento e Operação do Equipamento										Tipos de Manutenção e sua Aplicação						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Envelhecimento do Equipamento										Tipos de Manutenção e sua Aplicação						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Para o MODO DE FALHA 2 compare a importância das alternativas.

Relativamente ao modo de falha 2 (Caixa redutora do motor da endireitadora com carretos partidos) qual o grau de importância da Fiabilidade Humana relativamente à Formação?

Repete-se a mesma pergunta para cada comparação com diferentes alternativas

Fiabilidade Humana										Formação									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Fiabilidade Humana										Planeamento da Manutenção									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Fiabilidade Humana										Gestão de Peças de Reposição									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Fiabilidade Humana										Gestão de Recursos da Manutenção									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Fiabilidade Humana										Planeamento e Operação do Equipamento									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Fiabilidade Humana										Envelhecimento do Equipamento									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Fiabilidade Humana										Tipos de Manutenção e sua Aplicação									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Formação										Planeamento da Manutenção									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Formação										Gestão de Peças de Reposição									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Formação										Gestão de Recursos da Manutenção									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Formação										Planeamento e Operação do Equipamento									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Formação										Envelhecimento do Equipamento									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Formação										Tipos de Manutenção e sua Aplicação									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Planeamento da Manutenção										Gestão de Peças de Reposição									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Planeamento da Manutenção															Gestão de Recursos da Manutenção			
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Planeamento da Manutenção															Planeamento e Operação do Equipamento			
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Planeamento da Manutenção															Envelhecimento do Equipamento			
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Planeamento da Manutenção															Tipos de Manutenção e sua Aplicação			
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Gestão de Peças de Reposição															Gestão de Recursos da Manutenção			
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Gestão de Peças de Reposição															Planeamento e Operação do Equipamento			
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Gestão de Peças de Reposição															Envelhecimento do Equipamento			
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Gestão de Peças de Reposição															Tipos de Manutenção e sua Aplicação			
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Gestão de Recursos da Manutenção															Planeamento e Operação do Equipamento			
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Gestão de Recursos da Manutenção															Envelhecimento do Equipamento			
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Gestão de Recursos da Manutenção															Tipos de Manutenção e sua Aplicação			
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Planeamento e Operação do Equipamento															Envelhecimento do Equipamento			
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Planeamento e Operação do Equipamento															Tipos de Manutenção e sua Aplicação			
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Envelhecimento do Equipamento															Tipos de Manutenção e sua Aplicação			
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Para o MODO DE FALHA 3 compare a importância das alternativas.

Relativamente ao modo de falha 3 (Rolamentos dos cilindros de avanço da fita com folga no alojamento - chumaceira de guiamento) qual o grau de importância da Fiabilidade Humana relativamente à Formação?

Repete-se a mesma pergunta para cada comparação com diferentes alternativas

Fiabilidade Humana										Formação								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Fiabilidade Humana										Planeamento da Manutenção								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Fiabilidade Humana										Gestão de Peças de Reposição								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Fiabilidade Humana										Gestão de Recursos da Manutenção								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Fiabilidade Humana										Planeamento e Operação do Equipamento								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Fiabilidade Humana										Envelhecimento do Equipamento								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Fiabilidade Humana										Tipos de Manutenção e sua Aplicação								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Formação					Planeamento da Manutenção											
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Formação					Gestão de Peças de Reposição											
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Formação					Gestão de Recursos da Manutenção											
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Formação					Planeamento e Operação do Equipamento											
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Formação					Envelhecimento do Equipamento											
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Formação					Tipos de Manutenção e sua Aplicação											
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Planeamento da Manutenção					Gestão de Peças de Reposição											
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Planeamento da Manutenção		Gestão de Recursos da Manutenção														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção		Planeamento e Operação do Equipamento														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção		Envelhecimento do Equipamento														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção		Tipos de Manutenção e sua Aplicação														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição		Gestão de Recursos da Manutenção														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição		Planeamento e Operação do Equipamento														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição		Envelhecimento do Equipamento														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição		Tipos de Manutenção e sua Aplicação														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção		Planeamento e Operação do Equipamento														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção		Envelhecimento do Equipamento														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção		Tipos de Manutenção e sua Aplicação														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento e Operação do Equipamento		Envelhecimento do Equipamento														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento e Operação do Equipamento		Tipos de Manutenção e sua Aplicação														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Envelhecimento do Equipamento		Tipos de Manutenção e sua Aplicação														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Para o MODO DE FALHA 4 compare a importância das alternativas.

Relativamente ao modo de falha 4 (Motor de rotação da faca não faz cortes trapezoidais devido à inoperacionalidade das cartas de processamento e comunicação do inversor-Masterdrive) qual o grau de importância da Fiabilidade Humana relativamente à Formação?

Repete-se a mesma pergunta para cada comparação com diferentes alternativas

Fiabilidade Humana										Formação						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fiabilidade Humana										Planeamento da Manutenção						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fiabilidade Humana										Gestão de Peças de Reposição						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fiabilidade Humana										Gestão de Recursos da Manutenção						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fiabilidade Humana										Planeamento e Operação do Equipamento						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fiabilidade Humana										Envelhecimento do Equipamento						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fiabilidade Humana										Tipos de Manutenção e sua Aplicação						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Formação										Planeamento da Manutenção						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Formação										Gestão de Peças de Reposição						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Formação										Gestão de Recursos da Manutenção						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Formação										Planeamento e Operação do Equipamento						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Formação										Envelhecimento do Equipamento						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Formação										Tipos de Manutenção e sua Aplicação						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção										Gestão de Peças de Reposição						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Planeamento da Manutenção	Gestão de Recursos da Manutenção
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
Planeamento da Manutenção	Planeamento e Operação do Equipamento
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
Planeamento da Manutenção	Envelhecimento do Equipamento
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
Planeamento da Manutenção	Tipos de Manutenção e sua Aplicação
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
Gestão de Peças de Reposição	Gestão de Recursos da Manutenção
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
Gestão de Peças de Reposição	Planeamento e Operação do Equipamento
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
Gestão de Peças de Reposição	Envelhecimento do Equipamento
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
Gestão de Peças de Reposição	Tipos de Manutenção e sua Aplicação
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
Gestão de Recursos da Manutenção	Planeamento e Operação do Equipamento
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
Gestão de Recursos da Manutenção	Envelhecimento do Equipamento
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
Gestão de Recursos da Manutenção	Tipos de Manutenção e sua Aplicação
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
Planeamento e Operação do Equipamento	Envelhecimento do Equipamento
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
Planeamento e Operação do Equipamento	Tipos de Manutenção e sua Aplicação
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
Envelhecimento do Equipamento	Tipos de Manutenção e sua Aplicação
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	

Para o MODO DE FALHA 5 compare a importância das alternativas.

Relativamente ao modo de falha 5 (Mecanismo de rotação da faca com engrenagens partidas.) qual o grau de importância da Fiabilidade Humana relativamente à Formação?

Repete-se a mesma pergunta para cada comparação com diferentes alternativas

Fiabilidade Humana										Formação						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fiabilidade Humana										Planeamento da Manutenção						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fiabilidade Humana										Gestão de Peças de Reposição						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fiabilidade Humana										Gestão de Recursos da Manutenção						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fiabilidade Humana										Planeamento e Operação do Equipamento						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fiabilidade Humana										Envelhecimento do Equipamento						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fiabilidade Humana										Tipos de Manutenção e sua Aplicação						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Formação										Planeamento da Manutenção						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Formação										Gestão de Peças de Reposição						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Formação										Gestão de Recursos da Manutenção						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Formação										Planeamento e Operação do Equipamento						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Formação										Envelhecimento do Equipamento						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Formação										Tipos de Manutenção e sua Aplicação						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção										Gestão de Peças de Reposição						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Planeamento da Manutenção	Gestão de Recursos da Manutenção															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção	Planeamento e Operação do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção	Envelhecimento do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção	Tipos de Manutenção e sua Aplicação															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição	Gestão de Recursos da Manutenção															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição	Planeamento e Operação do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição	Envelhecimento do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição	Tipos de Manutenção e sua Aplicação															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção	Planeamento e Operação do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção	Envelhecimento do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção	Tipos de Manutenção e sua Aplicação															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento e Operação do Equipamento	Envelhecimento do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento e Operação do Equipamento	Tipos de Manutenção e sua Aplicação															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Envelhecimento do Equipamento	Tipos de Manutenção e sua Aplicação															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Para o MODO DE FALHA 6 compare a importância das alternativas.

Relativamente ao modo de falha 6 (Chumaceiras das bandas magnéticas agarradas ao veio estriado) qual o grau de importância da Fiabilidade Humana relativamente à Formação?

Repete-se a mesma pergunta para cada comparação com diferentes alternativas

Fiabilidade Humana	Formação
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
1	
Fiabilidade Humana	Planeamento da Manutenção
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
	6
Fiabilidade Humana	Gestão de Peças de Reposição
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
	5
Fiabilidade Humana	Gestão de Recursos da Manutenção
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
	4
Fiabilidade Humana	Planeamento e Operação do Equipamento
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
	1
Fiabilidade Humana	Envelhecimento do Equipamento
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
	1
Fiabilidade Humana	Tipos de Manutenção e sua Aplicação
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
	4
Formação	Planeamento da Manutenção
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
	5
Formação	Gestão de Peças de Reposição
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
	5
Formação	Gestão de Recursos da Manutenção
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
	4
Formação	Planeamento e Operação do Equipamento
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
	2
Formação	Envelhecimento do Equipamento
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
	1
Formação	Tipos de Manutenção e sua Aplicação
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
	5
Planeamento da Manutenção	Gestão de Peças de Reposição
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
	4

Planeamento da Manutenção											Gestão de Recursos da Manutenção					
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção											Planeamento e Operação do Equipamento					
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção											Envelhecimento do Equipamento					
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção											Tipos de Manutenção e sua Aplicação					
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição											Gestão de Recursos da Manutenção					
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição											Planeamento e Operação do Equipamento					
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição											Envelhecimento do Equipamento					
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição											Tipos de Manutenção e sua Aplicação					
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção											Planeamento e Operação do Equipamento					
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção											Envelhecimento do Equipamento					
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção											Tipos de Manutenção e sua Aplicação					
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento e Operação do Equipamento											Envelhecimento do Equipamento					
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento e Operação do Equipamento											Tipos de Manutenção e sua Aplicação					
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Envelhecimento do Equipamento											Tipos de Manutenção e sua Aplicação					
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Anexo 2 – Questionário 2 AHP

QUESTIONÁRIO – ESPECIALISTA 2
(com posterior correcção devido a inconsistência)

Actualmente muitas organizações têm utilizado ferramentas que suportam a selecção e decisão perante problemas complexos com muitas e diferentes variáveis.

O método Analytic Hierarchy Process (AHP) tem sido empregue por um grande número de empresas devido à fácil aplicação da sua metodologia e também à variedade de áreas onde pode ser utilizado.

O método baseia-se no Pairwise Comparison, isto é; comparações entre duas possibilidades que terão de ser avaliadas da seguinte maneira:

Se a possibilidade do lado esquerdo da escala for considerada mais importante que a possibilidade do lado direito, deverá ser assinalado na escala de 1 a 9 do lado esquerdo o valor dessa importância.

O mesmo se aplica para a possibilidade do lado direito.

Se se considerar que ambas as possibilidades têm o mesmo grau de importância deverá ser assinalado o quadrado da escala com o 1.

Os valores correspondentes ao grau de importância são:

Grau de importância	Definição	Explicação
1	Igualmente importante.	Duas possibilidades com a mesma importância.
3	Moderadamente mais importante.	Experiência e julgamento favorecem levemente uma possibilidade.
5	Fortemente mais importante.	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma possibilidade.
7	Muito fortemente mais importante.	Uma possibilidade é fortemente favorecida e a sua dominância é provada na prática.
9	Extremamente mais importante.	A evidência que favorece uma possibilidade é clara e inquestionável.
2,4,6,8	Valores intermédios.	Quando se procura uma condição entre duas definições.

Exemplo: vamos fazer comparação de três frutos em relação ao critério do gosto pessoal.

Então em relação ao gosto qual a importância da banana em relação ao morango?

BANANA										MORANGO								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Isto quer dizer que em relação ao seu gosto aprecia 3 vezes mais o morango do que a banana. Ou seja, de acordo com o quadro dos valores, considerando a experiência e julgamento, favorece levemente a possibilidade do morango em relação à banana.

Agora vamos fazer o mesmo entre a banana e a maçã.

BANANA										MAÇÃ						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Isto quer dizer que em relação ao seu gosto aprecia 6 vezes mais a banana que a maçã.

Agora vamos fazer o mesmo entre a maçã e o morango.

MAÇÃ										MORANGO						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Isto quer dizer que em relação ao seu gosto aprecia 7 vezes mais o morango que a maçã.

O AHP tem um teste de racionalidade para averiguar se as respostas seguem o raciocínio lógico nas comparações.

LEGENDA:

Classificação atribuída

Classificação corrigida

Passemos então ao questionário.

Está a decidir fazer um estudo com o objectivo de descobrir quais os factores que mais influenciam a disponibilidade operacional de um equipamento.

Os critérios que vai comparar são: Fiabilidade (probabilidade de paragem), Manutibilidade (tempo de paragem), Segurança (impacto na segurança), Custos (impactos nos custos).

Para o objectivo referido, qual o grau de importância da Fiabilidade (Probabilidade de paragem) relativamente à Manutibilidade (Tempo de paragem)?

Repete-se a mesma pergunta para cada comparação com diferentes critérios.

Fiabilidade - (Probabilidade de paragem)											Manutibilidade - (Tempo de paragem)							
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Fiabilidade - (Probabilidade de paragem)											Segurança (Impacto na segurança)							
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Fiabilidade - (Probabilidade de paragem)											Custos (Impacto nos custos)							
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Manutibilidade - (Tempo de paragem)											Segurança (Impacto na segurança)							
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Manutibilidade - (Tempo de paragem)											Custos (Impacto nos custos)							
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Segurança (Impacto na segurança)											Custos (Impacto nos custos)							
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Para cada critério vamos comparar a importância de cada um dos modos de falha identificados no equipamento.

Os seguintes modos de falha são os de maior risco para o equipamento e foram encontrados através de uma FMECA.

Modo de falha 1

Rolamento do prato do mandril agarrado, impossibilitando a desbobinadeira de funcionar.

Modo de falha 2

Caixa redutora do motor da endireitadora com carretos partidos.

Modo de falha 3

Rolamentos dos cilindros de avanço da fita com folga no alojamento - chumaceira de guiamento.

Modo de falha 4

Motor de rotação da faca não faz cortes cortes trapezoidais devido à inoperacionalidade das cartas de processamento e comunicação do inversor - Masterdrive.

Modo de falha 5

Mecanismo de rotação da faca com engrenagens partidas.

Modo de falha 6

Chumaceiras das bandas magnéticas agarradas no veio estriado.

Para o critério FIABILIDADE (Probabilidade de paragem) compare a importância dos modos de falha.

Relativamente ao critério Fiabilidade (Probabilidade de paragem) qual o grau de importância do modo de falha 1 relativamente ao modo de falha 2?

Repete-se a mesma pergunta para cada comparação com diferentes modos de falha.

Modo de falha 1										Modo de falha 2						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 1										Modo de falha 3						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 1										Modo de falha 4						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 1										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 1										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 2										Modo de falha 3						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 2										Modo de falha 4						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 2										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 2										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 3										Modo de falha 4						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 3										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 3										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 4										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 4										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 5										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Para o critério MANUTIBILIDADE (Tempo de paragem) compare a importância dos modos de falha.

Relativamente ao critério manutibilidade (Tempo de paragem) qual o grau de importância do modo de falha 1 relativamente ao modo de falha 2?

Repete-se a mesma pergunta para cada comparação com diferentes modos de falha.

Modo de falha 1										Modo de falha 2						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 1										Modo de falha 3						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 1										Modo de falha 4						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 1										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 1										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 2										Modo de falha 3						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 2										Modo de falha 4						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 2										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 2										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 3										Modo de falha 4						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 3										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 3										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 4										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 4										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 5										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Para o critério SEGURANÇA (Impacto na segurança) compare a importância dos modos de falha.

Relativamente ao critério Segurança (Impacto na segurança) qual o grau de importância do modo de falha 1 relativamente ao modo de falha 2?

Repete-se a mesma pergunta para cada comparação com diferentes modos de falha.

Modo de falha 1										Modo de falha 2						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 1										Modo de falha 3						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 1										Modo de falha 4						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 1										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 1										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 2										Modo de falha 3						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 2										Modo de falha 4						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 2										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 2										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 3										Modo de falha 4						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 3										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 3										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 4										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 4										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 5										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Para o critério CUSTOS (Impacto nos custos) compare a importância dos modos de falha.

Relativamente ao critério Custos (Impacto nos custos) qual o grau de importância do modo de falha 1 relativamente ao modo de falha 2?

Repete-se a mesma pergunta para cada comparação com diferentes modos de falha.

Modo de falha 1										Modo de falha 2						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 1										Modo de falha 3						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 1										Modo de falha 4						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 1										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 1										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 2										Modo de falha 3						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 2										Modo de falha 4						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 2										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 2										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 3										Modo de falha 4						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 3										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 3										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 4										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 4										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Modo de falha 5										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Finalmente faremos a comparação da importância das alternativas (factores que influenciam a disponibilidade operacional) relativamente aos modos de falha.

As alternativas são:

Fiabilidade Humana (Erro humano) - Factores inerentes à actividade desempenhada e ao ambiente operativo (Performance Shaping Factors) que conduzem ao erro humano.

Formação - Desenvolvimento e consolidação de conhecimentos técnicos específicos e adequados à função desempenhada.

Planeamento da manutenção - Actividade de avaliação e comparação entre meios e necessidades que elabora um programa de execução de um trabalho, considerando documentação (manuais do equipamento e histórico), apoio informático (software de manutenção), controlo de desempenho (análise de indicadores).

Gestão de Peças de Reposição - Quantidade a encomendar, armazenamento, controlo de consumos.

Gestão de recursos da manutenção - Gerir os recursos humanos (efectivos por equipa, motivação) e de materiais (ferramentas e dispositivos de análise de apoio às actividades da manutenção).

Planeamento e Operação do equipamento - Respeito pelas capacidades e características do equipamento, e forma como os operadores utilizam o equipamento nos processos e manobras necessários para a produção.

Envelhecimento do equipamento - Componentes obsoletos, spare parts descontinuados e novos modelos que obrigam a alterações de montagem, componentes sem substituição e alterações estruturais de grande custo.

Tipos de manutenção e seu interface com a produção - Manutenção correctiva, preventiva sistemática e condicionada e desenvolvimento das suas actividades em ligação com a produção.

Para o MODO DE FALHA 1 compare a importância das alternativas.

Relativamente ao modo de falha 1 (Rolamento do prato do mandril agarrado, impossibilitando a desbobinadeira de funcionar) qual o grau de importância da Fiabilidade Humana relativamente à Formação?

Repete-se a mesma pergunta para cada comparação com diferentes alternativas

Fiabilidade Humana	Formação
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
Fiabilidade Humana	Planeamento da Manutenção
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
Fiabilidade Humana	Gestão de Peças de Reposição
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
Fiabilidade Humana	Gestão de Recursos da Manutenção
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
Fiabilidade Humana	Planeamento e Operação do Equipamento
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
Fiabilidade Humana	Envelhecimento do Equipamento
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
Fiabilidade Humana	Tipos de Manutenção e sua Aplicação
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
Formação	Planeamento da Manutenção
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
Formação	Gestão de Peças de Reposição
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
Formação	Gestão de Recursos da Manutenção
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
Formação	Planeamento e Operação do Equipamento
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
Formação	Envelhecimento do Equipamento
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
Formação	Tipos de Manutenção e sua Aplicação
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
Planeamento da Manutenção	Gestão de Peças de Reposição
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	

Planeamento da Manutenção		Gestão de Recursos da Manutenção														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção		Planeamento e Operação do Equipamento														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção		Envelhecimento do Equipamento														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção		Tipos de Manutenção e sua Aplicação														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição		Gestão de Recursos da Manutenção														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição		Planeamento e Operação do Equipamento														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição		Envelhecimento do Equipamento														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição		Tipos de Manutenção e sua Aplicação														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção		Planeamento e Operação do Equipamento														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção		Envelhecimento do Equipamento														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção		Tipos de Manutenção e sua Aplicação														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento e Operação do Equipamento		Envelhecimento do Equipamento														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento e Operação do Equipamento		Tipos de Manutenção e sua Aplicação														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Envelhecimento do Equipamento		Tipos de Manutenção e sua Aplicação														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Para o MODO DE FALHA 2 compare a importância das alternativas.

Relativamente ao modo de falha 2 (Caixa redutora do motor da endireitadora com carretos partidos) qual o grau de importância da Fiabilidade Humana relativamente à Formação?

Repete-se a mesma pergunta para cada comparação com diferentes alternativas

Fiabilidade Humana	Formação
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
3	
Fiabilidade Humana	Planeamento da Manutenção
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
5	
Fiabilidade Humana	Gestão de Peças de Reposição
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
4	
Fiabilidade Humana	Gestão de Recursos da Manutenção
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
2	
Fiabilidade Humana	Planeamento e Operação do Equipamento
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
2	
Fiabilidade Humana	Envelhecimento do Equipamento
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
4	
Fiabilidade Humana	Tipos de Manutenção e sua Aplicação
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
3	
Formação	Planeamento da Manutenção
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
7	
Formação	Gestão de Peças de Reposição
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
6	
Formação	Gestão de Recursos da Manutenção
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
4	
Formação	Planeamento e Operação do Equipamento
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
3	
Formação	Envelhecimento do Equipamento
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
2	
Formação	Tipos de Manutenção e sua Aplicação
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
5	
Planeamento da Manutenção	Gestão de Peças de Reposição
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
2	

Planeamento da Manutenção	Gestão de Recursos da Manutenção															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção	Planeamento e Operação do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção	Envelhecimento do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção	Tipos de Manutenção e sua Aplicação															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição	Gestão de Recursos da Manutenção															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição	Planeamento e Operação do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição	Envelhecimento do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição	Tipos de Manutenção e sua Aplicação															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção	Planeamento e Operação do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção	Envelhecimento do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção	Tipos de Manutenção e sua Aplicação															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento e Operação do Equipamento	Envelhecimento do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento e Operação do Equipamento	Tipos de Manutenção e sua Aplicação															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Envelhecimento do Equipamento	Tipos de Manutenção e sua Aplicação															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Para o MODO DE FALHA 3 compare a importância das alternativas.

Relativamente ao modo de falha 3 (Rolamentos dos cilindros de avanço da fita com folga no alojamento - chumaceira de guiamento) qual o grau de importância da Fiabilidade Humana relativamente à Formação?

Repete-se a mesma pergunta para cada comparação com diferentes alternativas

Fiabilidade Humana										Formação									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Fiabilidade Humana										Planeamento da Manutenção									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Fiabilidade Humana										Gestão de Peças de Reposição									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Fiabilidade Humana										Gestão de Recursos da Manutenção									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Fiabilidade Humana										Planeamento e Operação do Equipamento									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Fiabilidade Humana										Envelhecimento do Equipamento									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Fiabilidade Humana										Tipos de Manutenção e sua Aplicação									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Formação										Planeamento da Manutenção									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Formação										Gestão de Peças de Reposição									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Formação										Gestão de Recursos da Manutenção									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Formação										Planeamento e Operação do Equipamento									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Formação										Envelhecimento do Equipamento									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Formação										Tipos de Manutenção e sua Aplicação									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Planeamento da Manutenção	Gestão de Peças de Reposição
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
Planeamento da Manutenção	Gestão de Recursos da Manutenção
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
Planeamento da Manutenção	Planeamento e Operação do Equipamento
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
Planeamento da Manutenção	Envelhecimento do Equipamento
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
Planeamento da Manutenção	Tipos de Manutenção e sua Aplicação
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
Gestão de Peças de Reposição	Gestão de Recursos da Manutenção
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
Gestão de Peças de Reposição	Planeamento e Operação do Equipamento
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
Gestão de Peças de Reposição	Envelhecimento do Equipamento
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
Gestão de Peças de Reposição	Tipos de Manutenção e sua Aplicação
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
Gestão de Recursos da Manutenção	Planeamento e Operação do Equipamento
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
Gestão de Recursos da Manutenção	Envelhecimento do Equipamento
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
Gestão de Recursos da Manutenção	Tipos de Manutenção e sua Aplicação
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
Planeamento e Operação do Equipamento	Envelhecimento do Equipamento
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
Planeamento e Operação do Equipamento	Tipos de Manutenção e sua Aplicação
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
Envelhecimento do Equipamento	Tipos de Manutenção e sua Aplicação
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9

Para o MODO DE FALHA 4 compare a importância das alternativas.

Relativamente ao modo de falha 4 (Motor de rotação da faca não faz cortes trapezoidais devido à inoperacionalidade das cartas de processamento e comunicação do inversor-Masterdrive) qual o grau de importância da Fiabilidade Humana relativamente à Formação?

Repete-se a mesma pergunta para cada comparação com diferentes alternativas

Fiabilidade Humana										Formação						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Fiabilidade Humana										Planeamento da Manutenção						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Fiabilidade Humana										Gestão de Peças de Reposição						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Fiabilidade Humana										Gestão de Recursos da Manutenção						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Fiabilidade Humana										Planeamento e Operação do Equipamento						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Fiabilidade Humana										Envelhecimento do Equipamento						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Fiabilidade Humana										Tipos de Manutenção e sua Aplicação						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Formação										Planeamento da Manutenção						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Formação										Gestão de Peças de Reposição						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Formação										Gestão de Recursos da Manutenção						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Formação										Planeamento e Operação do Equipamento						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Formação										Envelhecimento do Equipamento						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Formação										Tipos de Manutenção e sua Aplicação						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Planeamento da Manutenção										Gestão de Peças de Reposição						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Planeamento da Manutenção															Gestão de Recursos da Manutenção	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção															Planeamento e Operação do Equipamento	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção															Envelhecimento do Equipamento	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção															Tipos de Manutenção e sua Aplicação	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição															Gestão de Recursos da Manutenção	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição															Planeamento e Operação do Equipamento	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição															Envelhecimento do Equipamento	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição															Tipos de Manutenção e sua Aplicação	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção															Planeamento e Operação do Equipamento	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção															Envelhecimento do Equipamento	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção															Tipos de Manutenção e sua Aplicação	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento e Operação do Equipamento															Envelhecimento do Equipamento	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento e Operação do Equipamento															Tipos de Manutenção e sua Aplicação	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Envelhecimento do Equipamento															Tipos de Manutenção e sua Aplicação	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Para o MODO DE FALHA 5 compare a importância das alternativas.

Relativamente ao modo de falha 5 (Mecanismo de rotação da faca com engrenagens partidas.) qual o grau de importância da Fiabilidade Humana relativamente à Formação?

Repete-se a mesma pergunta para cada comparação com diferentes alternativas

Fiabilidade Humana	Formação
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
3	
Fiabilidade Humana	Planeamento da Manutenção
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
5	
Fiabilidade Humana	Gestão de Peças de Reposição
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
4	
Fiabilidade Humana	Gestão de Recursos da Manutenção
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
2	
Fiabilidade Humana	Planeamento e Operação do Equipamento
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
2	
Fiabilidade Humana	Envelhecimento do Equipamento
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
4	
Fiabilidade Humana	Tipos de Manutenção e sua Aplicação
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
3	
Formação	Planeamento da Manutenção
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
7	
Formação	Gestão de Peças de Reposição
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
6	
Formação	Gestão de Recursos da Manutenção
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
4	
Formação	Planeamento e Operação do Equipamento
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
2	
Formação	Envelhecimento do Equipamento
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
2	
Formação	Tipos de Manutenção e sua Aplicação
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
5	
Planeamento da Manutenção	Gestão de Peças de Reposição
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	
2	

Planeamento da Manutenção		Gestão de Recursos da Manutenção														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção		Planeamento e Operação do Equipamento														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção		Envelhecimento do Equipamento														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção		Tipos de Manutenção e sua Aplicação														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição		Gestão de Recursos da Manutenção														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição		Planeamento e Operação do Equipamento														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição		Envelhecimento do Equipamento														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição		Tipos de Manutenção e sua Aplicação														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção		Planeamento e Operação do Equipamento														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção		Envelhecimento do Equipamento														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção		Tipos de Manutenção e sua Aplicação														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento e Operação do Equipamento		Envelhecimento do Equipamento														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento e Operação do Equipamento		Tipos de Manutenção e sua Aplicação														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Envelhecimento do Equipamento		Tipos de Manutenção e sua Aplicação														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Para o MODO DE FALHA 6 compare a importância das alternativas.

Relativamente ao modo de falha 6 (Chumaceiras das bandas magnéticas agarradas ao veio estriado) qual o grau de importância da Fiabilidade Humana relativamente à Formação?

Repete-se a mesma pergunta para cada comparação com diferentes alternativas

Fiabilidade Humana	Formação
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
3	
Fiabilidade Humana	Planeamento da Manutenção
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
	6
Fiabilidade Humana	Gestão de Peças de Reposição
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
	5
Fiabilidade Humana	Gestão de Recursos da Manutenção
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
	2
Fiabilidade Humana	Planeamento e Operação do Equipamento
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
	2
Fiabilidade Humana	Envelhecimento do Equipamento
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
	4
Fiabilidade Humana	Tipos de Manutenção e sua Aplicação
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
	4
Formação	Planeamento da Manutenção
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
	8
Formação	Gestão de Peças de Reposição
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
	7
Formação	Gestão de Recursos da Manutenção
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
	5
Formação	Planeamento e Operação do Equipamento
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
	2
Formação	Envelhecimento do Equipamento
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
	2
Formação	Tipos de Manutenção e sua Aplicação
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
	6
Planeamento da Manutenção	Gestão de Peças de Reposição
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5	6 7 8 9
	2

Planeamento da Manutenção	Gestão de Recursos da Manutenção															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção	Planeamento e Operação do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção	Envelhecimento do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção	Tipos de Manutenção e sua Aplicação															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição	Gestão de Recursos da Manutenção															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição	Planeamento e Operação do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição	Envelhecimento do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição	Tipos de Manutenção e sua Aplicação															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção	Planeamento e Operação do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção	Envelhecimento do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção	Tipos de Manutenção e sua Aplicação															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento e Operação do Equipamento	Envelhecimento do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento e Operação do Equipamento	Tipos de Manutenção e sua Aplicação															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Envelhecimento do Equipamento	Tipos de Manutenção e sua Aplicação															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Anexo 3 – Questionário 3 AHP

QUESTIONÁRIO – ESPECIALISTA 3
(com posterior correção devido a inconsistência)

Actualmente muitas organizações têm utilizado ferramentas que suportam a selecção e decisão perante problemas complexos com muitas e diferentes variáveis.

O método Analytic Hierarchy Process (AHP) tem sido empregue por um grande número de empresas devido à fácil aplicação da sua metodologia e também à variedade de áreas onde pode ser utilizado.

O método baseia-se na Pairwise Comparison, isto é; comparações entre duas possibilidades que terão de ser avaliadas da seguinte maneira:

Se a possibilidade do lado esquerdo da escala for considerada mais importante que a possibilidade do lado direito, deverá ser assinalado na escala de 1 a 9 do lado esquerdo o valor dessa importância.

O mesmo se aplica para a possibilidade do lado direito.

Se se considerar que ambas as possibilidades têm o mesmo grau de importância deverá ser assinalado o quadrado da escala com o 1.

Os valores correspondentes ao grau de importância são:

Grau de importância	Definição	Explicação
1	Igualmente importante.	Duas possibilidades com a mesma importância.
3	Moderadamente mais importante.	Experiência e julgamento favorecem levemente uma possibilidade.
5	Fortemente mais importante.	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma possibilidade.
7	Muito fortemente mais importante.	Uma possibilidade é fortemente favorecida e a sua dominância é provada na prática.
9	Extremamente mais importante.	A evidência que favorece uma possibilidade é clara e inquestionável.
2,4,6,8	Valores intermédios.	Quando se procura uma condição entre duas definições.

Exemplo: vamos fazer comparação de três frutos em relação ao critério do gosto pessoal.

Então em relação ao gosto qual a importância da banana em relação ao morango?

BANANA										MORANGO								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	X	4	5	6	7	8	9		

Isto quer dizer que em relação ao seu gosto aprecia 3 vezes mais o morango do que a banana. Ou seja, de acordo com o quadro dos valores, considerando a experiência e julgamento, favorece levemente a possibilidade do morango em relação à banana.

Agora vamos fazer o mesmo entre a banana e a maçã.

BANANA										MAÇÃ						
9	8	7	X	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Isto quer dizer que em relação ao seu gosto aprecia 6 vezes mais a banana que a maçã.

Agora vamos fazer o mesmo entre a maçã e o morango.

MAÇÃ										MORANGO						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	X	8	9

Isto quer dizer que em relação ao seu gosto aprecia 7 vezes mais o morango que a maçã.

O AHP tem um teste de racionalidade para averiguar se as respostas seguem o raciocínio lógico nas comparações.

LEGENDA:

Classificação atribuída

Classificação corrigida

Passemos então ao questionário.

Está a decidir fazer um estudo com o objectivo de descobrir quais os factores que mais influenciam a disponibilidade operacional de um equipamento.

Os critérios que vai comparar são: Fiabilidade (probabilidade de paragem), Manutibilidade (tempo de paragem), Segurança (impacto na segurança), Custos (impactos nos custos).

Para o objectivo referido, qual o grau de importância da Fiabilidade (Probabilidade de paragem) relativamente à Manutibilidade (Tempo de paragem)?

Repete-se a mesma pergunta para cada comparação com diferentes critérios.

Fiabilidade - (Probabilidade de paragem)										Manutibilidade - (Tempo de paragem)									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Fiabilidade - (Probabilidade de paragem)										Segurança (Impacto na segurança)									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Fiabilidade - (Probabilidade de paragem)										Custos (Impacto nos custos)									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Manutibilidade - (Tempo de paragem)										Segurança (Impacto na segurança)									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Manutibilidade - (Tempo de paragem)										Custos (Impacto nos custos)									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Segurança (Impacto na segurança)										Custos (Impacto nos custos)									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Para cada critério vamos comparar a importância de cada um dos modos de falha identificados no equipamento.

Os seguintes modos de falha são os de maior risco para o equipamento e foram encontrados através de uma FMECA.

Modo de falha 1

Rolamento do prato do mandril agarrado, impossibilitando a desbobinadeira de funcionar.

Modo de falha 2

Caixa redutora do motor da endireitadora com carretos partidos.

Modo de falha 3

Rolamentos dos cilindros de avanço da fita com folga no alojamento - chumaceira de guiamento.

Modo de falha 4

Motor de rotação da faca não faz cortes cortes trapezoidais devido à inoperacionalidade das cartas de processamento e comunicação do inversor - Masterdrive.

Modo de falha 5

Mecanismo de rotação da faca com engrenagens partidas.

Modo de falha 6

Chumaceiras das bandas magnéticas agarradas no veio estriado.

Para o critério FIABILIDADE (Probabilidade de paragem) compare a importância dos modos de falha.

Relativamente ao critério Fiabilidade (Probabilidade de paragem) qual o grau de importância do modo de falha 1 relativamente ao modo de falha 2?

Repete-se a mesma pergunta para cada comparação com diferentes modos de falha.

Modo de falha 1	Modo de falha 2															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 1	Modo de falha 3															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 1	Modo de falha 4															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 1	Modo de falha 5															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 1	Modo de falha 6															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 2	Modo de falha 3															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 2	Modo de falha 4															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 2	Modo de falha 5															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 2	Modo de falha 6															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 3	Modo de falha 4															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 3	Modo de falha 5															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 3	Modo de falha 6															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 4	Modo de falha 5															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 4	Modo de falha 6															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 5	Modo de falha 6															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Para o critério MANUTIBILIDADE (Tempo de paragem) compare a importância dos modos de falha.

Relativamente ao critério Manutibilidade (Tempo de paragem) qual o grau de importância do modo de falha 1 relativamente ao modo de falha 2?

Repete-se a mesma pergunta para cada comparação com diferentes modos de falha.

Modo de falha 1															Modo de falha 2				
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Modo de falha 1															Modo de falha 3				
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Modo de falha 1															Modo de falha 4				
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Modo de falha 1															Modo de falha 5				
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Modo de falha 1															Modo de falha 6				
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Modo de falha 2															Modo de falha 3				
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Modo de falha 2															Modo de falha 4				
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Modo de falha 2															Modo de falha 5				
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Modo de falha 2															Modo de falha 6				
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Modo de falha 3															Modo de falha 4				
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Modo de falha 3															Modo de falha 5				
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Modo de falha 3															Modo de falha 6				
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Modo de falha 4															Modo de falha 5				
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Modo de falha 4															Modo de falha 6				
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Modo de falha 5															Modo de falha 6				
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

Para o critério SEGURANÇA (Impacto na segurança) compare a importância dos modos de falha.

Relativamente ao critério Segurança (Impacto na segurança) qual o grau de importância do modo de falha 1 relativamente ao modo de falha 2?

Repete-se a mesma pergunta para cada comparação com diferentes modos de falha.

Modo de falha 1										Modo de falha 2						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 1										Modo de falha 3						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 1										Modo de falha 4						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 1										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 1										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 2										Modo de falha 3						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 2										Modo de falha 4						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 2										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 2										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 3										Modo de falha 4						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 3										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 3										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 4										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 4										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 5										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Para o critério CUSTOS (Impacto nos custos) compare a importância dos modos de falha.

Relativamente ao critério Custos (Impacto nos custos) qual o grau de importância do modo de falha 1 relativamente ao modo de falha 2?

Repete-se a mesma pergunta para cada comparação com diferentes modos de falha.

Modo de falha 1										Modo de falha 2						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 1										Modo de falha 3						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 1										Modo de falha 4						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 1										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 1										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 2										Modo de falha 3						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 2										Modo de falha 4						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 2										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 2										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 3										Modo de falha 4						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 3										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 3										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 4										Modo de falha 5						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 4										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falha 5										Modo de falha 6						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Finalmente faremos a comparação da importância das alternativas (factores que influenciam a disponibilidade operacional) relativamente aos modos de falha.

As alternativas são:

Fiabilidade Humana (Erro humano) - Factores inerentes à actividade desempenhada e ao ambiente operativo (Performance Shaping Factors) que conduzem ao erro humano.

Formação - Desenvolvimento e consolidação de conhecimentos técnicos específicos e adequados à função desempenhada.

Planeamento da manutenção - Actividade de avaliação e comparação entre meios e necessidades que elabora um programa de execução de um trabalho, considerando documentação (manuais do equipamento e histórico), apoio informático (software de manutenção), controlo de desempenho (análise de indicadores).

Gestão de Peças de Reposição - Quantidade a encomendar, armazenamento, controlo de consumos.

Gestão de recursos da manutenção - Gerir os recursos humanos (efectivos por equipa, motivação) e de materiais (ferramentas e dispositivos de análise de apoio às actividades da manutenção).

Planeamento e Operação do equipamento - Respeito pelas capacidades e características do equipamento, e forma como os operadores utilizam o equipamento nos processos e manobras necessários para a produção.

Envelhecimento do equipamento - Componentes obsoletos, spare parts descontinuados e novos modelos que obrigam a alterações de montagem, componentes sem substituição e alterações estruturais de grande custo.

Tipos de manutenção e seu interface com a produção - Manutenção correctiva, preventiva sistemática e condicionada e desenvolvimento das suas actividades em ligação com a produção.

Para o MODO DE FALHA 1 compare a importância das alternativas.

Relativamente ao modo de falha 1 (Rolamento do prato do mandril agarrado, impossibilitando a desbobinadeira de funcionar) qual o grau de importância da Fiabilidade Humana relativamente à Formação?

Repete-se a mesma pergunta para cada comparação com diferentes alternativas

Fiabilidade Humana											Formação					
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Fiabilidade Humana											Planeamento da Manutenção					
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Fiabilidade Humana											Gestão de Peças de Reposição					
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Fiabilidade Humana											Gestão de Recursos da Manutenção					
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Fiabilidade Humana											Planeamento e Operação do Equipamento					
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Fiabilidade Humana											Envelhecimento do Equipamento					
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Fiabilidade Humana											Tipos de Manutenção e sua Aplicação					
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Formação											Planeamento da Manutenção					
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Formação											Gestão de Peças de Reposição					
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Formação											Gestão de Recursos da Manutenção					
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Formação											Planeamento e Operação do Equipamento					
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Formação											Envelhecimento do Equipamento					
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Formação											Tipos de Manutenção e sua Aplicação					
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Planeamento da Manutenção											Gestão de Peças de Reposição					
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Planeamento da Manutenção															Gestão de Recursos da Manutenção	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção															Planeamento e Operação do Equipamento	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção															Envelhecimento do Equipamento	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção															Tipos de Manutenção e sua Aplicação	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição															Gestão de Recursos da Manutenção	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição															Planeamento e Operação do Equipamento	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição															Envelhecimento do Equipamento	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição															Tipos de Manutenção e sua Aplicação	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção															Planeamento e Operação do Equipamento	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção															Envelhecimento do Equipamento	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção															Tipos de Manutenção e sua Aplicação	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento e Operação do Equipamento															Envelhecimento do Equipamento	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento e Operação do Equipamento															Tipos de Manutenção e sua Aplicação	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Envelhecimento do Equipamento															Tipos de Manutenção e sua Aplicação	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Para o MODO DE FALHA 2 compare a importância das alternativas.

Relativamente ao modo de falha 2 (Caixa redutora do motor da endireitadora com carretos partidos) qual o grau de importância da Fiabilidade Humana relativamente à Formação?

Repete-se a mesma pergunta para cada comparação com diferentes alternativas

Fiabilidade Humana															Formação	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fiabilidade Humana															Planeamento da Manutenção	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fiabilidade Humana															Gestão de Peças de Reposição	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fiabilidade Humana															Gestão de Recursos da Manutenção	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fiabilidade Humana															Planeamento e Operação do Equipamento	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fiabilidade Humana															Envelhecimento do Equipamento	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fiabilidade Humana															Tipos de Manutenção e sua Aplicação	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Formação															Planeamento da Manutenção	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Formação															Gestão de Peças de Reposição	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Formação															Gestão de Recursos da Manutenção	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Formação															Planeamento e Operação do Equipamento	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Formação															Envelhecimento do Equipamento	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Formação															Tipos de Manutenção e sua Aplicação	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção															Gestão de Peças de Reposição	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Planeamento da Manutenção										Gestão de Recursos da Manutenção								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Planeamento da Manutenção										Planeamento e Operação do Equipamento								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Planeamento da Manutenção										Envelhecimento do Equipamento								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Planeamento da Manutenção										Tipos de Manutenção e sua Aplicação								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Gestão de Peças de Reposição										Gestão de Recursos da Manutenção								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Gestão de Peças de Reposição										Planeamento e Operação do Equipamento								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Gestão de Peças de Reposição										Envelhecimento do Equipamento								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Gestão de Peças de Reposição										Tipos de Manutenção e sua Aplicação								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Gestão de Recursos da Manutenção										Planeamento e Operação do Equipamento								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Gestão de Recursos da Manutenção										Envelhecimento do Equipamento								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Gestão de Recursos da Manutenção										Tipos de Manutenção e sua Aplicação								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Planeamento e Operação do Equipamento										Envelhecimento do Equipamento								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Planeamento e Operação do Equipamento										Tipos de Manutenção e sua Aplicação								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Envelhecimento do Equipamento										Tipos de Manutenção e sua Aplicação								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Para o MODO DE FALHA 3 compare a importância das alternativas.

Relativamente ao modo de falha 3 (Rolamentos dos cilindros de avanço da fita com folga no alojamento - chumaceira de guiamento) qual o grau de importância da Fiabilidade Humana relativamente à Formação?

Repete-se a mesma pergunta para cada comparação com diferentes alternativas

Fiabilidade Humana										Formação								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Fiabilidade Humana										Planeamento da Manutenção								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Fiabilidade Humana										Gestão de Peças de Reposição								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Fiabilidade Humana										Gestão de Recursos da Manutenção								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Fiabilidade Humana										Planeamento e Operação do Equipamento								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Fiabilidade Humana										Envelhecimento do Equipamento								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Fiabilidade Humana										Tipos de Manutenção e sua Aplicação								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Formação										Planeamento da Manutenção								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Formação										Gestão de Peças de Reposição								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Formação										Gestão de Recursos da Manutenção								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Formação										Planeamento e Operação do Equipamento								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Formação										Envelhecimento do Equipamento								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Formação										Tipos de Manutenção e sua Aplicação								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Planeamento da Manutenção										Gestão de Peças de Reposição								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Planeamento da Manutenção	Gestão de Recursos da Manutenção															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção	Planeamento e Operação do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção	Envelhecimento do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção	Tipos de Manutenção e sua Aplicação															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição	Gestão de Recursos da Manutenção															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição	Planeamento e Operação do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição	Envelhecimento do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição	Tipos de Manutenção e sua Aplicação															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção	Planeamento e Operação do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção	Envelhecimento do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção	Tipos de Manutenção e sua Aplicação															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento e Operação do Equipamento	Envelhecimento do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento e Operação do Equipamento	Tipos de Manutenção e sua Aplicação															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Envelhecimento do Equipamento	Tipos de Manutenção e sua Aplicação															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Para o MODO DE FALHA 4 compare a importância das alternativas.

Relativamente ao modo de falha 4 (Motor de rotação da faca não faz cortes trapezoidais devido à inoperacionalidade das cartas de processamento e comunicação do inversor-Masterdrive) qual o grau de importância da Fiabilidade Humana relativamente à Formação?

Repete-se a mesma pergunta para cada comparação com diferentes alternativas

Fiabilidade Humana										Formação						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fiabilidade Humana										Planeamento da Manutenção						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fiabilidade Humana										Gestão de Peças de Reposição						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fiabilidade Humana										Gestão de Recursos da Manutenção						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fiabilidade Humana										Planeamento e Operação do Equipamento						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fiabilidade Humana										Envelhecimento do Equipamento						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fiabilidade Humana										Tipos de Manutenção e sua Aplicação						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Formação										Planeamento da Manutenção						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Formação										Gestão de Peças de Reposição						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Formação										Gestão de Recursos da Manutenção						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Formação										Planeamento e Operação do Equipamento						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Formação										Envelhecimento do Equipamento						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Formação										Tipos de Manutenção e sua Aplicação						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção										Gestão de Peças de Reposição						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Planeamento da Manutenção										Gestão de Recursos da Manutenção						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção										Planeamento e Operação do Equipamento						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção										Envelhecimento do Equipamento						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção										Tipos de Manutenção e sua Aplicação						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição										Gestão de Recursos da Manutenção						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição										Planeamento e Operação do Equipamento						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição										Envelhecimento do Equipamento						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição										Tipos de Manutenção e sua Aplicação						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção										Planeamento e Operação do Equipamento						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção										Envelhecimento do Equipamento						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção										Tipos de Manutenção e sua Aplicação						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento e Operação do Equipamento										Envelhecimento do Equipamento						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento e Operação do Equipamento										Tipos de Manutenção e sua Aplicação						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Envelhecimento do Equipamento										Tipos de Manutenção e sua Aplicação						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Para o MODO DE FALHA 5 compare a importância das alternativas.

Relativamente ao modo de falha 5 (Mecanismo de rotação da faca com engrenagens partidas.) qual o grau de importância da Fiabilidade Humana relativamente à Formação?

Repete-se a mesma pergunta para cada comparação com diferentes alternativas

Fiabilidade Humana										Formação						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fiabilidade Humana										Planeamento da Manutenção						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fiabilidade Humana										Gestão de Peças de Reposição						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fiabilidade Humana										Gestão de Recursos da Manutenção						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fiabilidade Humana										Planeamento e Operação do Equipamento						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fiabilidade Humana										Envelhecimento do Equipamento						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fiabilidade Humana										Tipos de Manutenção e sua Aplicação						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Formação										Planeamento da Manutenção						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Formação										Gestão de Peças de Reposição						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Formação										Gestão de Recursos da Manutenção						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Formação										Planeamento e Operação do Equipamento						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Formação										Envelhecimento do Equipamento						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Formação										Tipos de Manutenção e sua Aplicação						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção										Gestão de Peças de Reposição						
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Planeamento da Manutenção															Gestão de Recursos da Manutenção	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção															Planeamento e Operação do Equipamento	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção															Envelhecimento do Equipamento	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção															Tipos de Manutenção e sua Aplicação	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição															Gestão de Recursos da Manutenção	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição															Planeamento e Operação do Equipamento	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição															Envelhecimento do Equipamento	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição															Tipos de Manutenção e sua Aplicação	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção															Planeamento e Operação do Equipamento	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção															Envelhecimento do Equipamento	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção															Tipos de Manutenção e sua Aplicação	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento e Operação do Equipamento															Envelhecimento do Equipamento	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento e Operação do Equipamento															Tipos de Manutenção e sua Aplicação	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Envelhecimento do Equipamento															Tipos de Manutenção e sua Aplicação	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Para o MODO DE FALHA 6 compare a importância das alternativas.

Relativamente ao modo de falha 6 (Chumaceiras das bandas magnéticas agarradas ao veio estriado) qual o grau de importância da Fiabilidade Humana relativamente à Formação?

Repete-se a mesma pergunta para cada comparação com diferentes alternativas

Fiabilidade Humana										Formação								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Fiabilidade Humana										Planeamento da Manutenção								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Fiabilidade Humana										Gestão de Peças de Reposição								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Fiabilidade Humana										Gestão de Recursos da Manutenção								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Fiabilidade Humana										Planeamento e Operação do Equipamento								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Fiabilidade Humana										Envelhecimento do Equipamento								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Fiabilidade Humana										Tipos de Manutenção e sua Aplicação								
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Formação						Planeamento da Manutenção												
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Formação						Gestão de Peças de Reposição												
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Formação						Gestão de Recursos da Manutenção												
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Formação						Planeamento e Operação do Equipamento												
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Formação						Envelhecimento do Equipamento												
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Formação						Tipos de Manutenção e sua Aplicação												
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Planeamento da Manutenção				Gestão de Peças de Reposição														
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Planeamento da Manutenção	Gestão de Recursos da Manutenção															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção	Planeamento e Operação do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção	Envelhecimento do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento da Manutenção	Tipos de Manutenção e sua Aplicação															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição	Gestão de Recursos da Manutenção															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição	Planeamento e Operação do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição	Envelhecimento do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Peças de Reposição	Tipos de Manutenção e sua Aplicação															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção	Planeamento e Operação do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção	Envelhecimento do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gestão de Recursos da Manutenção	Tipos de Manutenção e sua Aplicação															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento e Operação do Equipamento	Envelhecimento do Equipamento															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planeamento e Operação do Equipamento	Tipos de Manutenção e sua Aplicação															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Envelhecimento do Equipamento	Tipos de Manutenção e sua Aplicação															
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Anexo 4 – Análise de Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA)

DOCUMENTO FMEA – CASO DE ESTUDO

SISTEMA	SUBSISTEMA	ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	Ocorrência			Tempo [h]			MTBF	Conseq.	Controlos	S	O	D	NPR	Matriz de Risco
						Real	Pot.	Total	Real médio	Pot	Total								
Processamento da Fita	Estação de Carga	Atuador Hidráulico	Elevar e descer a bobina de aço	Atuador não sobe bobina de aço	Não chega pressão do bloco hidráulico	2	2	0,00	3	3,0	14519	C	C-D-F	3	1	3	9	BAIXO	
					Sentido do fluxo do óleo hidráulico incorrecto	2	2	0,00	2	2,0	14519	C		2	1	10	20	BAIXO	
					Pressão hidráulica insuficiente	2	2	0,00	2	2,0	14519	C	C-D-F	2	1	3	6	BAIXO	
				Atuador não mantém bobina de aço em cima	Fuga nas ligações e acessórios	1	1	0,00	24	24,0	29016	A-B-C-F		9	1	10	90	ALTO	
					Fuga interna do atuador	1	1	0,00	24	24,0	29016	C-F		9	1	10	90	ALTO	
					Fuga nas ligações e acessórios	1	1	0,00	24	24,0	29016	A-B-C-F		9	1	10	90	ALTO	
		Atuador não desce	Válvula anti-retorno de segurança presa	2	2	0,00	4	4,0	14518	A-B-C		3	1	10	30	BAIXO			
			Válvula anti-retorno de segurança sem sinal de pilotagem	2	2	0,00	4	4,0	14518	C		3	1	10	30	BAIXO			
		Rolos de Carga	Suportar a bobina	Rolos não asseguram a segurança da bobina	Superfície dos rolos danificada	3	3	0,00	12	12,0	9676	C-F	A-G	7	1	1	7	BAIXO	
		Motor Hidráulico	Girar rolos de carga	Rolos não giram	Não chega pressão do bloco hidráulico	2	2	0,00	3	3,0	14519	C	C-D-F	3	1	3	9	BAIXO	
					Pressão hidráulica insuficiente	2	2	0,00	2	2,0	14519	C	C-D-F	2	1	3	6	BAIXO	
					Fuga nas ligações e acessórios	2	2	0,00	4	4,0	14518	A-B-C		3	1	10	30	BAIXO	
					Rolamentos dos rolos bloqueados	2	2	0,00	16	16,0	14512	C-F	A-B-G	8	1	8	64	BAIXO	
		Bloco Hidráulico	Fornecer e supervisionar abastecimento de óleo ao atuador hidráulico	Não fornece óleo hidráulico	Válvula de segurança em permanente descarga	3	3	0,00	3	3,0	9679	C		3	1	10	30	BAIXO	
					Não recebe óleo hidráulico do agregado principal	2	2	0,00	6	6,0	14517	B-C		4	1	10	40	BAIXO	
	Válvulas direccionais bloqueadas				4	4	0,00	2	2,0	7260	C		2	2	10	40	BAIXO		
	Não chega sinal elétrico ao solenóide da válvula				4	4	0,00	2	2,0	7260	C		2	2	10	40	BAIXO		
	Solenóide com defeito				4	4	0,00	2	2,0	7260	C		2	2	10	40	BAIXO		
	Ar no circuito				2	2	0,00	4	4,0	14518	B-C		3	1	10	30	BAIXO		
	Fornece óleo hidráulico com pressão incorrecta			Fuga interna no bloco	2	2	0,00	6	6,0	14517	C		4	1	10	40	BAIXO		
				Válvulas direccionais bloqueadas	4	4	0,00	2	2,0	7260	C		2	2	10	40	BAIXO		
				Válvula de segurança mal calibrada	2	2	0,00	2	2,0	14519	A-C		2	1	10	20	BAIXO		
				Válvula de segurança com passagem	2	2	0,00	3	3,0	14519	C		3	1	10	30	BAIXO		
	Desbobinadeira	Motor de Ajuste dos Rolos Pressores	Posicionar os rolos de acordo com o tipo de bobina de aço	Motor não desloca os rolos pressores	Travão do motor não abre	4	4	0,00	4	4,0	7259	C	B	3	2	5	30	BAIXO	
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado	1	1	0,00	4	4,0	29036	A-C	A	3	1	5	15	BAIXO	
					Não chega energia elétrica ao motor	2	2	0,00	3	3,0	14519	C		3	1	10	30	BAIXO	
					Arrancador ou ponte rectificadora com defeito	3	3	0,00	3	3,0	9679	C		3	1	10	30	BAIXO	
					Motor danificado	3	3	0,00	6	6,0	9678	C-E-F	F	4	1	8	32	BAIXO	
					Sobrecarga mecânica na operação	4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C	F	2	2	4	16	BAIXO	
					Falta de fase no motor	3	3	0,00	3,00	3,0	9679	C		3	1	10	30	BAIXO	
		Motor funciona mas eixo dos rolos não se desloca	Porca de flange do fuso danificada	1	2	3	3,25	20,7	24,0	9672	C-E-F	A-G	9	1	9	81	ALTO		
			Porca do fuso de ajuste caída ou desajustada	1		1	1,50		1,5	29039	C	A-G	2	1	4	8	BAIXO		
			Fuso danificado	1	2	3	0,83	23,20	24,0	9672	C-E-F	A-G	9	1	7	63	ALTO		
Rolos Pressores		Fazer girar a bobina de aço no mandril	Rolos pressores não se ajustam à bobina para a fazer girar	Fim de curso de abertura do rolo pressor inferior desajustado	3	1	4	0,44	1,00	1,4	7260	C	A-F	2	2	2	8	BAIXO	
				Bobina com diâmetro superior ao especificado	3	1	4	0,49	1,00	1,5	7260	C	A-F	2	2	2	8	BAIXO	
				Prisão mecânica no braço de suporte dos rolos	4	4	0,00	1,00	1,0	7260	C	A-G	1	2	4	8	BAIXO		
	Atuadores hidráulicos não actuam			3	3	0,00	4,00	4,0	9679	C		3	1	10	30	BAIXO			

SISTEMA	SUBSISTEMA	ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	Ocorrência			Tempo [h]			MTBF	Conseq.	Controlos	S	O	D	NPR	Matriz de Risco			
						Real	Pot.	Total	Real médio	Pot	Total											
Processamento da Fita	Desbobinadeira	Rolos Pressores	Fazer girar a bobina de aço no mandril	Rolos pressores não giram a bobina de aço	Motores hidráulicos não actuam		3	3	0,00	4,00	4,0	9679	C		3	1	10	30	BAIXO			
					Travão do veio do mandril não abre		2	2	0,00	4,00	4,0	14518	C	A-G	3	1	8	24	BAIXO			
		Motor de Ajuste das Fotocélulas de Posição da Bobina no Mandril	Deslocar as fotocélulas quando a largura do coil é inferior a 600mm	Motor não funciona	Travão do motor não abre		4	4	0,00	4,00	4,0	7259	C	B	3	2	5	30	BAIXO			
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado		1	1	0,00	4,00	4,0	29036	A-C	A	3	1	5	15	BAIXO			
					Não chega energia elétrica ao motor	1	2	3	0,33	3,00	3,3	9679	C		3	1	10	30	BAIXO			
					Arrancador ou ponte rectificadora com defeito		3	3	0,00	3,00	3,0	9679	C		3	1	10	30	BAIXO			
					Motor danificado		2	2	0,00	12,00	12,0	14514	C-E-F	F	7	1	8	56	BAIXO			
					Sobrecarga mecânica na operação		4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C	F	2	2	4	16	BAIXO			
					Falta de fase no motor		3	3	0,00	3,00	3,0	9679	C		3	1	10	30	BAIXO			
		Mandril Hidráulico	Fixar a bobina de aço	Mandril não expande para fixar bobina	Pressão hidráulica insuficiente	2	2	4	0,50	2,00	2,5	7259	A-C	C-D-F	3	2	3	18	BAIXO			
					Não chega pressão do bloco hidráulico		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	A-C	C	3	1	3	9	BAIXO			
					Fuga nas ligações e acessórios		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	A-B-C		3	1	10	30	BAIXO			
		Bloco Hidráulico	Fornecer e supervisionar abastecimento de óleo ao atuador hidráulico	Não fornece óleo hidráulico	Parafusos das maxilas caídos ou desapertados	3	3	6	0,44	2,00	2,4	4840	C	B	3	3	2	18	BAIXO			
					Válvula de segurança em permanente descarga		3	3	0,00	3,00	3,0	9679	C		3	1	10	30	BAIXO			
					Não recebe óleo hidráulico do agregado principal		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	C	3	1	3	9	BAIXO			
					Válvulas direccionais presas		4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C		2	2	10	40	BAIXO			
					Não chega sinal elétrico ao solenóide da válvula		4	4	0,00	3,00	3,0	7259	C		3	2	10	60	BAIXO			
					Solenóide com defeito		4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C		2	2	10	40	BAIXO			
				Fornece óleo hidráulico com pressão incorrecta	Ar no circuito		2	2	0,00	4,00	4,0	14518	C		3	1	10	30	BAIXO			
					Fuga interna no bloco		1	1	0,00	12,00	12,0	29028	C		7	1	10	70	BAIXO			
					Válvulas direccionais presas		4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C		2	2	10	40	BAIXO			
					Válvula de segurança mal calibrada		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	A-C		2	1	10	20	BAIXO			
					Válvula de segurança com passagem		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C		3	1	10	30	BAIXO			
					Motor de Deslocamento	Movimentar a desbobinadeira para recolher a bobina de aço	Motor não movimenta a desbobinadeira	Fotocélula e/ou reflector da estação de carga desajustada	2	6	8	0,50	0,50	1,0	3630	C	A-F-G	1	4	3	12	BAIXO
								Fotocélula e/ou reflector da estação de carga danificada		4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C-E	A-F-G	2	2	6	24	BAIXO
		Sensor de deslocamento desajustado	1	7				8	0,50	2,00	2,5	3630	C	A-F-G	3	4	3	36	BAIXO			
		Sensor de deslocamento danificado		8				8		2,00	2,0	3630	C-E	A-F-G	2	4	6	48	BAIXO			
		Sensor de paragem desajustado	1	7				8	0,50	1,00	1,5	3630	C	A-F-G	2	4	3	24	BAIXO			
		Sensor de paragem danificado	3	5				8	0,47	1,50	2,0	3630	C-E	A-F-G	2	4	6	48	BAIXO			
		Cabo do sensor de final de fita 2 danificado	3	5				8	0,41	2,50	2,9	3630	A-C	A-F-G	3	4	5	60	BAIXO			
		Travão do motor não abre	2	2				4	0,54	3,50	4,0	7259	C	B	4	2	6	48	BAIXO			
		Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado	3	1				4	1,24	2,50	3,7	7259	A-C	A-G	3	2	5	30	BAIXO			
		Não chega energia elétrica ao motor		2				2	0,00	3,00	3,0	14519	C		3	1	10	30	BAIXO			
Arrancador ou ponte rectificadora com defeito		3	3	0,00				3,00	3,0	9679	C		3	1	10	30	BAIXO					
Motor danificado		2	2	0,00				20,00	20,0	14510	A-C-E-F	F	9	1	8	72	ALTO					
Sobrecarga mecânica na operação		1	1	0,00				2,00	2,0	29038	C	F	2	1	4	8	BAIXO					
Falta de fases no motor		2	2	0,00				3,00	3,0	14519	A-C		3	1	10	30	BAIXO					

SISTEMA	SUBSISTEMA	ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	Ocorrência			Tempo [h]			MTBF	Conseq.	Controlos	S	O	D	NPR	Matriz de Risco		
						Real	Pot.	Total	Real médio	Pot	Total										
Processamento da Fita	Desbobinadeira	Motor de Deslocamento	Movimentar a desbobinadeira para recolher a bobina de aço	Motor iniciou o movimento da desbobinadeira mas depois parou	Estrado desencaixado foi arrastado e danificou sensores	1	4	5	1,50	0,50	2,0	5808	C	A	2	2	2	8	BAIXO		
					Chapas e lixo no trajecto foram arrastadas e danificaram sensores	4		4	0,52	1,50	2,0	7259	C	A	3	2	4	24	BAIXO		
					Sensor de marcha lenta desajustado	1	7	8	0,50	1,00	1,5	3630	C	A-F	2	4	3	24	BAIXO		
					Sensor de marcha lenta danificado		8	8		2,00	2,0	3630	C-E	A-F	2	4	6	48	BAIXO		
					Cabo do sensor de marcha lenta danificado	2	2	4	1,08	1,50	2,6	7259	A	A-F	3	2	5	30	BAIXO		
				Motor não parou o movimento da desbobinadeira no valor indicado (ao longo do percurso ou ao centro da linha)	Lixo no carril impediu leitura dos sensores	1		1	1,33		1,3	29039	C	A	2	1	3	6	BAIXO		
					Sensor de posicionamento desajustado	1	7	8	0,50	1,50	2,0	3630	C	A-F	2	4	3	24	BAIXO		
					Sensor de posicionamento danificado		8	8	0,00	2,00	2,0	3630	C-E	A-F	2	4	6	48	BAIXO		
					Sensor de marcha lenta desajustado	1	7	8	0,33	1,50	1,8	3630	C	A-F	2	4	8	64	BAIXO		
					Sensor de marcha lenta danificado		8	8		2,00	2,0	3630	C-E	A-F	2	4	6	48	BAIXO		
				Motor só movimenta a desbobinadeira em marcha lenta	Fotocélula e reflector desajustados ou danificados	2	1	3	0,45	1,50	2,0	9679	C	A-F	2	1	5	10	BAIXO		
					Cabos dos sensores de percurso danificados	1	3	4	0,50	3,50	4,0	7259	C	A-F	3	2	5	30	BAIXO		
		Corrente do Deslocamento	Tração para o deslocamento da desbobinadeira	Corrente não permite deslocamento da desbobinadeira	Rotura da corrente devido a pinos partidos		1	1	0,00	6,00	6,0	29034	A-C	A	4	1	2	8	BAIXO		
					Rotura da corrente devido a elo de ligação partido		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	A-C	A	3	1	2	6	BAIXO		
					Roda dentada partida		2	2	0,00	20,00	20,0	14510	C-E-F	A	9	1	2	18	ALTO		
					Rotura da corrente devido a sobrecarga mecânica		2	2	0,00	12,00	12,0	14514	C-E-F	A	7	1	2	14	BAIXO		
		Rodas da Desbobinadeira	Suportar a desbobinadeira e permitir o deslocamento	Rodas não permitem deslocamento correcto da desbobinadeira	Rolamentos danificados		1	1	0,00	14,00	14,0	29026	C-E-F		8	1	10	80	MEDIO		
					Eixo danificado		1	1	0,00	10,00	10,0	29030	C-E-F		6	1	10	60	BAIXO		
		Motor de Rotação			Transmitir movimento ao prato da desbobinadeira para enrolar ou desenrolar a bobina	Motor movimenta o prato da desbobinadeira no sentido de desenrolar demasiado rápido	Sonar sujo ou danificado	3	1	4	0,33	2,50	2,8	7259	C	F	3	2	5	30	BAIXO
							Motor iniciou o movimento do prato da desbobinadeira mas depois parou de desenrolar a bobina	Fotocélula do final de fita 2 desajustada	1	3	4	0,33	1,50	1,8	7260	C	A-F	2	2	3	12
						Fotocélula do final de fita 2 danificada			2	2		2,00	2,0	14519	C-E	A-F	2	1	6	12	BAIXO
						Motor não movimenta o prato da desbobinadeira	Sobrecarga mecânica na operação		3	3	0,00	2,00	2,0	9679	C	F	2	1	6	12	BAIXO
							Falta de fase no motor		1	1	0,00	4,00	4,0	29036	A-C		3	1	10	30	BAIXO
							Botoneira e potenciometro do comando móvel com mau contacto ou danificados	1	7	8	0,50	1,50	2,0	3630	C		2	4	10	80	MEDIO
							Travão do motor não abre		3	3	0,00	4,00	4,0	9679	C	B	3	1	5	15	BAIXO
							Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado		1	1	0,00	4,00	4,0	29036	A-C	A	3	1	5	15	BAIXO
							Não chega energia elétrica ao motor		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C		3	1	10	30	BAIXO
							Variador em falha		8	8	0,00	1,00	1,0	3630	C	F	1	4	4	16	BAIXO
							Variador danificado		1	1	0,00	12,00	12,0	29028	C-E	F	7	1	4	28	BAIXO
							Motor danificado		1	1	0,00	32,00	24,0	29016	A-C-E-F	F	9	1	10	90	ALTO
Rolamento do veio do mandril agarrado	1							1	72,00		72,0	28968	A-C-E-F		10	1	10	100	CRITICO		
Travão do veio do mandril não abre						1	1	0,00	3,00	3,0	29037	C		3	1	10	30	BAIXO			
Motor não para o movimento do prato no sentido de desenrolar a bobina	Sensor da guia da extensão da mesa inferior do dispositivo de introdução desajustado					1	1	2	0,50	1,00	1,5	14519	C		2	1	10	20	BAIXO		

SISTEMA	SUBSISTEMA	ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	Ocorrência			Tempo [h]			MTBF	Conseq.	Controlos	S	O	D	NPR	Matriz de Risco
						Real	Pot.	Total	Real médio	Pot	Total								
Processamento da Fita	Desbobinadeira	Caixa Redutora do Motor de Rotação	Converter velocidade e fornecer binário ao prato da desbobinadeira	Funciona com temperatura excessiva	Sobrecarga mecânica na operação	1	1	0,00	1,00	1,0	29039	C	G	1	1	6	6	BAIXO	
					Lubrificação incorrecta ou insuficiente	1	1	0,00	2,00	2,0	29038	C	C-G	2	1	2	4	BAIXO	
					Rolamentos com prisão	1	1	0,00	1,00	1,0	29039	C	G	1	1	6	6	BAIXO	
					Ventilação obstruída	1	1	0,00	1,00	1,0	29039	C	G	1	1	2	2	BAIXO	
				Funciona com ruído excessivo ou anormal	Rolamentos danificados	1	1	0,00	32,00	24,0	29016	C-E-F	B-G	9	1	9	81	ALTO	
					Nível de óleo baixo	4	4	0,00	1,00	1,0	7260	C	C-G	1	2	2	4	BAIXO	
					Ajustes mecânicos incorrectos	2	2	0,00	32,00	24,0	14508	C-E-F		9	1	10	90	ALTO	
					Lascas de material nas engrenagens	1	1	0,00	24,00	24,0	29016	C-F		9	1	10	90	ALTO	
				Funciona com excessiva vibração	Engrenagens gastas	1	1	0,00	32,00	24,0	29016	C-E-F		9	1	10	90	ALTO	
					Elementos de fixação soltos	3	3	0,00	2,00	2,0	9679	C	A-G	2	1	2	4	BAIXO	
				Veio de saída não gira	Caixa não recebe movimento do motor	3	3	0,00	4,00	4,0	9679	C	G	3	1	8	24	BAIXO	
					Engrenagens partidas	1	1	0,00	32,00	24,0	29016	C-E-F	G	9	1	8	72	ALTO	
	Unidade de Introdução e Extração	Atuadores Pneumáticos dos Cilindros	Elevar e descer os cilindros e exercer pressão para puxar a fita de aço	Atuadores não se movimentam	Circuito de ar comprimido sem pressão	3	3	0,00	1,00	1,0	9680	C	B-C	1	1	4	4	BAIXO	
					Válvula direccional bloqueada	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C		2	1	10	20	BAIXO	
					Não chega sinal eléctrico ao solenóide da válvula	4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C		2	2	10	40	BAIXO	
					Solenóide da válvula danificado	3	3	0,00	1,00	1,0	9680	C	A	1	1	6	6	BAIXO	
					Fuga de ar nas ligações e acessórios	4	4	0,00	1,00	1,0	7260	A-B-C		1	2	10	20	BAIXO	
					Válvula reguladora de fluxo demasiado fechada	3	3	0,00	1,00	1,0	9680	C		1	1	10	10	BAIXO	
		Motor dos Cilindros de Saída	Movimentar os cilindros de saída	Motor não movimentam os cilindros	Fotocelula de fim de fita V desajustada	1	3	4	0,50	1,00	1,5	7260	C	A-F	2	2	3	12	BAIXO
					Fotocelula de fim de fita V danificada	4	4		2,00	2,0	7260	C-E	A-F	2	2	6	24	BAIXO	
					Travão do motor não abre	4	4	0,00	4,00	4,0	7259	C	B	3	2	5	30	BAIXO	
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado	1	1	0,00	4,00	4,0	29036	C	A	3	1	5	15	BAIXO	
					Não chega energia eléctrica ao motor	2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C		3	1	10	30	BAIXO	
					Arrancador ou ponte rectificadora com defeito	3	3	0,00	3,00	3,0	9679	C		3	1	10	30	BAIXO	
					Motor danificado	2	2	0,00	16,00	16,0	14512	C-E-F	F	8	1	8	64	BAIXO	
					Sobrecarga mecânica na operação	4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C	F	2	2	4	16	BAIXO	
		Cilindros de Saída	Puxar a fita de aço para a tesoura de corte de sucata	Cilindros não puxam a fita de aço	Acoplamento PK danificado	1	1	0,00	12,00	12,0	29028	C-D-E-F		7	1	10	70	BAIXO	
					Corrente de transmissão partida	1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-D-E-F		4	1	10	40	BAIXO	
					Rodas dentadas da corrente transmissão partidas	1	1	0,00	12,00	12,0	29028	C-D-F		7	1	10	70	BAIXO	
					Não chega pressão do bloco hidráulico	2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	C-D	3	1	3	9	BAIXO	
					Fuga nas ligações e acessórios	2	2	0,00	4,00	4,0	14518	A-B-C		3	1	10	30	BAIXO	
					Pressão hidráulica insuficiente	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C	C	2	1	4	8	BAIXO	
		Atuador Hidráulico da Mesa Superior	Elevar e descer a mesa superior para facilitar a entrada da fita	Atuador não movimentam a mesa	Sentido do fluxo do óleo hidráulico incorrecto	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C		2	1	10	20	BAIXO	
					Fuga interna do atuador	1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-E		4	1	10	40	BAIXO	
					Fuga nas ligações e acessórios	2	2	0,00	4,00	4,0	14518	A-B-C		3	1	10	30	BAIXO	
			Atuador movimentam a mesa mas perde posição	Fuga nos vedantes da haste	1	1	0,00	6,00	6,0	29034	A-B-C-E	A	4	1	2	8	BAIXO		

SISTEMA	SUBSISTEMA	ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	Ocorrência			Tempo [h]			MTBF	Conseq.	Controlos	S	O	D	NPR	Matriz de Risco	
						Real	Pot.	Total	Real médio	Pot	Total									
Processamento da Fita	Estação de Carga	Atuador Hidráulico	Elevar e descer a bobina de aço	Atuador não sobe bobina de aço	Não chega pressão do bloco hidráulico	2	2	0,00	3	3,0	14519	C	C-D-F	3	1	3	9	BAIXO		
					Sentido do fluxo do óleo hidráulico incorrecto	2	2	0,00	2	2,0	14519	C		2	1	10	20	BAIXO		
					Pressão hidráulica insuficiente	2	2	0,00	2	2,0	14519	C	C-D-F	2	1	3	6	BAIXO		
				Atuador não mantém bobina de aço em cima	Fuga nas ligações e acessórios	1	1	0,00	24	24,0	29016	A-B-C-F		9	1	10	90	ALTO		
					Fuga interna do atuador	1	1	0,00	24	24,0	29016	C-F		9	1	10	90	ALTO		
					Fuga nas ligações e acessórios	1	1	0,00	24	24,0	29016	A-B-C-F		9	1	10	90	ALTO		
		Atuador não desce	Válvula anti-retorno de segurança presa	2	2	0,00	4	4,0	14518	A-B-C		3	1	10	30	BAIXO				
			Válvula anti-retorno de segurança sem sinal de pilotagem	2	2	0,00	4	4,0	14518	C		3	1	10	30	BAIXO				
		Rolos de Carga	Suportar a bobina	Rolos não asseguram a segurança da bobina	Superfície dos rolos danificada	3	3	0,00	12	12,0	9676	C-F	A-G	7	1	1	7	BAIXO		
		Motor Hidráulico	Girar rolos de carga	Rolos não giram	Não chega pressão do bloco hidráulico	2	2	0,00	3	3,0	14519	C	C-D-F	3	1	3	9	BAIXO		
					Pressão hidráulica insuficiente	2	2	0,00	2	2,0	14519	C	C-D-F	2	1	3	6	BAIXO		
					Fuga nas ligações e acessórios	2	2	0,00	4	4,0	14518	A-B-C		3	1	10	30	BAIXO		
	Rolamentos dos rolos bloqueados				2	2	0,00	16	16,0	14512	C-F	A-B-G	8	1	8	64	BAIXO			
	Bloco Hidráulico	Fornecer e supervisionar abastecimento de óleo ao atuador hidráulico	Não fornece óleo hidráulico	Válvula de segurança em permanente descarga	3	3	0,00	3	3,0	9679	C		3	1	10	30	BAIXO			
				Não recebe óleo hidráulico do agregado principal	2	2	0,00	6	6,0	14517	B-C		4	1	10	40	BAIXO			
				Válvulas direccionais bloqueadas	4	4	0,00	2	2,0	7260	C		2	2	10	40	BAIXO			
				Não chega sinal elétrico ao solenóide da válvula	4	4	0,00	2	2,0	7260	C		2	2	10	40	BAIXO			
				Solenóide com defeito	4	4	0,00	2	2,0	7260	C		2	2	10	40	BAIXO			
				Ar no circuito	2	2	0,00	4	4,0	14518	B-C		3	1	10	30	BAIXO			
			Fornece óleo hidráulico com pressão incorrecta	Fuga interna no bloco	2	2	0,00	6	6,0	14517	C		4	1	10	40	BAIXO			
				Válvulas direccionais bloqueadas	4	4	0,00	2	2,0	7260	C		2	2	10	40	BAIXO			
				Válvula de segurança mal calibrada	2	2	0,00	2	2,0	14519	A-C		2	1	10	20	BAIXO			
				Válvula de segurança com passagem	2	2	0,00	3	3,0	14519	C		3	1	10	30	BAIXO			
	Desbobinadeira	Motor de Ajuste dos Rolos Pressores	Posicionar os rolos de acordo com o tipo de bobina de aço	Motor não desloca os rolos pressores	Travão do motor não abre	4	4	0,00	4	4,0	7259	C	B	3	2	5	30	BAIXO		
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado	1	1	0,00	4	4,0	29036	A-C	A	3	1	5	15	BAIXO		
					Não chega energia elétrica ao motor	2	2	0,00	3	3,0	14519	C		3	1	10	30	BAIXO		
					Arrancador ou ponte rectificadora com defeito	3	3	0,00	3	3,0	9679	C		3	1	10	30	BAIXO		
					Motor danificado	3	3	0,00	6	6,0	9678	C-E-F	F	4	1	8	32	BAIXO		
					Sobrecarga mecânica na operação	4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C	F	2	2	4	16	BAIXO		
		Motor funciona mas eixo dos rolos não se desloca	Falta de fase no motor	3	3	0,00	3,00	3,0	9679	C		3	1	10	30	BAIXO				
			Porca de flange do fuso danificada	1	2	3	3,25	20,7	24,0	9672	C-E-F	A-G	9	1	9	81	ALTO			
			Porca do fuso de ajuste caída ou desajustada	1		1	1,50		1,5	29039	C	A-G	2	1	4	8	BAIXO			
			Fuso danificado	1	2	3	0,83	23,20	24,0	9672	C-E-F	A-G	9	1	7	63	ALTO			
			Rolos Pressores	Fazer girar a bobina de aço no mandril	Rolos pressores não se ajustam à bobina para a fazer girar	Fim de curso de abertura do rolo pressor inferior desajustado	3	1	4	0,44	1,00	1,4	7260	C	A-F	2	2	2	8	BAIXO
						Bobina com diâmetro superior ao especificado	3	1	4	0,49	1,00	1,5	7260	C	A-F	2	2	2	8	BAIXO
	Prisão mecânica no braço de suporte dos rolos	4				4	0,00	1,00	1,0	7260	C	A-G	1	2	4	8	BAIXO			
	Atuadores hidráulicos não actuam	3				3	0,00	4,00	4,0	9679	C		3	1	10	30	BAIXO			

SISTEMA	SUBSISTEMA	ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	Ocorrência			Tempo [h]			MTBF	Conseq.	Controlos	S	O	D	NPR	Matriz de Risco			
						Real	Pot.	Total	Real médio	Pot	Total											
Processamento da Fita	Desbobinadeira	Rolos Pressores	Fazer girar a bobina de aço no mandril	Rolos pressores não giram a bobina de aço	Motores hidráulicos não actuam		3	3	0,00	4,00	4,0	9679	C		3	1	10	30	BAIXO			
					Travão do veio do mandril não abre		2	2	0,00	4,00	4,0	14518	C	A-G	3	1	8	24	BAIXO			
		Motor de Ajuste das Fotocélulas de Posição da Bobina no Mandril	Deslocar as fotocélulas quando a largura do coil é inferior a 600mm	Motor não funciona	Travão do motor não abre		4	4	0,00	4,00	4,0	7259	C	B	3	2	5	30	BAIXO			
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado		1	1	0,00	4,00	4,0	29036	A-C	A	3	1	5	15	BAIXO			
					Não chega energia elétrica ao motor	1	2	3	0,33	3,00	3,3	9679	C		3	1	10	30	BAIXO			
					Arrancador ou ponte rectificadora com defeito		3	3	0,00	3,00	3,0	9679	C		3	1	10	30	BAIXO			
					Motor danificado		2	2	0,00	12,00	12,0	14514	C-E-F	F	7	1	8	56	BAIXO			
					Sobrecarga mecânica na operação		4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C	F	2	2	4	16	BAIXO			
					Falta de fase no motor		3	3	0,00	3,00	3,0	9679	C		3	1	10	30	BAIXO			
		Mandril Hidráulico	Fixar a bobina de aço	Mandril não expande para fixar bobina	Pressão hidráulica insuficiente	2	2	4	0,50	2,00	2,5	7259	A-C	C-D-F	3	2	3	18	BAIXO			
					Não chega pressão do bloco hidráulico		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	A-C	C	3	1	3	9	BAIXO			
					Fuga nas ligações e acessórios		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	A-B-C		3	1	10	30	BAIXO			
		Bloco Hidráulico	Fornecer e supervisionar abastecimento de óleo ao atuador hidráulico	Não fornece óleo hidráulico	Parafusos das maxilas caídos ou desapertados	3	3	6	0,44	2,00	2,4	4840	C	B	3	3	2	18	BAIXO			
					Válvula de segurança em permanente descarga		3	3	0,00	3,00	3,0	9679	C		3	1	10	30	BAIXO			
					Não recebe óleo hidráulico do agregado principal		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	C	3	1	3	9	BAIXO			
					Válvulas direccionais presas		4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C		2	2	10	40	BAIXO			
					Não chega sinal elétrico ao solenóide da válvula		4	4	0,00	3,00	3,0	7259	C		3	2	10	60	BAIXO			
					Solenóide com defeito		4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C		2	2	10	40	BAIXO			
				Fornece óleo hidráulico com pressão incorrecta	Ar no circuito		2	2	0,00	4,00	4,0	14518	C		3	1	10	30	BAIXO			
					Fuga interna no bloco		1	1	0,00	12,00	12,0	29028	C		7	1	10	70	BAIXO			
					Válvulas direccionais presas		4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C		2	2	10	40	BAIXO			
					Válvula de segurança mal calibrada		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	A-C		2	1	10	20	BAIXO			
					Válvula de segurança com passagem		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C		3	1	10	30	BAIXO			
					Motor de Deslocamento	Movimentar a desbobinadeira para recolher a bobina de aço	Motor não movimenta a desbobinadeira	Fotocélula e/ou reflector da estação de carga desajustada	2	6	8	0,50	0,50	1,0	3630	C	A-F-G	1	4	3	12	BAIXO
								Fotocélula e/ou reflector da estação de carga danificada		4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C-E	A-F-G	2	2	6	24	BAIXO
		Sensor de deslocamento desajustado	1	7				8	0,50	2,00	2,5	3630	C	A-F-G	3	4	3	36	BAIXO			
		Sensor de deslocamento danificado		8				8		2,00	2,0	3630	C-E	A-F-G	2	4	6	48	BAIXO			
		Sensor de paragem desajustado	1	7				8	0,50	1,00	1,5	3630	C	A-F-G	2	4	3	24	BAIXO			
		Sensor de paragem danificado	3	5				8	0,47	1,50	2,0	3630	C-E	A-F-G	2	4	6	48	BAIXO			
		Cabo do sensor de final de fita 2 danificado	3	5				8	0,41	2,50	2,9	3630	A-C	A-F-G	3	4	5	60	BAIXO			
		Travão do motor não abre	2	2				4	0,54	3,50	4,0	7259	C	B	4	2	6	48	BAIXO			
		Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado	3	1				4	1,24	2,50	3,7	7259	A-C	A-G	3	2	5	30	BAIXO			
		Não chega energia elétrica ao motor		2				2	0,00	3,00	3,0	14519	C		3	1	10	30	BAIXO			
Arrancador ou ponte rectificadora com defeito		3	3	0,00				3,00	3,0	9679	C		3	1	10	30	BAIXO					
Motor danificado		2	2	0,00				20,00	20,0	14510	A-C-E-F	F	9	1	8	72	ALTO					
Sobrecarga mecânica na operação		1	1	0,00				2,00	2,0	29038	C	F	2	1	4	8	BAIXO					
Falta de fases no motor		2	2	0,00				3,00	3,0	14519	A-C		3	1	10	30	BAIXO					

SISTEMA	SUBSISTEMA	ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	Ocorrência			Tempo [h]			MTBF	Conseq.	Controlos	S	O	D	NPR	Matriz de Risco	
						Real	Pot.	Total	Real médio	Pot	Total									
Processamento da Fita	Desbobinadeira	Motor de Deslocamento	Movimentar a desbobinadeira para recolher a bobina de aço	Motor iniciou o movimento da desbobinadeira mas depois parou	Estrado desencaixado foi arrastado e danificou sensores	1	4	5	1,50	0,50	2,0	5808	C	A	2	2	2	8	BAIXO	
					Chapas e lixo no trajecto foram arrastadas e danificaram sensores	4		4	0,52	1,50	2,0	7259	C	A	3	2	4	24	BAIXO	
					Sensor de marcha lenta desajustado	1	7	8	0,50	1,00	1,5	3630	C	A-F	2	4	3	24	BAIXO	
					Sensor de marcha lenta danificado		8	8		2,00	2,0	3630	C-E	A-F	2	4	6	48	BAIXO	
					Cabo do sensor de marcha lenta danificado	2	2	4	1,08	1,50	2,6	7259	A	A-F	3	2	5	30	BAIXO	
					Lixo no carril impediu leitura dos sensores	1		1	1,33		1,3	29039	C	A	2	1	3	6	BAIXO	
				Motor não parou o movimento da desbobinadeira no valor indicado (ao longo do percurso ou ao centro da linha)	Sensor de posicionamento desajustado	1	7	8	0,50	1,50	2,0	3630	C	A-F	2	4	3	24	BAIXO	
					Sensor de posicionamento danificado		8	8	0,00	2,00	2,0	3630	C-E	A-F	2	4	6	48	BAIXO	
					Sensor de marcha lenta desajustado	1	7	8	0,33	1,50	1,8	3630	C	A-F	2	4	8	64	BAIXO	
					Sensor de marcha lenta danificado		8	8		2,00	2,0	3630	C-E	A-F	2	4	6	48	BAIXO	
					Fotocélula e reflector desajustados ou danificados	2	1	3	0,45	1,50	2,0	9679	C	A-F	2	1	5	10	BAIXO	
					Cabos dos sensores de percurso danificados	1	3	4	0,50	3,50	4,0	7259	C	A-F	3	2	5	30	BAIXO	
		Motor só movimenta a desbobinadeira em marcha lenta	Corrente não permite deslocamento da desbobinadeira	Rotura da corrente devido a pinos partidos		1	1	0,00	6,00	6,0	29034	A-C	A	4	1	2	8	BAIXO		
				Rotura da corrente devido a elo de ligação partido		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	A-C	A	3	1	2	6	BAIXO		
				Roda dentada partida		2	2	0,00	20,00	20,0	14510	C-E-F	A	9	1	2	18	ALTO		
				Rotura da corrente devido a sobrecarga mecânica		2	2	0,00	12,00	12,0	14514	C-E-F	A	7	1	2	14	BAIXO		
		Corrente do Deslocamento	Tração para o deslocamento da desbobinadeira	Rodas não permitem deslocamento correcto da desbobinadeira	Rolamentos danificados		1	1	0,00	14,00	14,0	29026	C-E-F		8	1	10	80	MEDIO	
					Eixo danificado		1	1	0,00	10,00	10,0	29030	C-E-F		6	1	10	60	BAIXO	
		Rodas da Desbobinadeira	Suportar a desbobinadeira e permitir o deslocamento	Rodas não permitem deslocamento correcto da desbobinadeira	Rolamentos danificados		1	1	0,00	14,00	14,0	29026	C-E-F		8	1	10	80	MEDIO	
					Eixo danificado		1	1	0,00	10,00	10,0	29030	C-E-F		6	1	10	60	BAIXO	
		Motor de Rotação	Transmitir movimento ao prato da desbobinadeira para enrolar ou desenrolar a bobina	Motor não movimenta o prato da desbobinadeira	Motor movimenta o prato da desbobinadeira no sentido de desenrolar demasiado rápido	Sonar sujo ou danificado	3	1	4	0,33	2,50	2,8	7259	C	F	3	2	5	30	BAIXO
					Motor iniciou o movimento do prato da desbobinadeira mas depois parou de desenrolar a bobina	Fotocélula do final de fita 2 desajustada	1	3	4	0,33	1,50	1,8	7260	C	A-F	2	2	3	12	BAIXO
						Fotocélula do final de fita 2 danificada		2	2		2,00	2,0	14519	C-E	A-F	2	1	6	12	BAIXO
					Motor não movimenta o prato da desbobinadeira	Sobrecarga mecânica na operação		3	3	0,00	2,00	2,0	9679	C	F	2	1	6	12	BAIXO
						Falta de fase no motor		1	1	0,00	4,00	4,0	29036	A-C		3	1	10	30	BAIXO
						Botoneira e potenciometro do comando móvel com mau contacto ou danificados	1	7	8	0,50	1,50	2,0	3630	C		2	4	10	80	MEDIO
						Travão do motor não abre		3	3	0,00	4,00	4,0	9679	C	B	3	1	5	15	BAIXO
						Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado		1	1	0,00	4,00	4,0	29036	A-C	A	3	1	5	15	BAIXO
						Não chega energia elétrica ao motor		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C		3	1	10	30	BAIXO
						Variador em falha		8	8	0,00	1,00	1,0	3630	C	F	1	4	4	16	BAIXO
						Variador danificado		1	1	0,00	12,00	12,0	29028	C-E	F	7	1	4	28	BAIXO
						Motor danificado		1	1	0,00	32,00	24,0	29016	A-C-E-F	F	9	1	10	90	ALTO
Rolamento do veio do mandril agarrado	1						1	72,00		72,0	28968	A-C-E-F		10	1	10	100	CRITICO		
Travão do veio do mandril não abre					1	1	0,00	3,00	3,0	29037	C		3	1	10	30	BAIXO			
Motor não para o movimento do prato no sentido de desenrolar a bobina	Sensor da guia da extensão da mesa inferior do dispositivo de introdução desajustado				1	1	2	0,50	1,00	1,5	14519	C		2	1	10	20	BAIXO		

SISTEMA	SUBSISTEMA	ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	Ocorrência			Tempo [h]			MTBF	Conseq.	Controlos	S	O	D	NPR	Matriz de Risco
						Real	Pot.	Total	Real médio	Pot	Total								
Processamento da Fita	Desbobinadeira	Caixa Redutora do Motor de Rotação	Converter velocidade e fornecer binário ao prato da desbobinadeira	Funciona com temperatura excessiva	Sobrecarga mecânica na operação	1	1	0,00	1,00	1,0	29039	C	G	1	1	6	6	BAIXO	
					Lubrificação incorrecta ou insuficiente	1	1	0,00	2,00	2,0	29038	C	C-G	2	1	2	4	BAIXO	
					Rolamentos com prisão	1	1	0,00	1,00	1,0	29039	C	G	1	1	6	6	BAIXO	
					Ventilação obstruída	1	1	0,00	1,00	1,0	29039	C	G	1	1	2	2	BAIXO	
				Funciona com ruído excessivo ou anormal	Rolamentos danificados	1	1	0,00	32,00	24,0	29016	C-E-F	B-G	9	1	9	81	ALTO	
					Nível de óleo baixo	4	4	0,00	1,00	1,0	7260	C	C-G	1	2	2	4	BAIXO	
					Ajustes mecânicos incorrectos	2	2	0,00	32,00	24,0	14508	C-E-F		9	1	10	90	ALTO	
					Lascas de material nas engrenagens	1	1	0,00	24,00	24,0	29016	C-F		9	1	10	90	ALTO	
				Funciona com excessiva vibração	Engrenagens gastas	1	1	0,00	32,00	24,0	29016	C-E-F		9	1	10	90	ALTO	
					Elementos de fixação soltos	3	3	0,00	2,00	2,0	9679	C	A-G	2	1	2	4	BAIXO	
				Veio de saída não gira	Caixa não recebe movimento do motor	3	3	0,00	4,00	4,0	9679	C	G	3	1	8	24	BAIXO	
					Engrenagens partidas	1	1	0,00	32,00	24,0	29016	C-E-F	G	9	1	8	72	ALTO	
	Unidade de Introdução e Extração	Atuadores Pneumáticos dos Cilindros	Elevar e descer os cilindros e exercer pressão para puxar a fita de aço	Atuadores não se movimentam	Circuito de ar comprimido sem pressão	3	3	0,00	1,00	1,0	9680	C	B-C	1	1	4	4	BAIXO	
					Válvula direccional bloqueada	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C		2	1	10	20	BAIXO	
					Não chega sinal eléctrico ao solenóide da válvula	4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C		2	2	10	40	BAIXO	
					Solenóide da válvula danificado	3	3	0,00	1,00	1,0	9680	C	A	1	1	6	6	BAIXO	
					Fuga de ar nas ligações e acessórios	4	4	0,00	1,00	1,0	7260	A-B-C		1	2	10	20	BAIXO	
					Válvula reguladora de fluxo demasiado fechada	3	3	0,00	1,00	1,0	9680	C		1	1	10	10	BAIXO	
		Motor dos Cilindros de Saída	Movimentar os cilindros de saída	Motor não movimentar os cilindros	Fotocelula de fim de fita V desajustada	1	3	4	0,50	1,00	1,5	7260	C	A-F	2	2	3	12	BAIXO
					Fotocelula de fim de fita V danificada	4	4		2,00	2,0	7260	C-E	A-F	2	2	6	24	BAIXO	
					Travão do motor não abre	4	4	0,00	4,00	4,0	7259	C	B	3	2	5	30	BAIXO	
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado	1	1	0,00	4,00	4,0	29036	C	A	3	1	5	15	BAIXO	
					Não chega energia eléctrica ao motor	2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C		3	1	10	30	BAIXO	
					Arrancador ou ponte rectificadora com defeito	3	3	0,00	3,00	3,0	9679	C		3	1	10	30	BAIXO	
					Motor danificado	2	2	0,00	16,00	16,0	14512	C-E-F	F	8	1	8	64	BAIXO	
					Sobrecarga mecânica na operação	4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C	F	2	2	4	16	BAIXO	
		Cilindros de Saída	Puxar a fita de aço para a tesoura de corte de sucata	Cilindros não puxam a fita de aço	Acoplamento PK danificado	1	1	0,00	12,00	12,0	29028	C-D-E-F		7	1	10	70	BAIXO	
					Corrente de transmissão partida	1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-D-E-F		4	1	10	40	BAIXO	
					Rodas dentadas da corrente transmissão partidas	1	1	0,00	12,00	12,0	29028	C-D-F		7	1	10	70	BAIXO	
					Não chega pressão do bloco hidráulico	2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	C-D	3	1	3	9	BAIXO	
					Fuga nas ligações e acessórios	2	2	0,00	4,00	4,0	14518	A-B-C		3	1	10	30	BAIXO	
					Pressão hidráulica insuficiente	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C	C	2	1	4	8	BAIXO	
		Atuador Hidráulico da Mesa Superior	Elevar e descer a mesa superior para facilitar a entrada da fita	Atuador não movimentar a mesa	Sentido do fluxo do óleo hidráulico incorrecto	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C		2	1	10	20	BAIXO	
					Atuador movimentar a mesa mas perde posição	Fuga interna do atuador	1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-E		4	1	10	40	BAIXO
						Fuga nas ligações e acessórios	2	2	0,00	4,00	4,0	14518	A-B-C		3	1	10	30	BAIXO
				Fuga nos vedantes da haste		1	1	0,00	6,00	6,0	29034	A-B-C-E	A	4	1	2	8	BAIXO	

SISTEMA	SUBSISTEMA	ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	Ocorrência			Tempo [h]			MTBF	Conseq.	Controlos	S	O	D	NPR	Matriz de Risco
						Real	Pot.	Total	Real médio	Pot	Total								
Processamento da Fita	Unidade de Introdução e Extração	Atuador Hidráulico da Mesa Inferior	Elevar e descer a mesa inferior para facilitar a entrada da fita	Atuador não eleva a mesa	Não chega pressão do bloco hidráulico	2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	C-D	3	1	3	9	BAIXO	
					Fuga nas ligações e acessórios	2	2	0,00	4,00	4,0	14518	A-B-C		3	1	10	30	BAIXO	
					Pressão hidráulica insuficiente	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C	C	2	1	4	8	BAIXO	
					Sentido do fluxo do óleo hidráulico incorrecto	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C		2	1	10	20	BAIXO	
				Atuador eleva a mesa mas perde a posição	Fuga interna do atuador	1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-E		4	1	10	40	BAIXO	
					Fuga nas ligações e acessórios	2	2	0,00	4,00	4,0	14518	A-B-C		3	1	10	30	BAIXO	
		Fuga nos vedantes da haste	1		1	0,00	6,00	6,0	29034	A-B-C-E	A	4	1	2	8	BAIXO			
		Atuador Hidráulico da Extensão da Mesa Inferior	Movimentar a extensão da mesa inferior	Atuador não movimenta a extensão da mesa inferior	Não chega pressão do bloco hidráulico	2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	C-D	3	1	3	9	BAIXO	
					Fuga nas ligações e acessórios	2	2	0,00	4,00	4,0	14518	A-B-C		3	1	10	30	BAIXO	
					Sentido do fluxo do óleo hidráulico incorrecto	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C		2	1	10	20	BAIXO	
					Pressão hidráulica insuficiente	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C	C-D	2	1	3	6	BAIXO	
			Atuador movimenta a mesa mas perde posição	Fuga interna do atuador	1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-E		4	1	10	40	BAIXO		
	Fuga nas ligações e acessórios			2	2	0,00	4,00	4,0	14518	A-B-C		3	1	10	30	BAIXO			
	Fuga nos vedantes da haste	1		1	0,00	6,00	6,0	29034	A-B-C-E	A	4	1	2	8	BAIXO				
	Bloco Hidráulico	Fornecer e supervisionar abastecimento de óleo aos atuadores hidráulicos	Não fornece óleo hidráulico	Válvula de segurança em descarga ao tanque	3	3	0,00	3,00	3,0	9679	C		3	1	10	30	BAIXO		
				Não recebe óleo hidráulico do agregado principal	2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C		3	1	10	30	BAIXO		
				Válvulas direccionais com prisão	4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C		2	2	10	40	BAIXO		
				Não chega sinal eléctrico ao solenóide da válvula	4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C		2	2	10	40	BAIXO		
				Solenóide com defeito	4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C		2	2	10	40	BAIXO		
				Ar no circuito	2	2	0,00	4,00	4,0	14518	C		3	1	10	30	BAIXO		
			Fornece óleo hidráulico com pressão incorrecta	Fuga interna no bloco	1	2	3	0,25	5,00	5,3	9678	C		4	1	10	40	BAIXO	
				Válvulas direccionais com prisão	4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C		2	2	10	40	BAIXO		
				Válvula de segurança mal calibrada	4	4	0,00	2,00	2,0	7260	A-C		2	2	10	40	BAIXO		
				Válvula de segurança com passagem	2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C		3	1	10	30	BAIXO		
	Tesoura de Corte de Sucata	Came Manual de Acionamento da Tesoura	Confirmar para a tesoura fazer o corte	Tesoura não tem confirmação para descer	Came com prisão	2	2	4	0,38	1,00	1,4	7260	C	A	2	2	2	8	BAIXO
					Came com parafusos partidos	10	6	16	0,48	1,50	2,0	1815	C	A	2	5	4	40	BAIXO
					Micos da came danificados	2	6	8	0,67	1,00	1,7	3630	C-E	A	2	4	2	16	BAIXO
	Guilhotina	Cortar a fita de aço	Guihotina não cortou a chapa ficando dobrada	Fuga no circuito hidráulico da guilhotina	1	1	2	1,00	4,00	5,0	14518	A-B-C		4	1	10	40	BAIXO	
				Lâmina romba	1	1	0,00	18,00	18,0	29022	C-E-F	A	9	1	8	72	ALTO		
	Máquina de Lavar	Atuadores Pneumáticos dos Rolos da Lavadora	Elevar e descer os rolos	Atuadores não movimentam os rolos	Circuito de ar comprimido sem pressão	3	3	0,00	1,00	1,0	9680	C-D	B-C	1	1	1	1	BAIXO	
					Válvula direccional bloqueada	3	3	0,00	2,00	2,0	9679	C-D		2	1	10	20	BAIXO	
					Não chega sinal eléctrico ao solenóide da válvula	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C-D		2	1	10	20	BAIXO	
					Solenóide da válvula danificado	4	4	0,00	1,00	1,0	7260	C-D		1	2	10	20	BAIXO	
					Fuga de ar nas ligações e acessórios	8	8	0,00	1,00	1,0	3630	A-B-C-D		1	4	10	40	BAIXO	
					Válvula de fluxo demasiado fechada	1	3	4	0,25	1,00	1,3	7260	C-D		2	2	10	40	BAIXO
				Atuadores perdem a posição	Atuador danificado	1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-D-E		4	1	10	40	BAIXO	
Válvula direccional não mantém comutação					2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C-D		2	1	10	20	BAIXO		
Válvula com fuga					2	2	0,00	2,00	2,0	14519	A-B-C-D-E		2	1	10	20	BAIXO		
Fuga de ar nas ligações e acessórios					8	8	0,00	2,00	2,0	3630	A-B-C		2	4	10	80	MEDIO		

SISTEMA	SUBSISTEMA	ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	Ocorrência			Tempo [h]			MTBF	Conseq.	Controlos	S	O	D	NPR	Matriz de Risco
						Real	Pot.	Total	Real médio	Pot	Total								
Processamento da Fita	Máquina de Lavar	Motores dos Rolos Escovadores	Movimentar os rolos escovadores	Motores não fazem girar os rolos	Travão do motor não abre	4	4	0,00	4,00	4,0	7259	C	B	3	2	7	42	BAIXO	
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado	1	1	0,00	4,00	4,0	29036	A-C	A	3	1	5	15	BAIXO	
					Não chega energia elétrica ao motor	2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C		3	1	10	30	BAIXO	
					Arrancador ou ponte rectificadora com defeito	4	4	0,00	3,00	3,0	7259	C		3	2	10	60	BAIXO	
					Motor danificado	1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-E-F	F	4	1	8	32	BAIXO	
					Sobrecarga mecânica na operação	8	8	0,00	2,00	2,0	3630	C	F	2	4	4	32	BAIXO	
					Falta de fase no motor	2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C		3	1	10	30	BAIXO	
	Endireitadora	Bloco Endireitador	Nivelar e tirar tensões à fita de aço	Bloco não nivela e fita de aço fica enrolada	Eixos de pressão da endireitadora mal ajustados	5	32	37	0,62	2,00	2,6	785	C-D	A	3	6	8	144	MEDIO
					O início da fita de aço está muito encurvado para cima	1	32	33	0,50	1,00	1,5	880	C-D	A	2	6	2	24	BAIXO
					Bloco não se movimenta	Braços cardan danificados	1	1	0,00	20,00	20,0	29020	A-C		9	1	10	90	ALTO
						Carretos da caixa de distribuição danificados	2	2	0,00	12,00	12,0	14514	A-C-E		7	1	10	70	BAIXO
		Motor da Endireitadora	Movimentar o bloco endireitador da endireitadora, dos cilindros alimentadores e dos cilindros de entrada da unidade de introdução e extração	Motor não movimenta o bloco endireitador nem os cilindros alimentadores	Fotocélula e reflector de refluxo de fita desajustados	3	13	16	0,33	1,00	1,3	1815	C	A-F	2	5	3	30	BAIXO
					Fotocélula e reflector de refluxo de fita danificados	8	8		2,00	2,0	3630	C-E	A-F	2	4	6	48	BAIXO	
					Sensores das guias de fita desajustados	4	4	8	0,46	1,00	1,5	3630	C	A-F	2	4	3	24	BAIXO
					Sensores das guias de fita danificados	4	4	2,00	2,00	2,0	7260	C-E	A-F	2	2	6	24	BAIXO	
					Fotocélulas do final de fita desajustadas	1	7	8	0,50	1,00	1,5	3630	C	A-F	2	4	3	24	BAIXO
					Fotocélulas do final de fita danificadas	4	4		2,00	2,0	7260	C-E	A-F	2	2	6	24	BAIXO	
					Travão do motor não abre	4	4	0,00	4,00	4,0	7259	C	B	3	2	7	42	BAIXO	
					Motor danificado	1	1	0,00	10,00	10,0	29030	C-E-F	F	6	1	5	30	BAIXO	
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado	1	1	0,00	12,00	12,0	29028	A-C	A	7	1	5	35	BAIXO	
					Não chega energia elétrica ao motor	2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C		3	1	10	30	BAIXO	
					Falta de fase no motor	2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C		3	1	10	30	BAIXO	
					Falta de condição do laço de reserva	8	8	0,00	2,00	2,0	3630	C	F	2	4	7	56	BAIXO	
		Sobrecarga mecânica na operação	8	8	0,00	2,00	2,0	3630	C	F	2	4	4	32	BAIXO				
		Variador de Frequência do Motor da Endireitadora	Controlar o desempenho do motor	Variador não dá condição para o motor funcionar	Carta de comunicação danificada	1	3	4	2,50	1,00	3,5	7259	C-E	F	3	2	6	36	BAIXO
					Variador em falha por falta de negativo ou de terra	2	2	0,00	4,00	4,0	14518	C	F	3	1	6	18	BAIXO	
					Variador em falha por excesso de temperatura	2	2	0,00	4,00	4,0	14518	C	F	3	1	4	12	BAIXO	
	Variador em falha por sensor de temperatura danificado				1	1	0,00	4,00	4,0	29036	C	F	3	1	6	18	BAIXO		
	Variador em falha por falta de sinal do encoder				2	2	0,00	6,00	6,0	14517	C-E	F	4	1	6	24	BAIXO		
	Variador danificado				2	2	0,00	12,00	12,0	14514	C-E	F	7	1	6	42	BAIXO		
	Caixa Redutora do Motor da Endireitadora	Converter velocidade e fornecer binário	Funciona com temperatura excessiva	Sobrecarga mecânica na operação	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C		2	1	10	20	BAIXO		
				Lubrificação incorrecta ou insuficiente	1	1	0,00	2,00	2,0	29038	C	C	2	1	4	8	BAIXO		
				Rolamentos com prisão	1	1	0,00	24,00	24,0	29016	C		9	1	10	90	ALTO		
				Ventilação obstruída	1	1	0,00	1,00	1,0	29039	C	G	1	1	8	8	BAIXO		
		Funciona com ruído excessivo ou anormal	Rolamentos danificados	1	1	0,00	24,00	24,0	29016	C-E-F		9	1	10	90	ALTO			
			Nível de óleo baixo	1	1	0,00	1,00	1,0	29039	C	C-G	1	1	2	2	BAIXO			
			Ajustes mecânicos incorrectos	1	1	0,00	24,00	24,0	29016	C		9	1	10	90	ALTO			
			Lascas de material nas engrenagens	1	1	0,00	4,00	4,0	29036	C		3	1	10	30	BAIXO			

SISTEMA	SUBSISTEMA	ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	Ocorrência			Tempo [h]			MTBF	Conseq.	Controlos	S	O	D	NPR	Matriz de Risco
						Real	Pot.	Total	Real médio	Pot	Total								
Processamento da Fita	Endreitadora	Caixa Redutora do Motor da Endreitadora	Converter velocidade e fornecer binário	Funciona com excessiva vibração	Engrenagens gastas	1	1	0,00	60,00	24,0	29016	C		9	1	10	90	ALTO	
					Elementos de fixação da caixa soltos	1	1	0,00	2,00	2,0	29038	C	G	2	1	10	20	BAIXO	
					Chumaceiras gastas	1	1	0,00	60,00	24,0	29016	C		9	1	10	90	ALTO	
				Veio de saída não gira	Caixa não recebe movimento do motor	1	1	0,00	1,00	1,0	29039	C		1	1	10	10	BAIXO	
					Engrenagens partidas	1	1	0,00	60,00	60,0	28980	C-E-F		10	1	10	100	CRITICO	
		Atuadores Hidráulicos do Bloco Endreitador Superior	Elevar e descer o bloco endreitador superior para entrada da fita de aço e ações dentro da endreitadora	Atuador não se movimenta	Não chega pressão do bloco hidráulico	2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	C-D	3	1	5	15	BAIXO	
					Fuga nas ligações e acessórios	2	2	0,00	4,00	4,0	14518	A-B-C		3	1	10	30	BAIXO	
					Sentido do fluxo do óleo hidráulico incorrecto	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C		2	1	10	20	BAIXO	
					Pressão hidráulica insuficiente	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C	C-D-F	2	1	3	6	BAIXO	
				Atuador movimenta-se mas perde posição	Fuga interna do atuador	1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-E-F		4	1	10	40	BAIXO	
					Fuga pelos vedantes da haste	1	1	0,00	6,00	6,0	29034	A-B-C-E-F	A	4	1	2	8	BAIXO	
		Fuga nas ligações e acessórios	2		2	0,00	4,00	4,0	14518	A-B-C		3	1	10	30	BAIXO			
		Motores da Regulação dos Eixos	Regular os eixos da endreitadora	Motores não movimentam os eixos	Travão do motor não abre	4	4	0,00	4,00	4,0	7259	C	B	3	2	7	42	BAIXO	
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado	1	1	0,00	4,00	4,0	29036	A-C	A	3	1	5	15	BAIXO	
					Não chega energia elétrica ao motor	2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C		3	1	8	24	BAIXO	
					Arancador ou ponte rectificadora com defeito	4	4	0,00	3,00	3,0	7259	C		3	2	8	48	BAIXO	
					Motor danificado	1	1	0,00	8,00	8,0	29032	C-E-F	F	5	1	8	40	BAIXO	
					Sobrecarga mecânica na operação	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C	F	2	1	4	8	BAIXO	
					Falta de fase no motor	2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	5	15	BAIXO	
		Cilindros Alimentadores	Puxar a fita de aço para entrar na endreitadora	Cilindros não puxam correctamente a fita de aço	Braços cardan da transmissão com folga	1	1	0,00	12,00	12,0	29028	C-D-E-F		7	1	10	70	BAIXO	
					Fuga nos atuadores pneumáticos	1	1	0,00	6,00	6,0	29034	A-B-C-D-E		4	1	10	40	BAIXO	
					Cilindros não se encontram paralelos ao plano da fita de aço	1	1	0,00	12,00	12,0	29028	C-D		7	1	10	70	BAIXO	
					Rolamentos com folga nas corrediças	1	1	0,00	64,00	64,0	28976	C-D-E-F		10	1	10	100	CRITICO	
				Cilindros não puxam a fita de aço	Braços cardan da transmissão partidos	1	1	0,00	12,00	12,0	29028	C-D-E-F		7	1	10	70	BAIXO	
		Atuadores Pneumáticos dos Cilindros Alimentadores	Elevar e descer os cilindros e exercer pressão para puxar a fita de aço	Atuadores não se movimentam	Circuito de ar comprimido sem pressão	4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C	B-C	2	2	4	16	BAIXO	
					Válvula direccional bloqueada	4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C-D	C	2	2	4	16	BAIXO	
					Não chega sinal eléctrico ao solenóide da válvula	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C		2	1	7	14	BAIXO	
					Solenóide da válvula danificado	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C	C	2	1	6	12	BAIXO	
					Fuga de ar nas ligações e acessórios	8	8	0,00	1,00	1,0	3630	A-B-C		1	4	10	40	BAIXO	
					Válvula de fluxo demasiado fechada	2	2	0,00	1,00	1,0	14520	C		1	1	7	7	BAIXO	
				Atuadores pneumáticos perdem posição	Atuador danificado	1	1	0,00	8,00	8,0	29032	C-E-F		5	1	9	45	BAIXO	
					Válvula direccional não mantém comutação	4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C-D	C	2	2	7	28	BAIXO	
					Válvula com fuga	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	A-B-C-D-E		2	1	10	20	BAIXO	
					Fuga de ar nas ligações e acessórios	8	8	0,00	2,00	2,0	3630	A-B-C-D-E		2	4	10	80	MEDIO	
		Cadeiras de Apoio dos Cilindros Alimentadores	Suportar as cargas do cilindro alimentador	Rolos da cadeira de apoio agarrados	Rolamento misto danificado	2	6	8	6,41	6,00	12,4	3628	C-E	A	8	4	2	64	BAIXO

SISTEMA	SUBSISTEMA	ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	Ocorrência			Tempo [h]			MTBF	Conseq.	Controlos	S	O	D	NPR	Matriz de Risco	
						Real	Pot.	Total	Real médio	Pot.	Total									
Processamento da Fita	Endireitadora	Guias da Fita	Centrar a fita	Guias não permitem a passagem da fita	Guias não estão centradas em relação ao eixo central	16	16	0,00	1,00	1,0	1815	C	A	1	5	2	10	BAIXO		
				Guias não se deslocam	Prisão no fuso	1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-E			4	1	8	32	BAIXO	
					Noz do fuso com rosca arrasada	1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-E			4	1	8	32	BAIXO	
					Motor sem alimentação eléctrica	1	1	0,00	3,00	3,0	29037	C-E			3	1	6	18	BAIXO	
					Ligação do fuso às guias danificada	2	2	0,00	6,00	6,0	14517	C			4	1	8	32	BAIXO	
					Sensor de paragem desajustado	8	8	0,00	1,00	1,0	3630	C	A-F		1	4	3	12	BAIXO	
					Sensor de paragem danificado	4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C-E	F		2	2	6	24	BAIXO	
					Came de actuação do sensor de paragem danificada	4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C	A		2	2	6	24	BAIXO	
					Cabo do sensor de paragem danificado	8	8	0,00	2,00	2,0	3630	C	F		2	4	6	48	BAIXO	
				Mesas de Passagem do Fosso	Permitir a passagem da fita sem fazer laço de compensação	Mesa interfere com a passagem da fita de aço	Réguas de bronze das mesas danificadas	2	2	0,46	1,00	1,5	7260	C-D	A	2	2	2	8	BAIXO
	Mesas não dão condição para passagem da fita de aço	Fotocélulas e reflectores do fosso sujos	8			8	0,00	1,00	1,0	3630	C	F		1	4	3	12	BAIXO		
		Fotocélulas e reflectores do fosso danificados	1		1	2	0,25	1,75	2,0	14519	C-E	F		2	1	6	12	BAIXO		
		Sensor da tranca de segurança das mesas desajustado	1		1	2	0,50	0,50	1,0	14520	C	F		1	1	6	6	BAIXO		
		Sensor da tranca de segurança das mesas danificado	2		2	0,00	2,00	2,0	14519	C-E	F		2	1	6	12	BAIXO			
		Atuadores Hidráulicos das Mesas de Passagem do Fosso	Elevar e descer as mesas		Atuadores não se movimentam	Não chega pressão do bloco hidráulico	2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	C-D		3	1	4	12	BAIXO
						Fuga nas ligações e acessórios	2	2	0,00	4,00	4,0	14518	A-B-C			3	1	10	30	BAIXO
						Sentido do fluxo do óleo hidráulico incorrecto	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C			2	1	8	16	BAIXO
						Pressão hidráulica insuficiente	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C	C-D		2	1	3	6	BAIXO
	Atuadores sobem mas perdem posição		Fuga interna do atuador		1	1	0,00	16,00	16,0	29024	C-F			8	1	10	80	MEDIO		
			Fuga nas ligações e acessórios	2	2	0,00	4,00	4,0	14518	A-B-C			3	1	10	30	BAIXO			
	Laço de Reserva	Guias da Fita do Laço de Reserva	Centrar a fita na saída do fosso de compensação	Guias não se deslocam para centrar a fita de aço	Guias não permitem a passagem da fita	Guias não estão centradas em relação ao eixo central	6	10	16	0,00	1,00	1,0	1815	C	A	1	5	2	10	BAIXO
					Came de actuação do sensor de paragem danificada	1	3	4	0,00	2,00	2,0	7260	C	A		2	2	6	24	BAIXO
					Prisão no fuso	2	2	0,00	6,00	6,0	14517	C-E			4	1	8	32	BAIXO	
					Noz do fuso com rosca arrasada	2	2	0,00	6,00	6,0	14517	C-E			4	1	8	32	BAIXO	
					Motor sem alimentação eléctrica	2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F		3	1	8	24	BAIXO	
					Ligação do fuso às guias danificada	2	2	0,00	6,00	6,0	14517	C			4	1	8	32	BAIXO	
					Sensor de paragem desajustado	8	8	0,00	1,00	1,0	3630	C	A-F		1	4	3	12	BAIXO	
					Sensor de paragem danificado	8	8	0,00	2,00	2,0	3630	C-E	F		2	4	6	48	BAIXO	
					Cabo do sensor danificado	4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C	F		2	2	6	24	BAIXO	
					Cilindros de Avanço	Motor de Movimento dos Cilindros de Avanço	Movimentar os cilindros de avanço	Motor não funciona ou para de funcionar durante a operação	Encoder interno do motor danificado	1	1	2	5,42	7,00	12,4	14514	C-E	F		8
	Cabo do encoder interno do motor danificado	1	1	2					5,97	7,00	13,0	14514	C-E	F		8	1	6	48	BAIXO
	Cabo do encoder interno do motor com maus contactos	2	2	0,00					6,00	6,0	14517	C	F		4	1	6	24	BAIXO	
	Detectada costura de solda	8	16	24					0,29	1,00	1,3	1210	C-D	F		2	6	2	24	BAIXO
	Fotocélula e reflector de refluxo de fita desajustada	1	7	8					0,17	1,00	1,2	3630	C	F		2	4	3	24	BAIXO
	Fotocélula e reflector de refluxo de fita danificada	4	4	0,00					2,00	2,0	7260	C-E	F		2	2	6	24	BAIXO	
	Variador do motor em falha	2	14	16					0,79	1,00	1,8	1815	C	F		2	5	6	60	BAIXO
	Travão do motor não abre	2	2	0,00					4,00	4,0	14518	C	B		3	1	7	21	BAIXO	
	Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado	1	1	0,00					12,00	12,0	29028	A-C-E	F		7	1	9	63	BAIXO	
	Não chega energia eléctrica ao motor	2	2	0,00					3,00	3,0	14519	C			3	1	8	24	BAIXO	
	Motor danificado	1	1	2	5,17	7,00	12,2	14514	C-E-F	F		8	1	8	64	BAIXO				

SISTEMA	SUBSISTEMA	ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	Ocorrência			Tempo [h]			MTBF	Conseq.	Controlos	S	O	D	NPR	Matriz de Risco
						Real	Pot.	Total	Real médio	Pot	Total								
Processamento da Fita	Cilindros de Avanço	Motor de Movimento dos Cilindros de Avanço	Movimentar os cilindros de avanço	Motor não funciona ou para de funcionar durante a operação	Placa de comunicação interna do rack do rectificadores de corrente AFE danificada.	1		1	12,00	2,00	14,0	29026	C	F	8	1	9	72	BAIXO
				Motor não faz os avanços correctos	Dados da ferramenta corrompidos		8	8	0,00	3,00	3,0	3630	C-D		3	4	10	120	MEDIO
					Variador do motor desparametrizado		8	8	0,00	4,00	4,0	3630	C-D	F	3	4	6	72	BAIXO
					Programa bloqueado		16	16	0,00	4,00	4,0	1815	C-D		3	5	10	150	MEDIO
					Variador danificado		2	2	0,00	12,00	12,0	14514	C-D-E	F	7	1	6	42	BAIXO
				Motor com temperatura excessiva	Sobrecarga mecânica na operação	4	28	32	0,46	1,50	2,0	907	C	F	2	6	2	24	BAIXO
		Ventilação de arrefecimento do motor não funciona			2	2	0,00	4,00	4,0	14518	C-E	F	3	1	2	6	BAIXO		
		Filtro da ventilação de arrefecimento do motor colmatado			4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C-E	F	2	2	4	16	BAIXO		
		Atuadores Pneumáticos dos Cilindros de Avanço	Elevar e descer os cilindros e exercer pressão para puxar a fita de aço	Atuadores não se movimentam	Circuito de ar comprimido sem pressão		4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C	C	2	2	4	16	BAIXO
					Válvula direccional bloqueada		4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C		2	2	10	40	BAIXO
					Não chega sinal eléctrico ao solenóide da válvula		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C		2	1	10	20	BAIXO
					Solenóide da válvula danificado		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C-E		2	1	10	20	BAIXO
					Fuga de ar nas ligações e acessórios		2	2	0,00	1,00	1,0	14520	A-B-C		1	1	10	10	BAIXO
					Válvula reguladora de fluxo demasiado fechada		2	2	0,00	1,00	1,0	14520	C		1	1	10	10	BAIXO
				Atuador danificado		1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-E-F	A-B	4	1	4	16	BAIXO	
				Atuadores perdem a posição	Válvula direccional não mantém comutação	1	3	4	0,53	1,50	2,0	7259	C		3	2	7	42	BAIXO
					Válvula com fuga	2	2	4	0,21	1,00	1,2	7260	A-B-C		2	2	10	40	BAIXO
					Fuga de ar nas ligações e acessórios		4	4	0,00	1,00	1,0	7260	A-B-C	B	1	2	4	8	BAIXO
	Cilindros não puxam correctamente a fita de aço	Acoplamento PK danificado	1		1	2	6,78	5,22	12,0	14514	C-D-E-F		8	1	10	80	MEDIO		
		Fuga nos atuadores pneumáticos		1	1	0,00	6,00	6,0	29034	A-B-C-D-E-F		4	1	10	40	BAIXO			
		Cilindros não se encontram paralelos ao plano da fita de aço		1	1	0,00	12,00	12,0	29028	C-D-F		7	1	10	70	BAIXO			
		Rolamentos com folga nas corrediças		3	3	0,00	64,00	64,0	9659	C-D-E-F		10	1	10	100	CRITICO			
	Cadeiras de Apoio dos Cilindros de Avanço	Suportar a carga dos cilindros	Rolos da cadeira de apoio agarrados	Rolamento misto danificado		1	7	8	2,17	13,80	16,0	3628	C-D-E	A	8	4	3	96	MEDIO
				Cilindro de Final de Fita	Motorreductor do Cilindro de Final de Fita	Movimentar o cilindro de final de fita	Motorreductor não movimenta o cilindro de final de fita	Encoder danificado		1	1	0,00	4,00	4,0	29036	C-D-E	F	3	1
	Fotocélula e reflector de refluxo de fita desajustados	1	7					8	0,67	0,50	1,2	3630	C-D	A-F	2	4	3	24	BAIXO
	Fotocélula e reflector de refluxo de fita danificada		4					4	0,00	2,00	2,0	7260	C-D	F	2	2	6	24	BAIXO
	Travão do Motorreductor não abre		4					4	0,00	4,00	4,0	7259	C	B	3	2	7	42	BAIXO
	Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado		1					1	0,00	4,00	4,0	29036	A-C	A	3	1	5	15	BAIXO
	Não chega energia elétrica ao motor		2					2	0,00	3,00	3,0	14519	C		3	1	8	24	BAIXO
	Motorreductor danificado		1					1	0,00	6,00	6,0	29034	C-E	F	4	1	8	32	BAIXO
	Falta de condição do módulo de controlo dos magnetos da ponte magnética	3	13					16	0,78	1,50	2,3	1815	C	F	3	5	6	90	MEDIO
	Variador do Motorreductor em falha		16					16	0,00	2,00	2,0	1815	C	F	2	5	4	40	BAIXO
Variador danificado		2	2					0,00	6,00	6,0	14517	C	F	4	1	4	16	BAIXO	
Sobrecarga mecânica na operação		8	8					0,00	2,00	2,0	3630	C	F	2	4	4	32	BAIXO	
Falta de fase no Motorreductor		2	2					0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	5	15	BAIXO	

SISTEMA	SUBSISTEMA	ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	Ocorrência			Tempo [h]			MTBF	Conseq.	Controlos	S	O	D	NPR	Matriz de Risco	
						Real	Pot.	Total	Real médio	Pot.	Total									
Processamento da Fita	Cilindro de Final de Fita	Motorreductor do Cilindro de Final de Fita	Movimentar o cilindro de final de fita	Motorreductor não faz os avanços correctos	Dados da ferramenta corrompidos		8	8	0,00	3,00	3,0	3630	C			3	4	10	120	MEDIO
					Parâmetros do variador incorrectos		8	8	0,00	4,00	4,0	3630	C	F	3	4	6	72	BAIXO	
					Programa bloqueado		16	16	0,00	4,00	4,0	1815	C		3	5	10	150	MEDIO	
					Variador danificado		1	1	0,00	8,00	8,0	29032	C-E	F	5	1	6	30	BAIXO	
					Encoder danificado		4	4	0,00	4,00	4,0	7259	C-E	F	3	2	8	48	BAIXO	
		Atuador Pneumático do Cilindro de Final de Fita	Elevar e descer o cilindro	Atuador não se movimenta	Circuito de ar comprimido sem pressão		4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C	B-C	2	2	2	8	BAIXO	
					Válvula direccional bloqueada		4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C		2	2	7	28	BAIXO	
					Não chega sinal eléctrico ao solenóide da válvula		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C		2	1	7	14	BAIXO	
					Solenóide da válvula danificado		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C		2	1	7	14	BAIXO	
					Fuga de ar nas ligações e acessórios		8	8	0,00	1,00	1,0	3630	A-B-C		1	4	10	40	BAIXO	
					Válvula reguladora de fluxo demasiado fechada		2	2	0,00	1,00	1,0	14520	C		1	1	10	10	BAIXO	
					Atuador danificado		1	1	0,00	3,00	3,0	29037	C-E	A-G	3	1	9	27	BAIXO	
				Atuador perde posição	Válvula direccional não mantém comutação		1	3	4	0,58	1,50	2,1	7259	C		3	2	10	60	BAIXO
					Válvula com fuga de ar		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	A-B-C-E	B	2	1	2	4	BAIXO	
					Fuga de ar nas ligações e acessórios		8	8	0,00	1,00	1,0	3630	A-B-C	B	1	4	4	16	BAIXO	
	Atuador sem condição de aberto ou fechado	Fim de curso desajustado		1	4	5	0,25	1,00	1,3	5808	C	A-F	2	2	3	12	BAIXO			
		Fim de curso danificado		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C-E	F	2	1	5	10	BAIXO				
	Guias de Centragem do Cilindro de Final de Fita	Guiar a fita	Guias não permitem a passagem da fita	Guias não estão centradas em relação ao eixo central		16	16	0,00	1,00	1,0	1815	C	A	1	5	2	10	BAIXO		
				Came de actuação do sensor de paragem danificada		4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C		2	2	6	24	BAIXO		
			Guias não se deslocam	Prisão no fuso		1	2	3	0,62	6,00	6,6	9678	C-E-F		5	1	8	40	BAIXO	
				Noz do fuso com rosca arrasada		2	2	0,00	6,00	6,0	14517	C-E-F		4	1	8	32	BAIXO		
				Motor sem alimentação eléctrica		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	8	24	BAIXO		
				Ligação do fuso às guias danificada		2	2	0,00	6,00	6,0	14517	C	F	4	1	8	32	BAIXO		
				Sensor de paragem desajustado		8	8	0,00	1,00	1,0	3630	C	A-F	1	4	3	12	BAIXO		
				Sensor de paragem danificado		4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C-E	F	2	2	6	24	BAIXO		
				Cabo do sensor de paragem danificado		4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C	F	2	1	6	24	BAIXO		
				Motor não funciona	Travão do motor não abre		4	4	0,00	4,00	4,0	7259	C-E	B	3	2	7	42	BAIXO	
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado		1	1	0,00	6,00	6,0	29034	A-C-E	A-F	4	1	5	20	BAIXO	
				Agregado Hidráulico	Motobomba de Circulação e Comando	Circular o óleo pelo permutador e alimentar as pilotagens no circuito hidráulico	Motor não funciona	Não chega energia eléctrica ao motor		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	6
	Arrancador ou ponte rectificadora com defeito		3					3	0,00	3,00	3,0	9679	C	F	3	1	6	18	BAIXO	
	Motor danificado		1					1	2	3,67	2,33	6,0	14517	C-E-F	F	4	1	6	24	BAIXO
	Nível mínimo de óleo no reservatório		16					16	0,00	1,00	1,0	1815	C	A-C-F	1	5	1	5	BAIXO	
	Sobrecarga mecânica na operação		8					8	0,00	2,00	2,0	3630	C	F	2	4	4	32	BAIXO	
	Bomba não debita óleo com pressão e caudal exigido	Acoplamento motor-bomba danificado						4	4	0,00	6,00	6,0	7259	C-E-F		4	2	10	80	MEDIO
		Bomba gira no sentido inverso						1	1	0,00	2,00	2,0	29038	C	C-D-F	2	1	8	16	BAIXO
		Bomba presa				1	1	0,00	8,00	8,0	29032	C-E-F	C-D-F	5	1	8	40	BAIXO		
		Corpo da bomba fissurado				1	1	0,00	8,00	8,0	29032	C-E-F	C-D-F	5	1	8	40	BAIXO		
		Passagem interna nas engrenagens da bomba				1	1	0,00	8,00	8,0	29032	C-E-F	C-D-F	5	1	8	40	BAIXO		
		Tubagem de compressão fissurada				1	1	0,00	4,00	4,0	29036	C-F	C-D-F	3	1	8	24	BAIXO		
	Bomba não debita óleo com pressão e caudal exigido	Válvula de segurança mal regulada				2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C	C-D-F	2	1	8	16	BAIXO		
		Válvula de segurança com passagem a tanque				2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C-E	C-D-F	3	1	8	24	BAIXO		

SISTEMA	SUBSISTEMA	ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	Ocorrência			Tempo [h]			MTBF	Conseq.	Controles	S	O	D	NPR	Matriz de Risco	
						Real	Pot.	Total	Real médio	Pot	Total									
Processamento da Fita	Agregado Hidráulico	Motobomba Principal de Pressão	Fornecer óleo hidráulico com a pressão exigida pelo circuito	Motor não funciona	Travão do motor não abre		4	4	0,00	4,00	4,0	7259	C-E	B-F	3	2	7	42	BAIXO	
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado		1	1	0,00	6,00	6,0	29034	A-C-E	A,F	4	1	5	20	BAIXO	
					Não chega energia elétrica ao motor		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	6	18	BAIXO	
					Arrancador ou ponte retificadora com defeito		3	3	0,00	3,00	3,0	9679	C	F	3	1	6	18	BAIXO	
					Motor danificado		1	0	1	4,00	2,00	6,0	29034	C-E-F	F	4	1	6	24	BAIXO
					Nível mínimo de óleo no reservatório		8	8	16	0,46	0,54	1,0	1815	C	A-C-F	1	5	1	5	BAIXO
					Sobrecarga mecânica na operação		3	5	8	0,17	1,83	2,0	3630	C	F	2	4	4	32	BAIXO
		Bomba não debita óleo com a pressão exigida	Acoplamento motor-bomba danificado		4	4	0,00	6,00	6,0	7259	C-E-F		4	2	10	80	MEDIO			
			Bomba gira no sentido inverso		1	1	0,00	2,00	2,0	29038	C	C-D-F	2	1	8	16	BAIXO			
			Bomba presa		1	1	0,00	8,00	8,0	29032	C-E-F	C-D-F	5	1	8	40	BAIXO			
			Corpo da bomba fissurado		1	1	0,00	8,00	8,0	29032	C-E-F	C-D-F	5	1	8	40	BAIXO			
			Passagem interna nas engrenagens da bomba		1	1	0,00	8,00	8,0	29032	C-E-F	C-D-F	5	1	8	40	BAIXO			
			Tubagem de compressão fissurada		1	1	0,00	4,00	4,0	29036	C-F	C-D-F	3	1	8	24	BAIXO			
			Válvula de segurança mal regulada		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C	C-D-F	2	1	8	16	BAIXO			
	Válvula de segurança com passagem a tanque		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C-E	C-D-F	3	1	8	24	BAIXO					
	Motobomba Principal de Caudal	Fornecer óleo hidráulico com o caudal exigido pelo circuito	Motor não funciona	Travão do motor não abre		4	4	0,00	4,00	4,0	7259	C-E	B-F	3	2	7	42	BAIXO		
				Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado		1	1	0,00	4,00	6,0	29034	A-C-E	A-F	4	1	5	20	BAIXO		
				Não chega energia elétrica ao motor		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	6	18	BAIXO		
				Arrancador ou ponte retificadora com defeito		3	3	0,00	3,00	3,0	9679	C	F	3	1	6	18	BAIXO		
				Motor danificado		1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-E-F	F	4	1	6	24	BAIXO		
				Nível mínimo de óleo no reservatório		16	16	0,00	1,00	1,0	1815	C	A-C-F	1	5	1	5	BAIXO		
				Sobrecarga mecânica na operação		8	8	0,00	2,00	2,0	3630	C	F	2	4	4	32	BAIXO		
		Bomba não debita óleo com o caudal exigido	Acoplamento motor-bomba danificado		4	4	0,00	6,00	6,0	7259	C-E-F		4	2	10	80	MEDIO			
			Bomba gira no sentido inverso		1	1	0,00	2,00	2,0	29038	C	C-D-F	2	1	8	16	BAIXO			
			Bomba presa		1	1	0,00	8,00	8,0	29032	C-E-F	C-D-F	5	1	8	40	BAIXO			
			Corpo da bomba fissurado		1	1	0,00	8,00	8,0	29032	C-E-F	C-D-F	5	1	8	40	BAIXO			
			Passagem interna nas engrenagens da bomba		1	1	0,00	8,00	8,0	29032	C-E-F	C-D-F	5	1	8	40	BAIXO			
			Tubagem de compressão fissurada		1	1	0,00	4,00	4,0	29036	C-F	C-D-F	3	1	8	24	BAIXO			
			Válvula de segurança mal regulada		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C	C-D-F	2	1	8	16	BAIXO			
	Válvula de segurança com passagem a tanque		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C-E	C-D-F	3	1	8	24	BAIXO					
	Permutador Óleo	Arrefecer o óleo hidráulico	Permutador não baixa temperatura do óleo	Não circula óleo dentro das tubagens do permutador		1	1	0,00	4,00	4,0	29036	C		3	1	10	30	BAIXO		
				Motor do ventilador não funciona		1	1	0,00	4,00	4,0	29036	C-E-F	F	3	1	5	15	BAIXO		
				Turbina do ventilador desacoplada do motor		1	1	0,00	3,00	3,0	29037	C-E-F	F	3	1	5	15	BAIXO		
				Turbina danificada ou partida		1	1	0,00	3,00	3,0	29037	C-E-F	B-F	3	1	5	15	BAIXO		
				Permutador com sujidade		1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-F	A	4	1	3	12	BAIXO		
				Tubos do permutador obstruídos		1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-E-F		4	1	10	40	BAIXO		
Nível de óleo demasiado baixo					16	16	0,00	1,00	1,0	1815	C	A-C-F	1	5	1	5	BAIXO			

SISTEMA	SUBSISTEMA	ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	Ocorrência			Tempo [h]			MTBF	Conseq.	Controlos	S	O	D	NPR	Matriz de Risco	
						Real	Pot.	Total	Real médio	Pot	Total									
Processamento da Fita	Agregado Hidráulico	Filtro	Manter circuito isento de impurezas	Filtro colmatado	Impurezas no fluido hidráulico	1	7	8	0,28	1,22	1,5	3630	C-E	F	2	4	1	8	BAIXO	
					Ficha do sensor de filtro colmatado danificada		1	1	0,00	2,00	2,0	29038	C-E	F	2	1	1	2	BAIXO	
	Acumulador	Manter circuito estável	Circuito com variações bruscas de pressão	Bexiga do acumulador com passagem		2	2	0,00	4,00	4,0	14518	C-E-F		3	1	10	30	BAIXO		
	Lubrificação por Massa Lubrificante	Motobomba da Central de Lubrificação de Massa	Fornecer massa lubrificante aos distribuidores	Motor não funciona	Nível mínimo de massa no reservatório		3	8	11	0,15	0,85	1,0	2640	C	F	1	5	2	10	BAIXO
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado		2	2	0,00	4,00	4,0	14518	A-C-E	A-F	3	1	5	15	BAIXO	
					Não chega energia elétrica ao motor		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	6	18	BAIXO	
					Motor danificado		1	1	0,00	4,00	4,0	29036	C-E	F	3	1	5	15	BAIXO	
					Bomba não debita massa lubrificante	Acoplamento motor-bomba danificado		1	1	0,00	2,00	2,0	29038	C-E	F	2	1	5	10	BAIXO
					Massa lubrificante seca		16	16	0,00	4,00	4,0	1815	C	F	3	5	5	75	MEDIO	
					Pás da bomba partidas		1	1	0,00	4,00	4,0	29036	C-E	F	3	1	5	15	BAIXO	
					Válvulas de saída da massa bloqueadas		1	1	0,00	4,00	4,0	29036	C-E	F	3	1	5	15	BAIXO	
		Bolsas de ar dentro do reservatório da massa		4	4	0,00	1,00	1,0	7260	C			1	2	10	20	BAIXO			
		Distribuidores de Massa Lubrificante	Distribuir diferentes caudais de massa pelos vários pontos de lubrificação	Distribuidor não faz ciclo completo de lubrificação	Massa seca dentro do distribuidor		8	24	32	0,30	2,70	3,0	907	C	F	3	6	5	90	MEDIO
	Pontos de lubrificação obstruídos					4	28	32	1,38	1,62	3,0	907	C	F	3	6	5	90	MEDIO	
	Ficha do sensor de ciclo danificada					2	16	18	0,17	1,83	2,0	1613	C-E	F	2	5	5	50	BAIXO	
	Sensor de ciclo danificado						2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C	F	2	1	5	10	BAIXO	
	Sujidade dentro do distribuidor					6	26	32	0,29	2,71	3,0	907	C	F	3	6	5	90	MEDIO	
	Fuga na tubagem de alimentação ao distribuidor					2	22	24	0,79	1,21	2,0	1210	A-B-C	F	3	6	5	90	MEDIO	
	Comando	Consola do Operador	Introdução de dados, visualização do processo e comando de operações da máquina	Não troca o valor dos eixos de curso e de pressão não permitindo funcionamento em automático	Comutador de seleção do modo de funcionamento em manual		1	7	8	0,33	0,66	1,0	3630	C		1	4	10	40	BAIXO
					Programa ficou bloqueado		6	18	24	0,59	1,41	2,0	1210	C		3	6	10	180	MEDIO
					Comutador de seleção do modo de funcionamento danificado		1	1	2	1,00	0,00	1,0	14520	C-E	F	1	1	9	9	BAIXO
			Consola não tem condição para ligar os accionamentos em automático	Erro na transferência de dados		3	13	16	0,58	1,42	2,0	1815	C		3	5	10	150	MEDIO	
				Ar condicionado dos armários eléctricos em falha		1	7	8	0,75	0,25	1,0	3630	C	F	1	4	6	24	BAIXO	
				Relé de testes (K4) de confirmação danificado		2	14	16	0,93	0,57	1,5	1815	C	F	2	5	8	80	MEDIO	
				Falta de rearme das portas de segurança		1	15	16	0,53	0,46	1,0	1815	C	F	1	5	8	40	BAIXO	
				Micros das portas dos armários eléctricos não dão condição			8	8	0,00	1,00	1,0	3630	C	F	1	4	7	28	BAIXO	
				Ar condicionado dos armários eléctricos inoperacional			2	2	0,00	6,00	6,0	14517	C-E	F	4	1	6	24	BAIXO	
				Protecções de software disparadas			16	16	0,00	1,00	1,0	1815	C	F	1	5	6	30	BAIXO	
			Ventilador do rack do PLC danificado			4	4	0,00	4,00	4,0	7259	C-E	F	3	2	5	30	BAIXO		
			Não assume o número da próxima ferramenta	Erro na transferência de dados		1	7	8	4,00	0,00	4,0	3630	C		3	4	10	120	MEDIO	
				Comutador de transferência de dados não seleccionado			8	8	0,00	1,00	1,0	3630	C	F	1	4	10	40	BAIXO	
	Portas de Segurança	Motorreductor da Porta de Segurança da Desbobinadeira	Abrir e fechar a porta de segurança	Motorreductor não movimenta a porta	Travão do motor não abre			4	4	0,00	4,00	4,0	7259	C-E	B	3	2	7	42	BAIXO
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado			2	2	0,00	4,00	4,0	14518	A-C-E	A-F	3	1	5	15	BAIXO
Não chega energia elétrica ao motor							2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	6	18	BAIXO	
Arrancador ou ponte rectificadora com defeito							3	3	0,00	2,00	2,0	9679	C	F	2	1	6	12	BAIXO	
Motorreductor danificado							1	1	0,00	4,00	4,0	29036	C-E-F	F	3	1	5	15	BAIXO	
Sobrecarga mecânica na operação							1	16	17	0,17	0,83	1,0	1708	C	F	1	5	5	25	BAIXO

SISTEMA	SUBSISTEMA	ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	Ocorrência			Tempo [h]			MTBF	Conseq.	Controlos	S	O	D	NPR	Matriz de Risco		
						Real	Pot.	Total	Real médio	Pot	Total										
Processamento da Fita	Portas de Segurança	Micros de Posição das Portas	Confirmar a porta fechada	Falta de sinal de confirmação de porta fechada	Micros desajustados	1	7	8	0,33	0,66	1,0	3630	C	F	1	4	4	16	BAIXO		
					Came de posição de porta fechada danificada	1	1	2	0,25	1,25	1,5	14519	C	A-F	2	1	4	8	8	BAIXO	
					Micros danificados	2	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C-E	F	2	1	4	8	8	BAIXO	
					Fixação dos micros danificada	2	2	2	0,00	1,00	1,0	14520	C	F	1	1	4	4	4	BAIXO	
					Relé de sinais danificado	4	4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C-E	F	2	2	6	24	24	BAIXO	
Corte	Tesoura Giratória	Motor de Movimento Linear da Tesoura	Movimentar a faca para cortar a fita de aço	Motor não funciona	Correia de transmissão do accionamento saltou	10	14	24	0,75	0,75	1,5	1210	C	A-F	2	6	5	60	BAIXO		
					Correia de transmissão do accionamento danificada	2	2	2	0,00	4,00	4,0	14518	C-E	A-F	3	1	5	15	15	BAIXO	
					Falha de supervisão da válvula PSV	8	16	24	0,23	0,77	1,0	1210	C	F	1	6	7	42	42	BAIXO	
					Contactador auxiliar da válvula PSV danificado	1	2	3	0,88	1,12	2,0	9679	C-E	F	3	1	7	21	21	BAIXO	
					Falta de rearme das portas de segurança	1	15	16	0,47	0,53	1,0	1815	C	F	1	5	8	40	40	BAIXO	
					Falta de condição das bandas telescópicas	1	7	8	0,25	0,75	1,0	3630	C	F	1	4	5	20	20	BAIXO	
					Cabo do encoder interno do motor com mau contacto	2	2	4	0,42	3,58	4,0	7259	C	F	3	2	6	36	36	BAIXO	
					Encoder interno danificado	1	1	1	0,00	10,00	10,0	29030	C-E	F	6	1	6	36	36	BAIXO	
					Cabo do encoder interno danificado	1	1	1	0,00	4,00	4,0	29036	C-E	F	3	1	6	18	18	BAIXO	
					Rectificador de corrente do motor em falha	1	7	8	0,33	0,16	0,5	3630	C	F	1	4	6	24	24	BAIXO	
					Variador do motor em falha	10	14	24	0,26	0,24	0,5	1210	C	F	1	6	6	36	36	BAIXO	
					Variador do motor desparametrizado	1	7	8	3,00	1,00	4,0	3630	C	F	3	4	6	72	72	BAIXO	
					Variador danificado	2	2	2	0,00	8,00	8,0	14516	C-E	F	5	1	6	30	30	BAIXO	
					Travão do motor não abre	4	4	4	0,00	4,00	4,0	7259	C-E	B-F	3	2	5	30	30	BAIXO	
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado	1	1	1	0,00	8,00	8,0	29032	A-C-E	A-F	5	1	5	25	25	BAIXO	
					Não chega energia elétrica ao motor	2	2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	6	18	18	BAIXO	
	Motor danificado	1	1	1	0,00	12,00	12,0	29028	C-E-F	F	7	1	5	35	35	BAIXO					
	Motor não alcança número de golpes indicado	1	15	16	0,28	0,21	0,5	1815	C	F	1	5	10	50	50	BAIXO					
	Faca			Cortar a fita de aço em platinas direitas ou trapezoidais	Faca não tem condição para efectuar o corte	Micro das cunhas desapertadas desajustado	2	2	4	0,17	0,83	1,0	7260	C	F	1	2	4	8	8	BAIXO
						Micro das cunhas desapertadas danificado	2	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C-E	F	2	1	4	8	8	BAIXO
						Sensor de cunhas retiradas da faca desajustado	3	1	4	0,47	0,52	1,0	7260	C	F	1	2	4	8	8	BAIXO
						Sensor de cunhas retiradas da faca danificado	2	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C-E	F	2	1	4	8	8	BAIXO
						Falta de rearme nas portas de segurança	1	15	16	0,17	0,83	1,0	1815	C	F	1	5	8	40	40	BAIXO
						Pino de segurança da faca não está colocado	16	16	16	0,00	0,50	0,5	1815	C	A-F	1	5	3	15	15	BAIXO
						Sensor do pino de segurança da faca danificado	1	1	2	0,60	1,40	2,0	14519	C-E	F	2	1	5	10	10	BAIXO
						Cabo do sensor do pino de segurança da faca danificado	2	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C-E	A-F	2	1	6	12	12	BAIXO
						Prisão mecânica nas cunhas	5	11	16	0,37	0,63	1,0	1815	C	A-F	1	5	4	20	20	BAIXO
						Cunhas desenroscadas do fuso	1	7	8	0,33	1,67	2,0	3630	C	A-F	3	4	4	48	48	BAIXO
						Fuso das cunhas com rosca danificada	2	6	8	0,83	3,17	4,0	3629	C-E	A-F	4	4	4	64	64	BAIXO
						Suporte do sensor de presença de faca danificado	1	1	2	0,57	1,43	2,0	14519	C-E	A-F	2	1	4	8	8	BAIXO
						Sensor de presença de faca danificado	2	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C-E	F	2	1	5	10	10	BAIXO
						Sensor de faca centrada na posição de fixar as cunhas desajustado	3	5	8	0,36	0,63	1,0	3630	C	F	1	4	5	20	20	BAIXO
Sensor de faca centrada na posição de fixar as cunhas danificado						4	4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C-E	F	2	2	5	20	20	BAIXO	
Sensor das cunhas apertadas desajustado						1	7	8	0,58	0,41	1,0	3630	C	F	1	4	5	20	20	BAIXO	
Sensor das cunhas apertadas danificado	4	4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C-E	F	2	2	5	20	20	BAIXO						

SISTEMA	SUBSISTEMA	ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	Ocorrência			Tempo [h]			MTBF	Conseq.	Controlos	S	O	D	NPR	Matriz de Risco
						Real	Pot.	Total	Real médio	Pot	Total								
Corte	Tesoura Giratória	Motor de Giro da Mesa da Faca	Girar a mesa da faca para cortes trapezoidais	Motor não movimentada a mesa	Travão do motor não abre	4	4	0,00	4,00	4,0	7259	C-E	B-F	3	2	5	30	BAIXO	
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado	1	1	0,00	8,00	8,0	29032	A-C-E	A-F	5	1	5	25	BAIXO	
					Não chega energia elétrica ao motor	2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	6	18	BAIXO	
					Variador do motor em falha	24	24	0,00	0,50	0,5	1210	C	F	1	6	6	36	BAIXO	
					Variador do motor desparametrizado	8	8	0,00	4,00	4,0	3630	C	F	3	4	6	72	BAIXO	
					Variador danificado	1	1	0,00	12,00	12,0	29028	C-E	F	7	1	6	42	BAIXO	
					Motor danificado	1	0	1	12,83	3,17	16,0	29024	C-E-F	F	9	1	8	72	ALTO
					Processador perdeu parâmetros de instalação	1	1	2	32,00	0,00	32,0	14504	C-E	F	10	1	10	100	CRITICO
					Cabo do encoder interno do motor com mau contacto	2	2	0,00	4,00	4,0	14518	C	F	3	1	6	18	BAIXO	
					Encoder interno danificado	1	1	0,00	10,00	10,0	29030	C-E	F	6	1	6	36	BAIXO	
		Cabo do encoder interno danificado	1	1	0,00	4,00	4,0	29036	C-E	F	3	1	6	18	BAIXO				
		Motor não para na posição indicada	1	15	16	2,00	2,00	4,0	1815	C	F	3	5	10	150	MEDIO			
		Motor com excesso de velocidade	1	7	8	1,33	2,67	4,0	3629	C	F	4	4	6	96	MEDIO			
		Mesa da Faca	Fixação da faca e passagem da fita de aço	Mesa provoca riscos ou moussas nas platinas	Mesa com rebarba saliente	2	6	8	0,25	0,25	0,5	3630	C-D	A	1	4	1	4	BAIXO
					Esfera de transporte danificada	1	7	8	0,93	0,57	1,5	3630	C-D-E	A	2	4	1	8	BAIXO
				Faca não desliza na mesa	Faca com rebarba na parte inferior	16	16	0,00	1,00	1,0	1815	C	A	1	5	1	5	BAIXO	
					Bloco de esferas hidráulico inoperacional	4	4	0,00	8,00	8,0	7258	C-E		5	2	10	100	MEDIO	
		Caixa de Controlo de Cames	Enviar sinais eléctricos relativos à posição da faca	Falha de controlo de cames de posição da faca	Sensor da came desajustado	4	0	4	0,40	0,59	1,0	7260	C	F	1	2	5	10	BAIXO
					Sensor da came danificado	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C-E	F	2	1	5	10	BAIXO	
					Cames desapertadas do eixo de comando	1	1	0,00	4,00	4,0	29036	C	F	3	1	8	24	BAIXO	
	Acoplamento do encoder com o eixo de comando danificado				1	1	0,00	4,00	4,0	29036	C-E	F	3	1	7	21	BAIXO		
	Unidade Pneumática Embraiagem-Travão	Transferir potência do motor para o mecanismo da prensa	Embraiagem não transfere movimento do motor para o mecanismo	Discos da embraiagem ou calços de fricção gastos	1	1	0,00	20,00	20,0	29020	C-E-F		9	1	10	90	ALTO		
				Discos da embraiagem ou calços de fricção impregnados de óleo	1	1	0,00	20,00	20,0	29020	C-E-F		9	1	10	90	ALTO		
				PSV inoperacional	1	1	0,00	12,00	12,0	29028	C-E	F	7	1	4	28	BAIXO		
			Travão não imobiliza o mecanismo	Diaphragma da embraiagem com fuga	1	1	0,00	20,00	20,0	29020	C-E-F		9	1	10	90	ALTO		
				Circuito de ar comprimido sem pressão	1	1	0,00	3,00	3,0	29037	C	A-C	3	1	2	6	BAIXO		
				Discos ou calços de fricção gastos	1	1	0,00	20,00	20,0	29020	C-E-F		9	1	10	90	ALTO		
	Conjunto de Giro da Faca	Transferir movimento do motor para a mesa da faca	Mesa da faca não para na posição indicada	Discos ou calços de fricção impregnados de óleo	1	1	0,00	20,00	20,0	29020	C-E-F		9	1	10	90	ALTO		
				Pinhão do motor com folga	1	1	0,00	16,00	16,0	29024	C-E-F		8	1	10	80	MEDIO		
			Mesa da faca não gira	Fixação da roda dentada da mesa folgada	1	1	0,00	22,00	22,0	29018	C-E-F		9	1	10	90	ALTO		
				Pinhão do motor arrasado	1	1	0,00	16,00	16,0	29024	C-E-F		8	1	10	80	MEDIO		
				Fixação da roda dentada intermédia partida	1	1	0,00	72,00	72,0	28968	C-E-F		10	1	10	100	CRITICO		
				Fixação da roda dentada da mesa partida	1	1	0,00	72,00	72,0	28968	C-E-F		10	1	10	100	CRITICO		
	Dispositivo de Troca das Facas	Deslocar o dispositivo para ficar centrado com a mesa da faca	Motor não desloca o dispositivo	Circuito de ar comprimido sem pressão	4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C	B-C	2	2	2	8	BAIXO		
				Válvula direccional bloqueada	4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C		2	2	6	24	BAIXO		
				Não chega sinal eléctrico ao solenóide da válvula	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C		2	1	6	12	BAIXO		
				Solenóide da válvula danificado	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C-E		2	1	6	12	BAIXO		
				Fuga de ar nas ligações e acessórios	8	8	0,00	1,00	1,0	3630	A-B-C		1	4	10	40	BAIXO		
				Ligação pneumática obstruída	1	7	8	0,17	0,83	1,0	3630	C		1	4	10	40	BAIXO	

SISTEMA	SUBSISTEMA	ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	Ocorrência			Tempo [h]			MTBF	Conseq.	Controlos	S	O	D	NPR	Matriz de Risco	
						Real	Pot.	Total	Real médio	Pot	Total									
Corte	Dispositivo de Troca das Facas	Mesa do Dispositivo de Troca de Faca	Extrair e introduzir a faca na máquina	Mesa não se movimentava	Programa ficou bloqueado	2	6	8	0,51	0,49	1,0	3630	C		1	4	10	40	BAIXO	
					Sobrecarga mecânica na operação	1	7	8	0,33	0,66	1,0	3630	C	F	1	4	5	20	BAIXO	
					Eixos de movimento desparametrizados	9	15	24	0,63	0,37	1,0	1210	C	F	1	6	5	30	BAIXO	
				Faca não se desloca na mesa	Guia lateral da mesa desapertada	1	3	4	0,67	0,33	1,0	7260	C	A	1	2	2	4	BAIXO	
	Lubrificação	Distribuidores de Óleo Lubrificante	Distribuir diferentes caudais de óleo lubrificante pelos vários pontos de lubrificação	Distribuidor não faz ciclo completo de lubrificação	Pontos de lubrificação obstruídos		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	5	15	BAIXO	
					Ficha do sensor de ciclo danificada		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C-E	F	2	1	5	10	BAIXO	
					Sensor de ciclo danificado		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C-E	F	2	1	5	10	BAIXO	
					Sujidade dentro do distribuidor		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	5	15	BAIXO	
					Fuga na tubagem de alimentação ao distribuidor		4	4	0,00	1,00	1,0	7260	A-B-C	F	1	2	5	10	BAIXO	
					Êmbolos com prisão mecânica	1	1	2	3,00	0,00	3,0	14519	C	F	3	1	5	15	BAIXO	
		Motobomba de Lubrificação	Fornecer óleo lubrificante com a pressão e caudal exigidos	Motor não funciona	Travão do motor não abre		4	4	0,00	4,00	4,0	7259	C-E	B-F	3	2	5	30	BAIXO	
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado		1	1	0,00	4,00	4,0	29036	A-C-E	A-F	3	1	5	15	BAIXO	
					Não chega energia elétrica ao motor		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	6	18	BAIXO	
					Arranador ou ponte rectificadora com defeito		3	3	0,00	3,00	3,0	9679	C-E	F	3	1	4	12	BAIXO	
					Motor danificado		1	1	0,00	4,00	4,0	29036	C-E	F	3	1	5	15	BAIXO	
					Nível mínimo de óleo no agregado		4	4	0,23	0,27	0,5	3630	C	C-F	1	4	1	4	BAIXO	
					Sobrecarga mecânica na operação		8	8	0,00	2,00	2,0	3630	C	F	2	4	4	32	BAIXO	
					Bomba não debita óleo	Acoplamento motor-bomba danificado		2	2	0,00	4,00	4,0	14518	C-E	F	3	1	6	18	BAIXO
						Bomba gira no sentido inverso		1	1	0,00	2,00	2,0	29038	C		2	1	10	20	BAIXO
						Bomba presa		1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-E	F	4	1	4	16	BAIXO
						Corpo da bomba fissurado		1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-E		4	1	10	40	BAIXO
						Passagem interna nas engrenagens da bomba		1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-E		4	1	10	40	BAIXO
		Tubagem de compressão fissurada		1		1	0,00	4,00	4,0	29036	C-E		3	1	10	30	BAIXO			
		Filtro	Manter circuito isento de impurezas	Filtro colmatado	Impurezas no fluido lubrificante		4	4	8	0,25	0,75	1,0	3630	C-E	F	1	4	1	4	BAIXO
					Ficha do sensor de filtro colmatado danificada		1	1	0,00	2,00	2,0	29038	C-E	F	2	1	1	2	BAIXO	
		Comando	Consola do Operador	Introdução de dados, visualização do processo e comando de operações da máquina	Não troca o valor dos eixos de curso e de pressão não permitindo funcionamento em automático	Comutador de selecção do modo de funcionamento em manual	1	7	8	0,33	0,66	1,0	3630	C		1	4	10	40	BAIXO
						Programa ficou bloqueado	5	19	24	0,28	1,72	2,0	1210	C		3	6	10	180	MEDIO
						Comutador de selecção do modo de funcionamento danificado	1	1	0,00	1,00	1,0	29039	C-E	F	1	1	9	9	BAIXO	
						Erro na transferência de dados		16	16	0,00	4,00	4,0	1815	C		3	5	10	150	MEDIO
					Consola não responde aos comandos seleccionados	Quebra de alimentação de energia	8	8	16	1,02	0,98	2,0	1815	C	F	2	5	2	20	BAIXO
						Seccionador principal disparado	1	3	4	0,42	0,58	1,0	7260	C	F	1	2	2	4	BAIXO
						Fusíveis do accionamento da faca fundidos	1	3	4	0,58	0,41	1,0	7260	C-E	F	1	2	6	12	BAIXO
	Protecções de software disparadas					1	15	16	0,92	0,08	1,0	1815	C	F	1	5	6	30	BAIXO	
	Falta condição da posição da faca					1	15	16	2,00	0,00	2,0	1815	C	F	2	5	4	40	BAIXO	
	Máquina não para em final de ciclo					Botoneira de paragem em fim de ciclo danificada	3	1	4	0,22	0,78	1,0	7260	C-E	F	1	2	8	16	BAIXO
	Consola não tem condição para ligar os accionamentos em automático				Ar condicionado dos armários eléctricos em falha	8	8	0,00	1,00	1,0	3630	C	F	1	4	6	24	BAIXO		
					Relé de testes de confirmação danificado	1	15	16	0,50	1,00	1,5	1815	C-E	F	2	5	8	80	MEDIO	
					Falta de rearme das portas de segurança		16	16	0,00	1,00	1,0	1815	C	F	1	5	8	40	BAIXO	

SISTEMA	SUBSISTEMA	ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	Ocorrência			Tempo [h]			MTBF	Conseq.	Controlos	S	O	D	NPR	Matriz de Risco	
						Real	Pot.	Total	Real médio	Pot	Total									
Corte	Comando	Consola do Operador	Introdução de dados, visualização do processo e comando de operações da máquina	Consola não tem condição para ligar os accionamentos em automático	Programa corrompido com perda de dados	1	1	2	2,00	2,00	4,0	14518	C	F	3	1	9	27	BAIXO	
					Programa ficou bloqueado	1	23	24	0,83	1,17	2,0	1210	C		3	6	10	180	MEDIO	
					Micros das portas dos armários eléctricos não dão condição		8	8	0,00	1,00	1,0	3630	C	F	1	4	8	32	BAIXO	
					Ar condicionado dos armários eléctricos inoperacional	3	1	4	2,11	3,89	6,0	7258	C-E	F	5	2	6	60	BAIXO	
					Protecções de software disparadas		16	16	0,00	1,00	1,0	1815	C	F	1	5	6	30	BAIXO	
					Ventilador do rack do PLC danificado	2	2	4	0,42	1,57	2,0	7260	C-E	F	2	2	7	28	BAIXO	
	Portas de Segurança	Micros de Posição das Portas	Confirmar a porta fechada	Falta de sinal de confirmação de porta fechada	Micros desajustados		8	8	0,00	1,00	1,0	3630	C	F	1	4	4	16	BAIXO	
					Came de posição de porta fechada danificada		2	2	0,00	1,50	1,5	14519	C	F	2	1	4	8	BAIXO	
					Micros danificados		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C-E	F	2	1	4	8	BAIXO	
					Fixação dos micros danificada		2	2	0,00	1,50	1,5	14519	C	F	2	1	4	8	BAIXO	
				Relé de sinais danificado	1	3	4	0,33	1,67	2,0	7259	C-E	F	3	2	6	36	BAIXO		
Empilhamento	Ponte Magnética	Motorreductor de Regulação Transversal da Ponte Magnética	Deslocar a ponte no sentido transversal de acordo com o formato das platinas	Motorreductor não regula a ponte magnética	Embraiagem inoperacional		1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-E		4	1	10	40	BAIXO	
					Travão do Motorreductor não abre		2	2	0,00	4,00	4,0	14518	C-E	B-F	3	1	4	12	BAIXO	
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado		1	1	0,00	4,00	4,0	29036	A-C-E	A-F	3	1	5	15	BAIXO	
					Não chega energia elétrica ao motor		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	6	18	BAIXO	
					Arrancador ou ponte rectificadora com defeito		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C-E	F	3	1	4	12	BAIXO	
					Motorreductor danificado		1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-E	F	4	1	5	20	BAIXO	
					Sobrecarga mecânica na operação		16	16	0,00	2,00	2,0	1815	C	F	2	5	4	40	BAIXO	
					Falta de fase no motor		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	5	15	BAIXO	
					Porca do fuso de regulação danificada		2	2	0,00	4,00	4,0	14518	C-E		3	1	10	30	BAIXO	
					Fuso de regulação danificado		1	1	0,00	20,00	20,0	29020	C-E-F		9	1	10	90	ALTO	
		Braços cardan danificados		1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-E	A	4	1	2	8	BAIXO				
		Estrutura de Fixação do Magneto (Patim)	Permitir o deslocamento da fita de aço e suportar os magnetos	Patim interfere com o deslocamento da fita de aço	Patim descaído		4	28	32	0,79	2,21	3,0	907	C-D	A	3	6	1	18	BAIXO
					Barra de roletes dos patins partida		1	7	8	1,33	2,67	4,0	3630	C-D-E	A	3	4	1	12	BAIXO
					Parafusos dos roletes dos patins desapertados		2	2	4	1,43	0,57	2,0	7259	C	F	3	2	5	30	BAIXO
	Protecção eléctrica do magneto disparada					4	12	16	0,51	0,48	1,0	1815	C	F	1	5	5	25	BAIXO	
	Regulador de corrente dos magnetos em falha					1	7	8	0,75	0,25	1,0	3630	C	F	1	4	5	20	BAIXO	
	Parafuso de fixação do magneto partiu					1	3	4	0,50	3,50	4,0	7259	C-D-E	A	3	2	2	12	BAIXO	
	Motorreductor do Deslocamento Longitudinal dos Patins	Manter a fita de aço na ponte magnética	Magnetos não mantêm a fita de aço na ponte magnética	Magnetos interferem com o deslocamento da fita de aço	Chapa de latão do magneto danificada		2	2	0,00	4,00	4,0	14518	C-D-E	A	3	1	2	6	BAIXO	
					Embraiagem inoperacional		1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-E		4	1	10	40	BAIXO	
					Travão do motor não abre		2	2	0,00	4,00	4,0	14518	C-E	B-F	3	1	4	12	BAIXO	
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado		1	1	0,00	4,00	4,0	29036	A-C-E	A-F	3	1	5	15	BAIXO	
					Não chega energia elétrica ao motor		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	6	18	BAIXO	
					Arrancador ou ponte rectificadora com defeito		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C-E	F	3	1	4	12	BAIXO	
					Motor danificado		1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-E	F	4	1	5	20	BAIXO	
					Sobrecarga mecânica na operação		16	16	0,00	2,00	2,0	1815	C	F	2	5	4	40	BAIXO	
					Falta de fase no motor		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	5	15	BAIXO	
					Programa bloqueado		1	23	24	0,25	1,75	2,0	1210	C		2	6	10	120	MEDIO

SISTEMA	SUBSISTEMA	ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	Ocorrência			Tempo [h]			MTBF	Conseq.	Controlos	S	O	D	NPR	Matriz de Risco
						Real	Pot.	Total	Real médio	Pot	Total								
Empilhamento	Bandas Telescópicas	Correias Lisas	Transportar as platinas da faca para as bandas magnéticas	Correias não transportam convenientemente as platinas	Platinas descentradas provocam desalinhamento das correias	2	22	24	0,17	0,83	1,0	1210	C-D	A	1	6	2	12	BAIXO
					Esticadores desafinados provocam desalinhamento das correias		8	8	0,00	1,00	1,0	3630	C-D		1	4	10	40	BAIXO
					Desgaste do eixo do tambor provoca desalinhamento das correias		4	4	0,00	3,00	3,0	7259	C-D		3	2	10	60	BAIXO
					Correia saltou fora da banda	29	3	32	0,34	0,65	1,0	907	C-D	A	1	6	2	12	BAIXO
					Correia cortada ou danificada	17	7	24	0,57	0,42	1,0	1210	C-D-E	A	1	6	2	12	BAIXO
					Ligadores das correias danificados	1	7	8	0,50	0,50	1,0	3630	C-D-E		1	4	10	40	BAIXO
					Parafusos da chapa de protecção das correias desapertados	2	2	4	0,42	0,58	1,0	7260	C-D		1	2	10	20	BAIXO
		Micros das Bandas	Confirmar a posição das bandas	Falta de sinal de confirmação da posição	Micros desajustados	8	8	16	0,32	0,67	1,0	1815	C	F	1	5	4	20	BAIXO
					Micros danificados		2	2	0,33	1,67	2,0	14519	C-E	F	2	1	4	8	BAIXO
					Fixação dos micros danificada		2	2	0,00	1,50	1,5	14519	C	F	2	1	4	8	BAIXO
					Relé de sinais danificado		4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C-E	F	2	2	4	16	BAIXO
		Motorreductor de Deslocamento Longitudinal das Bandas Telescópicas	Deslocar braços telescópicos das bandas para cada tipo de corte	Motorreductor não desloca os braços telescópicos	Sobrecarga mecânica na operação	3	16	19	0,23	1,77	2,0	1528	C	F	2	5	4	40	BAIXO
					Travão do Motorreductor não abre		2	2	0,00	4,00	4,0	14518	C-E	B-F	3	1	4	12	BAIXO
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado		1	1	0,00	4,00	4,0	29036	A-C-E	A-F	3	1	5	15	BAIXO
					Não chega energia elétrica ao motor		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	6	18	BAIXO
					Arrancador ou ponte rectificadora com defeito		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C-E	F	3	1	4	12	BAIXO
					Motorreductor danificado		1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-E	F	4	1	5	20	BAIXO
		Transmissão de Corrente do Deslocamento Longitudinal	Transferir movimento do motor para os braços telescópicos das bandas	Transmissão não transfer movimento para os braços.	Embraiagem inoperacional	1	0	1	0,85	5,10	6,0	29034	C-E		4	1	10	40	BAIXO
					Pinos da corrente partidos		1	1	0,00	2,00	2,0	29038	C-E		2	1	10	20	BAIXO
					Elo de ligação da corrente partido		1	1	0,00	2,00	2,0	29038	C-E		2	1	10	20	BAIXO
					Roda dentada partida		1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-E		4	1	10	40	BAIXO
		Motorreductor de Regulação Transversal das Bandas Telescópicas	Deslocar as bandas no sentido transversal de acordo com o formato das platinas	Motorreductor não desloca as bandas	Embraiagem inoperacional		1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-E		4	1	10	40	BAIXO
					Travão do Motorreductor não abre		2	2	0,00	4,00	4,0	14518	C-E	B-F	3	1	4	12	BAIXO
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado		1	1	0,00	4,00	4,0	29036	A-C-E	A-F	3	1	5	15	BAIXO
					Não chega energia elétrica ao motor		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	6	18	BAIXO
					Arrancador ou ponte rectificadora com defeito		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C-E	F	3	1	4	12	BAIXO
					Motorreductor danificado		1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-E	F	4	1	5	20	BAIXO
					Sobrecarga mecânica na operação		16	16	0,00	2,00	2,0	1815	C	F	2	5	4	40	BAIXO
					Falta de fase no motor		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	5	15	BAIXO
					Porca do fuso de regulação danificada		2	2	0,00	4,00	4,0	14518	C-E		3	1	10	30	BAIXO
					Fuso de regulação danificado		1	1	0,00	20,00	20,0	29020	C-E-F		9	1	10	90	ALTO
		Braços cardan danificados		1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-E	A	4	1	2	8	BAIXO			
		Transmissão de Corrente da Regulação Transversal	Transferir movimento do motor para as bandas	Transmissão não transfer movimento para as bandas	Embraiagem inoperacional		3	3	0,00	6,00	6,0	9678	C-E		4	1	10	40	BAIXO
					Pinos da corrente partidos		1	1	0,00	2,00	2,0	29038	C-E		2	1	10	20	BAIXO
					Elo de ligação da corrente partido		1	1	0,00	2,00	2,0	29038	C-E		2	1	10	20	BAIXO
					Roda dentada partida		1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-E		4	1	10	40	BAIXO

SISTEMA	SUBSISTEMA	ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	Ocorrência			Tempo [h]			MTBF	Conseq.	Controlos	S	O	D	NPR	Matriz de Risco
						Real	Pot.	Total	Real médio	Pot	Total								
Empilhamento	Bandas Magnéticas	Correias Dentadas	Transportar as platinas	Correias não transportam devidamente as platinas	Correia desalinhada devido à posição das platinas	4	4	8	0,43	0,57	1,0	3630	C-D	A	1	4	2	8	BAIXO
					Correia cortada ou danificada pelas platinas	14	2	16	1,08	6,00	7,1	1815	C-D-E	A	5	5	2	50	BAIXO
		Guias das Correias	Manter a correia guiada na banda	Guias não mantêm correias na banda	Guias danificadas	8	16	24	0,40	0,59	1,0	1210	C-D-E		1	6	10	60	BAIXO
					Guias desapertadas	1	7	8	0,18	0,31	0,5	3630	C-D		1	4	10	40	BAIXO
		Micros das Bandas	Confirmar a posição do deslocamento transversal das bandas	Falta de sinal de confirmação da posição	Micros desajustados	8	8	8	0,00	1,00	1,0	3630	C	F	1	4	4	16	BAIXO
					Micros danificados	2	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C-E	F	2	1	4	8	BAIXO
					Fixação dos micros desapertada ou danificada	2	2	2	0,00	1,50	1,5	14519	C	F	2	1	4	8	BAIXO
					Relé de sinais danificado	4	4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C-E	F	2	2	6	24	BAIXO
		Magnetos	Manter platina na banda durante transporte e largar na zona de empilhamento	Magnetos não criam campo electromagnético para manter platina na banda	Disjuntor de protecção eléctrica do módulo disparado	1	7	8	0,25	0,25	0,5	3630	C-D	F	1	4	5	20	BAIXO
					Módulo de controlo dos magnetos danificado	1	3	4	2,00	2,00	4,0	7259	C-D-E	F	3	2	5	30	BAIXO
				Magnetos não largam correctamente platinas na zona de empilhamento	Disjuntor de protecção eléctrica do magneto disparado	1	7	8	0,60	0,00	0,6	3630	C-D	F	1	4	5	20	BAIXO
					Relé de controlo do magneto danificado	2	2	4	0,63	1,37	2,0	7260	C-D-E	F	2	2	5	20	BAIXO
					Tempo de desmagnetização mal regulado	1	7	8	0,17	0,33	0,5	3630	C-D	F	1	4	5	20	BAIXO
		Motorreductor de Regulação Transversal das Bandas Magnéticas	Deslocar as bandas no sentido transversal de acordo com o formato das platinas	Motorreductor não desloca as bandas	Módulo de controlo dos eixos AK9 danificado	1	3	4	12,50	3,50	16,0	7256	C-D-E	F	8	2	6	96	MEDIO
					Embraiagem inoperacional	1	1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-E		4	1	10	40	BAIXO
					Chumaceiras das bandas agarradas no veio estriado	2	2	4	1,54	32,00	32,0	7252	C-E		10	2	10	200	CRITICO
					Travão do motor não abre	2	2	2	0,00	4,00	4,0	14518	C-E	B-F	3	1	4	12	BAIXO
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado	1	1	1	0,00	4,00	4,0	29036	A-C-E	A-F	3	1	5	15	BAIXO
					Não chega energia elétrica ao motor	2	2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	6	18	BAIXO
					Arrancador ou ponte rectificadora com defeito	2	2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C-E	F	3	1	4	12	BAIXO
	Motorreductor danificado				1	1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-E	F	4	1	5	20	BAIXO	
	Sobrecarga mecânica na operação				16	16	16	0,00	2,00	2,0	1815	C	F	2	5	4	40	BAIXO	
	Falta de fase no motor				2	2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	5	15	BAIXO	
	Porca do fuso de regulação danificada				2	2	2	0,00	4,00	4,0	14518	C-E		3	1	10	30	BAIXO	
	Fuso de regulação danificado				1	1	1	0,00	20,00	24,0	29016	C-E-F		9	1	10	90	ALTO	
	Braços cardan danificados				1	1	1	0,00	8,00	8,0	29032	C-E	A	5	1	2	10	BAIXO	
	Acionamento das Bandas Magnéticas e Telescópicas	Motor de Movimento das Correias	Movimentar as correias das bandas magnéticas e telescópicas para transportar as platinas	Motor não movimentar as correias	Travão do motor não abre	2	2	2	0,00	4,00	4,0	14518	C-E	B-F	3	1	4	12	BAIXO
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado	1	1	1	0,00	16,00	16,0	29024	A-C-E	A-F	8	1	5	40	BAIXO
					Não chega energia elétrica ao motor	2	2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	6	18	BAIXO
					Motor danificado	2	2	2	0,00	12,00	12,0	14514	C-E-F	F	7	1	5	35	BAIXO
					Variador de frequência do motor (micromaster) em falha	21	11	32	0,27	0,22	0,5	907	C	F	1	6	6	36	BAIXO
					Variador de frequência do motor (micromaster) danificado	1	1	1	18,00	18,00	18,00	29022	C-F		9	1	6	54	ALTO
					Sobrecarga mecânica na operação	16	16	16	0,00	2,00	2,0	1815	C	F	2	5	4	40	BAIXO
					Falta de fase no motor	2	2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	5	15	BAIXO
		Caixa Redutora do Motor das Bandas Magnéticas e Telescópicas	Converter velocidade e fornecer binário	Funciona com temperatura excessiva	Sobrecarga mecânica na operação	16	16	16	0,00	2,00	2,0	1815	C	F	2	5	4	40	BAIXO
					Lubrificação incorrecta ou insuficiente	1	1	1	0,00	2,00	2,0	29038	C		2	1	10	20	BAIXO
					Rolamentos com prisão	1	1	1	0,00	12,00	12,0	29028	C-E-F		7	1	10	70	BAIXO
					Ventilação obstruída	1	1	1	0,00	1,00	1,0	29039	C	F	1	1	10	10	BAIXO

SISTEMA	SUBSISTEMA	ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	Ocorrência			Tempo [h]			MTBF	Conseq.	Controlos	S	O	D	NPR	Matriz de Risco
						Real	Pot.	Total	Real médio	Pot	Total								
Empilhamento	Batentes do Empilhamento	Sensores de Posição do Empilhamento da Platina nos Batentes	Confirmar a posição da platina nos batentes	Falha de platina no encosto	Cabo do sensor danificado ou em curto-circuito	2	2	4	0,50	1,50	2,0	7260	A-C-E	F	2	2	5	20	BAIXO
					Ficha do sensor danificada	1	3	4	0,17	1,83	2,0	7260	C-E	F	2	2	5	20	BAIXO
					Sensor (fotocélula) desajustado	10	6	16	0,68	0,32	1,0	1815	C	F	1	5	4	20	BAIXO
					Sensor (fotocélula) danificado	1	3	4	0,33	1,67	2,0	7259	C-E	F	3	2	4	24	BAIXO
					Platina a empilhar mal	1	3	4	0,50	1,00	1,5	7260	C	A	2	2	4	16	BAIXO
	Cassetes de Empilhamento	Atuadores Pneumáticos das Unhas de Empilhamento	Colocar e retirar as unhas da posição de trabalho	Atuador pneumático não se movimenta	Circuito de ar comprimido sem pressão		4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C-D	B-C	2	2	2	8	BAIXO
					Válvula direccional presa		4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C-D		2	2	10	40	BAIXO
					Fuga de ar nas ligações e acessórios	4	28	32	0,27	0,72	1,0	907	A-B-C-D		1	6	10	60	BAIXO
					Não chega sinal eléctrico ao solenóide da válvula		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C-D	F	2	1	6	12	BAIXO
					Solenóide da válvula danificado		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C-D-E	F	2	1	6	12	BAIXO
					Atuador pneumático danificado	1	1	2	0,77	0,23	1,0	14520	C-D-E	F	1	1	6	6	BAIXO
		Unhas das Cassetes	Suportar as platinas na mudança de pilha	Unhas não actuam para suportar as platinas	Haste do atuador pneumático desapertada da unha	3	5	8	0,40	0,10	0,5	3630	C-D		1	4	10	40	BAIXO
					Sensor de posição das unhas desajustado	18	22	40	0,29	0,20	0,5	726	C-D	F	1	6	4	24	BAIXO
					Sensor de posição das unhas danificado		16	16	0,00	2,00	2,0	1815	C-D-E	F	2	5	4	40	BAIXO
					Cabo do sensor de posição das unhas danificado	3	5	8	1,02	0,98	2,0	3630	C-D-E	F	2	4	5	40	BAIXO
					Cabo do sensor de altura de pilha danificado	1	7	8	0,37	1,63	2,0	3630	C-D-E	F	2	4	0	0	BAIXO
					Unha com prisão mecânica	2	14	16	0,60	0,40	1,0	1815	C-D	A	1	5	2	10	BAIXO
					Fotocélula de limite da altura da casset desajustada	2	6	8	0,42	0,58	1,0	3630	C-D	F	1	4	4	16	BAIXO
	Fotocélula de limite da altura da casset danificada		4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C-D-E	F	2	2	4	16	BAIXO				
	Fotocélula de altura de pilha interrompida por manga de cabos	2	6	8	0,24	0,75	1,0	3630	C	F	1	4	4	16	BAIXO				
	Batentes da Casete	Amortecer e guiar a queda da platina para formar pilha	Batentes não estão na posição de amortecer as platinas	Batentes não amortecem as platinas	Operação de colocar/retirar casset não seleccionada no painel do operador	1	1	2	0,67		0,7	14520	C		1	1	10	10	BAIXO
				Rolamento do fuso de regulação saltou fora do alojamento	1	3	4	0,33	0,66	1,0	7260	C		1	2	10	20	BAIXO	
				Fixação dos fusos de regulação desapertada	1	3	4	0,50	0,00	0,5	7260	C		1	2	10	20	BAIXO	
	Garfos de Elevação	Motor de Elevação dos Garfos	Elevar e descer os garfos para empilhar platinas nas paletes	Motor não movimenta os garfos	Suporte do batente empenado	1	15	16	0,37	11,63	12,0	1814	C	A	7	5	2	70	BAIXO
					Travão do motor não abre	3	1	4	0,67	3,33	4,0	7259	C-E	B-F	3	2	4	24	BAIXO
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado		1	1	0,00	6,00	6,0	29034	A-C-E	A-F	4	1	5	20	BAIXO
					Não chega energia eléctrica ao motor		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	6	18	BAIXO
					Variador em falha		8	8	0,00	1,00	1,0	3630	C	F	1	4	4	16	BAIXO
					Variador danificado		1	1	0,00	8,00	8,0	29032	C-E	F	5	1	4	20	BAIXO
					Motor danificado		1	1	0,00	8,00	8,0	29032	C-E-F	F	5	1	5	25	BAIXO
					Falta de condição da posição dos garfos	1	15	16	0,50	0,00	0,5	1815	C	F	1	5	4	20	BAIXO
					Cabo de sensor de presença de platina danificado	2	2	4	0,54	1,46	2,0	7259	C-E	F	3	2	5	30	BAIXO
					Sensor dos garfos em baixo desajustado	4	4	8	0,56	0,43	1,0	3630	C	F	1	4	4	16	BAIXO
Sensor dos garfos em baixo danificado						2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C-E	F	2	1	4	8	BAIXO	
Sensor de presença de casset desajustado					1	7	8	0,30	0,70	1,0	3630	C	F	1	4	4	16	BAIXO	
Sensor de presença de casset danificado						2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C-E	F	2	1	4	8	BAIXO	

SISTEMA	SUBSISTEMA	ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	Ocorrência			Tempo [h]			MTBF	Conseq.	Controlos	S	O	D	NPR	Matriz de Risco
						Real	Pot.	Total	Real médio	Pot	Total								
Empilhamento	Garfos de Elevação	Motor de Elevação dos Garfos	Elevar e descer os garfos para empilhar platinas nas paletes	Motor não movimentam os garfos	Cabo do sensor da cassette danificado	1	3	4	0,28	1,72	2,0	7259	C-E	F	3	2	5	30	BAIXO
					Fotocélula limite superior desajustada	1	7	8	0,75	0,25	1,0	3630	C	F	1	4	4	16	BAIXO
					Fotocélula limite superior danificada	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C-E	F	2	1	4	8	BAIXO	
					Fotocélula de queda de platina desajustada	3	5	8	0,16	0,83	1,0	3630	C	F	1	4	4	16	BAIXO
					Fotocélula de queda de platina danificada		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C-E	F	2	1	4	8	BAIXO
					Fotocélula de altura de pilha interrompida por manga de cabos da cassette	1	7	8	0,42	0,58	1,0	3630	C	F	1	4	4	16	BAIXO
		Garfos subiram sem a palete estar em posição	Correia dentada da transmissão danificada		1	1	0,00	3,00	3,0	29037	C-E		3	1	10	30	BAIXO		
			Programa bloqueado	1	15	16	0,33	0,16	0,5	1815	C-D		1	5	10	50	BAIXO		
			Sensor de presença de cassette desajustado		8	8	0,00	1,00	1,0	3630	C-D	F	1	4	4	16	BAIXO		
			Sensor de presença de cassette danificado		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C-D-E	F	2	1	4	8	BAIXO		
			Sensor de paragem da descida dos garfos com pilha completa desajustado	1	7	8	2,00	0,00	2,0	3630	C-D	F	2	4	4	32	BAIXO		
			Sensor de paragem da descida dos garfos com pilha completa danificado		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C-D-E	F	2	1	4	8	BAIXO		
			Programa bloqueado		8	8	0,00	1,00	1,0	3630	C-D		1	4	10	40	BAIXO		
			Programa bloqueado	1	7	8	0,37	0,63	1,0	3630	C-D		1	4	10	40	BAIXO		
	Garfos não desceram completamente	Programa bloqueado	1	7	8	0,37	0,63	1,0	3630	C-D		1	4	10	40	BAIXO			
		Programa bloqueado		8	8	0,00	1,00	1,0	3630	C-D		1	4	10	40	BAIXO			
	Mecanismo de Elevação dos Garfos	Transferir movimento do motor para os garfos	Garfos não se movimentam	Porca do fuso danificada		1	1		32,00	24,0	29016	C-E-F		9	1	10	90	ALTO	
				Fuso danificado		1	1		32,00	24,0	29016	C-E-F		9	1	10	90	ALTO	
				Braços cardan partidos		1	1		8,00	8,0	29032	C-E	A	5	1	2	10	BAIXO	
				Rolamentos de apoio lateral danificados		1	1		16,00	16,0	29024	C-E-F		8	1	10	80	MEDIO	
				Programa bloqueado		8	8	0,00	1,00	1,0	3630	C-D		1	4	10	40	BAIXO	
	Mesa de Empilhamento	Motor de Deslocamento da Mesa	Deslocar a mesa no sentido longitudinal	Motor não desloca a mesa	Travão do motor não abre		2	2	0,00	4,00	4,0	14518	C-E	B-F	3	1	4	12	BAIXO
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado		2	2	0,00	8,00	8,0	14516	A-C-E	A-F	5	1	5	25	BAIXO
					Não chega energia elétrica ao motor		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	6	18	BAIXO
					Motor danificado		1	1	0,00	16,00	16,0	29024	C-E-F	F	8	1	5	40	BAIXO
					Falta de condição de posição de início ou final do movimento da mesa	7	33	40	0,32	0,68	1,0	726	C	F	1	6	6	36	BAIXO
					Simultaneidade de sinais de início e fim de movimento	1	31	32	0,83	0,16	1,0	907	C	F	1	6	6	36	BAIXO
					Encoder com folga na fixação	3	1	4	0,64	0,36	1,0	7260	C	F	1	2	7	14	BAIXO
					Encoder danificado		1	1	0,00	4,00	4,0	29036	C-E	F	3	1	7	21	BAIXO
					Acoplamento do encoder danificado		1	1	0,00	4,00	4,0	29036	C-E	F	3	1	7	21	BAIXO
					Variador (movimot) do motor danificado	1	1	2	3,38	2,62	6,0	14517	C-E	F	5	1	4	20	BAIXO
					Sensor de presença de cassette desajustado	1	7	8	0,25	0,25	0,5	3630	C	F	1	4	4	16	BAIXO
Programa bloqueado					20	20	40	0,34	0,65	1,0	726	C		1	6	10	60	BAIXO	
Sensor (fotocélula) de mesa em cima desajustada					2	14	16	0,38	0,12	0,5	1815	C	F	1	5	4	20	BAIXO	
Sensor (fotocélula) de mesa em cima danificada						4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C-E	F	2	2	4	16	BAIXO	
Falta de condição de garfos de empilhamento em cima					1	31	32	0,17	0,83	1,0	907	C	F	1	6	6	36	BAIXO	
Mesa perdeu posição dos zero graus					5	27	32	0,47	0,52	1,0	907	C	F	1	6	6	36	BAIXO	
Sensor de marcha lenta desajustado					1	15	16	0,83	0,16	1,0	1815	C	F	1	5	4	20	BAIXO	

SISTEMA	SUBSISTEMA	ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	Ocorrência			Tempo [h]			MTBF	Conseq.	Controlos	S	O	D	NPR	Matriz de Risco	
						Real	Pot.	Total	Real médio	Pot.	Total									
Empilhamento	Mesa de Empilhamento	Motor de Deslocamento da Mesa	Deslocar a mesa no sentido longitudinal	Motor não desloca a mesa	Sensor de marcha lenta danificado	2	2		2,00	2,0	14519	C-E	F	2	1	4	8	BAIXO		
					Sobrecarga mecânica na operação	16	16	0,00	2,00	2,0	1815	C	F	2	5	4	40	BAIXO		
					Falta de fase no motor		2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	5	15	BAIXO		
				Motor desloca a mesa mas parou fora da posição	Programa bloqueado	4	28	32	0,70	0,30	1,0	907	C		1	6	10	60	BAIXO	
					Fotocélula de posição suja	1	7	8	0,50		0,5	3630	C	F	1	4	4	16	BAIXO	
					Platinas impedem deslocamento no carril	2	14	16	0,25	0,25	0,5	1815	C	A	1	5	2	10	BAIXO	
					Falta de condição de posição dos garfos	1	15	16	0,50	0,50	1,0	1815	C	F	1	5	6	30	BAIXO	
				Motor desloca a mesa mas parou fora da posição	Falta de condição de posição do giro da mesa	1	15	16	0,33	0,66	1,0	1815	C	F	1	5	6	30	BAIXO	
		Motor desloca a mesa antes do empilhamento estar completo (no final da primeira pilha e antes da segunda)	Programa bloqueado		4	36	40	0,29	0,71	1,0	726	C		1	6	10	60	BAIXO		
		Motor parou a mesa para a paleta sair mas voltou com paleta para posição de empilhamento	Programa bloqueado		4	36	40	0,88	0,12	1,0	726	C		1	6	10	60	BAIXO		
		Motor desloca a mesa para posição de empilhamento sem paleta	Programa bloqueado		5	35	40	0,53	0,47	1,0	726	C		1	6	10	60	BAIXO		
		Motor de Rotação da Mesa	Rodar a mesa para diferentes tipos de empilhamento	Motor não desloca a mesa no final da primeira pilha (para fazer mais que uma pilha)	Programa bloqueado	1	39	40	0,50	0,50	1,0	726	C		1	6	10	60	BAIXO	
					Motor inicia movimento da mesa mas para logo de seguida não havendo deslocamento real	Programa bloqueado	1	39	40	1,00		1,0	726	C		1	6	10	60	BAIXO
						Motor não roda a mesa	Travão do motor não abre	2	2	0,00	4,00	4,0	14518	C-E	B-F	3	1	4	12	BAIXO
							Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado	2	2	0,00	8,00	8,0	14516	A-C-E	F	5	1	5	25	BAIXO
		Não chega energia elétrica ao motor	2	2			0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	6	18	BAIXO			
	Arrancador ou ponte rectificadora com defeito	2	2	0,00	2,00		2,0	14519	C-E	F	2	1	4	8	BAIXO					
	Motor danificado	1	1	0,00	12,00		12,0	29028	C-E	F	7	1	5	35	BAIXO					
	Programa bloqueado	5	11	16	0,32		0,18	0,5	1815	C		1	5	10	50	BAIXO				
	Falta de condição da posição de início ou final de rotação da mesa	3	5	8	0,44		0,55	1,0	3630	C	F	1	4	6	24	BAIXO				
	Falha de posicionamento da cassette ou da paleta	1	7	8	0,25		0,25	0,5	3630	C	F	1	4	4	16	BAIXO				
	Falta de condição dos cilindros de travamento da mesa	1	7	8	0,25		0,75	1,0	3630	C	F	1	4	6	24	BAIXO				
	Cabo do sensor de mesa travada danificado	2	2	4	0,67		1,33	2,0	7260	C-E	F	2	2	5	20	BAIXO				
	Sensor de mesa travada desajustado	3	13	16	0,83		0,16	1,0	1815	C	F	1	5	4	20	BAIXO				
	Sensor de mesa travada danificado	2	2	0,00	2,00		2,0	14519	C-E	F	2	1	4	8	BAIXO					
	Cilindros de travamento da mesa não recuaram	1	7	8	0,33		0,16	0,5	3630	C	F	1	4	6	24	BAIXO				
	Posição de rotação da mesa mal seleccionada	2	2	4	0,50		0,00	0,5	7260	C		1	2	10	20	BAIXO				
	Sobrecarga mecânica na operação	8	8	0,00	2,00		2,0	3630	C	F	2	4	4	32	BAIXO					
	Falta de fase no motor	2	2	0,00	3,00		3,0	14519	C	F	3	1	5	15	BAIXO					
	Motor rodou a mesa demasiado	Sensor de posição zero desajustado	2	14	16	0,17	0,83	1,0	1815	C	F	1	5	4	20	BAIXO				
		Sensor de posição zero danificado	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C-E	F	2	1	4	8	BAIXO					
		Sensor dos 90° desajustado	1	15	16	0,33	0,66	1,0	1815	C	F	1	5	4	20	BAIXO				
Sensor dos 90° danificado		4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C-E	F	2	2	4	16	BAIXO						

SISTEMA	SUBSISTEMA	ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	Ocorrência			Tempo [h]			MTBF	Conseq.	Controlos	S	O	D	NPR	Matriz de Risco
						Real	Pot.	Total	Real médio	Pot	Total								
Empilhamento	Mesa de Empilhamento	Atuadores Hidráulicos de Elevação da Mesa	Elevar e descer a estrutura de elevação da mesa para empilhamento das platinas	Atuador não se movimenta	Não chega pressão do bloco hidráulico		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	C	3	1	4	12	BAIXO
					Fuga nas ligações e acessórios		2	2	0,00	4,00	4,0	14518	A-B-C		3	1	10	30	BAIXO
					Sentido do fluxo do óleo incorrecto		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C		2	1	10	20	BAIXO
					Pressão hidráulica insuficiente		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C	C	2	1	4	8	BAIXO
				Atuador sobe mas perde posição	Fuga interna do atuador	2	8	10	0,33	6,00	6,3	2903	C-E		5	4	10	200	MEDIO
					Fuga nas ligações e acessórios		2	2	0,00	4,00	4,0	14518	A-B-C		3	1	10	30	BAIXO
		Estrutura de Elevação da Mesa	Colocar e retirar as cassetes e as paletes em posição de empilhar	Mesa não sobe	Falta de condição da posição dos batentes de empilhamento	2	14	16	0,30	0,20	0,5	1815	C	F	1	5	5	25	BAIXO
					Sensor (fotocélula) de presença de mesa em cima desalinhado	2	6	8	0,53	0,47	1,0	3630	C	F	1	4	4	16	BAIXO
					Sensor (fotocélula) de presença de mesa em cima danificado		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C-E	F	2	1	4	8	BAIXO
					Falta de condição da posição da mesa	7	41	48	0,46	0,53	1,0	605	C	F	1	7	5	35	BAIXO
					Simultaneidade de sinais em cima e em baixo da mesa	3	21	24	0,36	0,13	0,5	1210	C	F	1	6	4	24	BAIXO
					Programa bloqueado	3	21	24	0,36	0,63	1,0	1210	C		1	6	10	60	BAIXO
					Cabo do sensor dos batentes de encosto das paletes da mesa danificado	1	3	4	0,75	1,24	2,0	7260	C-E	F	2	2	5	20	BAIXO
					Sensor dos batentes de encosto das paletes desajustado	1	15	16	0,52	0,48	1,0	1815	C	F	1	5	4	20	BAIXO
					Sensor dos batentes de encosto das paletes danificado		8	8	0,00	2,00	2,0	3630	C-E	F	2	4	4	32	BAIXO
					Atuadores hidráulicos não atuam	1	7	8	0,83	0,16	1,0	3630	C	A	1	4	2	8	BAIXO
					Fixação do sensor de mesa em cima danificada	1	3	4	0,23	1,76	2,0	7260	C	F	2	2	4	16	BAIXO
					Sensor de limite de mesa em cima desajustado	1	15	16	0,38	0,61	1,0	1815	C	F	1	5	4	20	BAIXO
					Sensor de limite de mesa em cima danificado		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C-E	F	2	1	4	8	BAIXO
					Cabo do sensor de limite de mesa em cima danificado	1	1	2	0,72	1,27	2,0	14519	C-E	F	2	1	5	10	BAIXO
					Sensor de limite de mesa em baixo desajustado	1	15	16	0,83	0,16	1,0	1815	C	F	1	5	4	20	BAIXO
				Sensor de limite de mesa em baixo danificado		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C-E	F	2	1	4	8	BAIXO	
				Mesa sobe demasiado	Sensor (fotocélula) de paragem desajustado	1	15	16	0,60	0,39	1,0	1815	C	F	1	5	4	20	BAIXO
					Sensor (fotocélula) de paragem danificado		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C-E	F	2	1	4	8	BAIXO
					Sensor (fotocélula) interrompido por platina no fosso	1	7	8	0,50	0,00	0,5	3630	C	F	1	4	4	16	BAIXO
				Mesa não desce completamente	Sensor (fotocélula) de paragem de mesa em baixo desajustado		16	16	0,00	1,00	1,0	1815	C	F	1	5	4	20	BAIXO
					Sensor (fotocélula) de paragem de mesa em baixo danificado		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C-E	F	2	1	4	8	BAIXO
		Sinal de pilha completa feito por queda incorrecta de platina	2		6	8	0,52	0,47	1,0	3630	C		1	4	10	40	BAIXO		
		Mesa desce sem pilha estar completa																	
		Atuadores Hidráulicos de Travamento da Mesa	Centrar e imobilizar a mesa após a rotação	Atuadores não se movimentam	Não chega pressão ao atuador hidráulico		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	C	3	1	4	12	BAIXO
					Fuga nas ligações e acessórios	1	2	3	1,50	2,50	4,0	9679	A-B-C		3	1	10	30	BAIXO
					Sentido do fluxo do óleo incorrecto		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C		2	1	10	20	BAIXO
					Pressão hidráulica insuficiente		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C	C	2	1	4	8	BAIXO
Atuadores avançam mas não imobilizam a mesa	Fuga interna do atuador				1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-E		4	1	10	40	BAIXO		
	Fuga nas ligações e acessórios			1	1	2	2,00	2,00	4,0	14518	A-B-C		3	1	10	30	BAIXO		

SISTEMA	SUBSISTEMA	ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	Ocorrência			Tempo [h]			MTBF	Conseq.	Controlos	S	O	D	NPR	Matriz de Risco
						Real	Pot.	Total	Real médio	Pot	Total								
Empilhamento	Mesa de Empilhamento	Motorreductor dos Batentes de Encosto das Paletes	Deslocar os batentes para encosto e centragem das paletes na mesa	Motorreductor não desloca os batentes	Sobrecarga mecânica na operação	1	7	8	0,67	1,33	2,0	3630	C	F	2	4	4	32	BAIXO
					Falta de condição da posição dos batentes	1	31	32	0,55	0,44	1,0	907	C	F	1	6	5	30	BAIXO
					Travão do motor não abre	2	2	0,00	4,00	4,0	14518	C-E	F	3	1	4	12	BAIXO	
					Arrancador ou ponte rectificadora com defeito	3	3	3,00	9680	C	1	1	10	10	BAIXO				
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado	1	1	0,00	4,00	4,0	29036	A-C-E	A-F	3	1	5	15	BAIXO	
					Falta de fase no motor	2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	5	15	BAIXO	
					Não chega energia eléctrica ao motor	2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	6	18	BAIXO	
		Motorreductor danificado	1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-E	F	4	1	5	20	BAIXO				
		Motorreductor movimenta os batentes durante a saída da paleta	Programa bloqueado	1	31	32	0,55	0,44	1,0	907	C	1	6	10	60	BAIXO			
		Motorreductor das Correntes de Transporte da Mesa	Movimentar as correntes de transporte da mesa de empilhamento	Motorreductor não movimenta as correntes	Travão do motor não abre	2	2	0,00	4,00	4,0	14518	C-E	B-F	3	1	4	12	BAIXO	
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado	1	1	0,00	8,00	8,0	29032	A-C-E	A-F	5	1	5	25	BAIXO	
					Não chega energia eléctrica ao motor	2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	6	18	BAIXO	
					Arrancador ou ponte rectificadora com defeito	3	3	0,00	3,00	0,0	9680	C	1	1	10	10	BAIXO		
					Motorreductor danificado	1	1	0,00	8,00	8,0	29032	C-E	F	5	1	5	25	BAIXO	
	Cabo de sinais dos sensores em curto-circuito ou danificado				1	3	4	3,58	0,41	4,0	7259	A-C-E	F	3	2	5	30	BAIXO	
	Programa bloqueado				2	22	24	0,42	0,58	1,0	1210	C	1	6	10	60	BAIXO		
	Sensor de presença de paleta desajustado				1	7	8	1,00	0,00	1,0	3630	C	F	1	4	4	16	BAIXO	
	Sensor de presença de paleta danificado				4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C-E	F	2	2	4	16	BAIXO		
	Sobrecarga mecânica na operação				4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C	F	2	2	4	16	BAIXO		
	Falta de fase no motor	2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	5	15	BAIXO					
	Correntes de Transporte da Mesa do Empilhamento	Suportar e transportar as paletes e cassetes na mesa	Corrente não transporta as paletes	Pinos partidos	1	1	0,00	3,00	3,0	29037	C-E	3	1	10	30	BAIXO			
				Elo de ligação partido	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C-E	2	1	10	20	BAIXO			
				Roda dentada partida	1	1	0,00	8,00	8,0	29032	C-E	5	1	10	50	BAIXO			
		Corrente com movimento desordenado (solavanco)	Tensionamento incorrecto	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C	2	1	10	20	BAIXO				
			Sobrecarga mecânica na operação	8	8	0,00	2,00	2,0	3630	C	2	4	10	80	MEDIO				
			Presença de sujidades e detritos	8	8	0,00	1,00	1,0	3630	C	1	4	10	40	BAIXO				
			Ausência de lubrificação	8	8	0,00	1,00	1,0	3630	C	1	4	10	40	BAIXO				
	Torre de Paletes	Atuador Hidráulico da Mesa da Torre de Paletes	Elevar e baixar a mesa para colocar paletes no transportador	Atuador não se movimenta	Não chega pressão do bloco hidráulico	2	2	0,00	3,00	3,0	14519	A-C	C	3	1	4	12	BAIXO	
					Fuga nas ligações e acessórios	2	2	0,00	4,00	4,0	14518	A-B-C	3	1	10	30	BAIXO		
					Sentido do fluxo de óleo incorrecto	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	A-C	2	1	10	20	BAIXO		
					Pressão hidráulica insuficiente	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	A-C	C	2	1	4	8	BAIXO	
		Atuador sobe mas perde posição	Fuga interna do atuador	1	1	0,00	20,00	24,0	29016	A-C-E-F	9	1	10	90	ALTO				
			Fuga nas ligações e acessórios	2	2	0,00	4,00	4,0	14518	A-B-C	3	1	10	30	BAIXO				
Mesa da Torre de Paletes	Alimentar o transportador de paletes para o empilhamento	Mesa não se movimenta	Sensor (fotocélula) de posição da paleta desajustado	7	17	24	0,30	0,69	1,0	1210	A-C	A-F	1	6	4	24	BAIXO		
			Sensor (fotocélula) de posição da paleta danificada	5	19	24	0,36	1,60	2,0	1210	A-C-E	F	2	6	4	48	BAIXO		
			Mecanismo de indicação da posição da mesa com mola pasmada	1	3	4	0,25	2,70	3,0	7259	A-C-E	3	2	10	60	BAIXO			
			Sensor do mecanismo de indicação de posição da mesa desajustado	1	7	8	0,17	0,80	1,0	3630	A-C	F	1	4	4	16	BAIXO		

SISTEMA	SUBSISTEMA	ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	Ocorrência			Tempo [h]			MTBF	Conseq.	Controlos	S	O	D	NPR	Matriz de Risco	
						Real	Pot.	Total	Real médio	Pot	Total									
Empilhamento	Torre de Paletes	Mesa da Torre de Paletes	Alimentar o transportador de paletes para o empilhamento	Mesa não se movimenta	Sensor do mecanismo de indicação de posição da mesa danificado		4	4	0,00	2,00	2,0	7260	A-C-E	F	2	2	4	16	BAIXO	
					Falta de condição da posição da mesa	1	39	40	0,33	0,66	1,0	726	A-C	F	1	6	6	36	BAIXO	
					Corrente do mecanismo de indicação de posição da mesa com elo partido	1	3	4	0,42	1,57	2,0	7260	A-C-E		2	2	10	40	BAIXO	
					Corrente do mecanismo de indicação de posição da mesa com prisão mecânica	3	5	8	0,50	0,50	1,0	3630	A-C		1	4	10	40	BAIXO	
					Corrente do mecanismo de indicação de posição da mesa saltou do carreto	1	3	4	0,13	0,90	1,0	7260	A-C		2	2	10	40	BAIXO	
					Modo automatico desligado durante o processo	1	3	4	0,17	0,33	0,5	7260	A-C		1	2	10	20	BAIXO	
		Atuador Hidráulico das Unhas da Torre	Avançar e recolher as unhas da torre de paletes	Atuador não movimenta as unhas	Não chega pressão do bloco hidráulico		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	A-C	C	3	1	4	12	BAIXO	
					Fuga nas ligações e acessórios	1	2	3	1,00	4,00	5,0	9678	A-B-C		4	1	10	40	BAIXO	
					Sentido do fluxo de óleo incorrecto		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	A-C		2	1	10	20	BAIXO	
					Pressão hidráulica insuficiente		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	A-C	C	2	1	4	8	BAIXO	
		Unhas da Torre de Paletes	Suportar as paletes na torre enquanto a mesa alimenta o transportador com paletes	Unhas não se movimentam	Rótula do atuador saltou fora	1	1	2	0,50	0,50	1,0	14520	A-C	A	1	1	2	2	BAIXO	
					Sensor de posição das unhas desajustado	5	19	24	0,25	0,74	1,0	1210	A-C	F	1	6	4	24	BAIXO	
	Sensor de posição das unhas danificado					4	4	0,00	2,00	2,0	7260	A-C-E	F	2	2	4	16	BAIXO		
	Unhas com prisão mecânica				5	11	16	0,21	0,29	0,5	1815	A-C		1	5	10	50	BAIXO		
	Transportador de Entrada de Paletes	Motorreductor de Movimento do Transportador	Motorreductor não movimenta as correntes	Movimentar as correntes de transporte de paletes.	Unhas movimentaram-se enquanto suportavam as paletes	Programa bloqueado	1	3	4	7,00	0,00	7,0	7258	A-C		5	2	10	100	MEDIO
					Travão do Motorreductor não abre		2	2	0,00	4,00	4,0	14518	C-E	F	3	1	4	12	BAIXO	
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado		1	1	0,00	4,00	4,0	29036	A-C-E	F	3	1	5	15	BAIXO	
					Não chega energia elétrica ao motor		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	6	18	BAIXO	
					Arranador ou ponte rectificadora com defeito		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C-E	F	2	1	4	8	BAIXO	
					Motorreductor danificado		1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-E	F	4	1	5	20	BAIXO	
					Sensor (fotocélula) de deteção de paletes desajustado	1	31	32	0,33	0,66	1,0	907	C	F	1	6	4	24	BAIXO	
					Sensor (fotocélula) de deteção de paletes danificado	2	6	8	0,29	1,69	2,0	3630	C-E	F	2	4	4	32	BAIXO	
					Programa bloqueado	2	30	32	0,23	0,76	1,0	907	C		1	6	10	60	BAIXO	
					Travão do Motorreductor desafinado	4	4	8	0,55	0,45	1,0	3630	C	F	1	4	4	16	BAIXO	
					Cabo do sensor do encosto das paletes danificado	1	3	4	1,33	0,66	2,0	7260	C-E	F	2	2	5	20	BAIXO	
					Corrente de transmissão do Motorreductor partida	1	1	2	1,00	2,00	3,0	14519	C-E		3	1	10	30	BAIXO	
			Sobrecarga mecânica na operação		16	16	0,00	2,00	2,0	1815	C	F	2	5	4	40	BAIXO			
			Falta de fase no motor		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	5	15	BAIXO			
			Motorreductor não para quando palete encosta nos batentes	Sensor de paragem dos encostos da paleta desajustado	1	15	16	0,08	0,91	1,0	1815	C	F	1	5	4	20	BAIXO		
				Sensor de paragem dos encostos da paleta danificado		8	8	0,00	2,00	2,0	3630	C-E	F	2	4	4	32	BAIXO		
				Sensor de paragem dos encostos da paleta fora da corrente	1	8	9	0,22	1,26	1,5	3227	C	F	2	4	4	32	BAIXO		
			Motorreductor não para na posição correcta	Paleta fora de especificação	3	5	8	0,51	0,49	1,0	3630	C		1	4	10	40	BAIXO		
				Falta condição da posição da estação de elevação	1	31	32	0,33	0,66	1,0	907	C	F	1	6	6	36	BAIXO		

SISTEMA	SUBSISTEMA	ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	Ocorrência			Tempo [h]			MTBF	Conseq.	Controlos	S	O	D	NPR	Matriz de Risco
						Real	Pot.	Total	Real médio	Pot	Total								
Empilhamento	Transportador de Entrada de Paletes	Corrente de Transporte do Transportador	Suportar e transportar as paletes ao longo do transportador	Corrente não transporta as paletes	Pinos partidos		1	1	0,00	4,00	4,0	29036	C-D		3	1	10	30	BAIXO
					Elo de ligação partido		1	1	0,00	4,00	4,0	29036	C-D-E		3	1	10	30	BAIXO
					Roda dentada partida		1	1	0,00	12,00	12,0	29028	C-D-E		7	1	10	70	BAIXO
					Corrente presa		2	2	0,00	4,00	4,0	14518	C		3	1	10	30	BAIXO
				Corrente com movimento desordenado (solavanco)	Tensionamento incorrecto		8	8	0,00	2,00	2,0	3630	C-D		2	4	10	80	MEDIO
					Sobrecarga mecânica na operação		8	8	0,00	1,00	1,0	3630	C-D		1	4	10	40	BAIXO
					Presença de sujidades e detritos		8	8	0,00	1,00	1,0	3630	C-D		1	4	10	40	BAIXO
		Atuador Hidráulico da Estação de Elevação do Transportador	Elevar estação de elevação do transportador	Atuador não se movimenta	Não chega pressão do bloco hidráulico		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	C	3	1	4	12	BAIXO
					Fuga nas ligações e acessórios	2	0	2	8,80	5,20	14,0	14513	A-B-C-F		8	1	10	80	MEDIO
					Sentido do fluxo de óleo incorrecto		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C		2	1	10	20	BAIXO
					Pressão hidráulica insuficiente		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C	C	2	1	4	8	BAIXO
				Atuador sobe mas perde posição	Fuga interna do atuador		1	1	0,00	14,00	14,0	29026	C-F		8	1	10	80	MEDIO
					Fuga nas ligações e acessórios		1	1	0,00	14,00	14,0	29026	A-B-C-F		8	1	10	80	MEDIO
		Motorreductor de Movimento Transversal da Estação de Elevação do Transportador	Movimentar as correntes de transporte da estação de elevação	Motorreductor não movimenta as correntes	Travão do Motorreductor não abre		2	2	0,00	4,00	4,0	14518	C-E	B-F	3	1	4	12	BAIXO
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado		1	1	0,00	6,00	6,0	29034	A-C-E	A-F	4	1	5	20	BAIXO
					Não chega energia elétrica ao Motorreductor		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	6	18	BAIXO
					Arrancador ou ponte rectificadora com defeito		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C-E	F	2	1	4	8	BAIXO
					Motorreductor danificado		1	1	0,00	8,00	8,0	29032	C-E	F	5	1	5	25	BAIXO
					Sensor de marcha lenta desajustado	1	7	8	0,25	0,75	1,0	3630	C	F	1	4	4	16	BAIXO
					Sensor de marcha lenta danificado		16	16	0,00	2,00	2,0	1815	C-E	F	2	5	4	40	BAIXO
					Sensor presença de paletes desajustado	1	7	8	0,33	0,66	1,0	3630	C	F	1	4	4	16	BAIXO
					Sensor presença de paletes danificado		16	16	0,00	2,00	2,0	1815	C-E	F	2	5	4	40	BAIXO
					Falta de condição da posição da mesa do empilhamento	2	38	40	0,29	0,70	1,0	726	C	F	1	6	6	36	BAIXO
					Sensor dos encostos da paletes desajustado	1	15	16	0,50	0,50	1,0	1815	C	F	1	5	4	20	BAIXO
					Sensor dos encostos da paletes danificado		16	16	0,00	3,00	3,0	1815	C-E	F	3	5	4	60	BAIXO
					Sobrecarga mecânica na operação		16	16	0,00	2,00	2,0	1815	C	F	2	5	4	40	BAIXO
		Falta de fase no Motorreductor		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	5	15	BAIXO			
		Correntes de Transporte da Estação de Elevação	Suportar e transportar as paletes para entrar no empilhamento	Corrente não transporta as paletes	Pinos partidos		1	1	0,00	2,00	2,0	29038	C-E		2	1	10	20	BAIXO
					Elo de ligação partido		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C-E		2	1	10	20	BAIXO
					Roda dentada partida		1	1	0,00	8,00	8,0	29032	C-E		5	1	10	50	BAIXO
					Corrente presa		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C		2	1	10	20	BAIXO
				Corrente com movimento desordenado (solavanco)	Tensionamento incorrecto		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C		3	1	10	30	BAIXO
Sobrecarga mecânica na operação					8	8	0,00	2,00	2,0	3630	C		2	4	10	80	MEDIO		
Presença de sujidades e detritos					8	8	0,00	1,00	1,0	3630	C		1	4	10	40	BAIXO		
Ausência de lubrificação		8	8	0,00	1,00	1,0	3630	C		1	4	10	40	BAIXO					

SISTEMA	SUBSISTEMA	ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	Ocorrência			Tempo [h]			MTBF	Conseq.	Controlos	S	O	D	NPR	Matriz de Risco
						Real	Pot.	Total	Real médio	Pot	Total								
Empilhamento	Transportador de Entrada de Paletes	Motorreductor dos Batentes de Encosto	Movimentar os batentes de encosto para centrar as paletes antes de entrar no empilhamento	Motorreductor não movimenta os batentes	Travão do Motorreductor não abre	2	2	0,00	4,00	4,0	14518	C-E	B-F	3	1	4	12	BAIXO	
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado	1	1	0,00	6,00	6,0	29034	A-C-E	F	4	1	5	20	BAIXO	
					Não chega energia elétrica ao motor	2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	6	18	BAIXO	
					Arrancador ou ponte rectificadora com defeito	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C-E	F	2	1	4	8	BAIXO	
					Motorreductor danificado	1	1	0,00	4,00	4,0	29036	C-E	F	3	1	5	15	BAIXO	
					Cabo do sensor dos batentes danificado	1	7	8	1,83	1,20	3,0	3630	C-E	F	3	4	5	60	BAIXO
					Sensor de paragem em repouso desajustado	1	7	8	0,33	0,66	1,0	3630	C	F	1	4	4	16	BAIXO
					Sensor de paragem em repouso danificado	1	7	8	0,50	1,50	2,0	3630	C-E	F	2	4	4	32	BAIXO
					Sensor de posição intermédia desajustado	1	7	8	0,25	0,75	1,0	3630	C	F	1	4	4	16	BAIXO
					Sensor de posição intermédia danificado	8	8	0,00	2,00	2,0	3630	C-E	F	2	4	4	32	BAIXO	
					Estrutura dos batentes partida	1	3	4	0,50	0,50	1,0	7260	C	A	1	2	2	4	BAIXO
					Sensor de presença de paleta desajustado	1	23	24	0,17	0,83	1,0	1210	C	F	1	6	4	24	BAIXO
					Sensor de presença de paleta danificado	1	7	8	0,88	1,11	2,0	3630	C-E	F	2	4	4	32	BAIXO
					Sobrecarga mecânica na operação	8	8	0,00	2,00	2,0	3630	C	F	2	4	4	32	BAIXO	
	Falta de fase no motor	2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	5	15	BAIXO					
	Corrente de Tração dos Batentes de Encosto	Deslocar os batentes de encosto para centrar as paletes	Corrente não desloca os batentes	Pinos partidos	1	3	4	0,35	1,65	2,0	7260	C-E	A	2	2	2	8	BAIXO	
				Elo de ligação partido	3	13	16	1,61	0,38	2,0	1815	C-E	A	2	5	2	20	BAIXO	
				Roda dentada partida	1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C		4	1	10	40	BAIXO		
				Corrente presa	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C		2	1	10	20	BAIXO		
			Corrente com movimento desordenado (solavanco)	Tensionamento incorrecto	2	2	0,00	1,00	1,0	14520	C		1	1	10	10	BAIXO		
				Sobrecarga mecânica na operação	2	2	0,00	1,00	1,0	14520	C		1	1	10	10	BAIXO		
				Presença de sujidade e detritos	4	4	0,00	1,00	1,0	7260	C	A	1	2	2	4	BAIXO		
				Ausência de lubrificação	4	4	0,00	1,00	1,0	7260	C		1	2	10	20	BAIXO		
	Transportador de Saída de Paletes	Motorreductor do Transportador de Saída	Movimentar as correntes de transporte	Motorreductor não se movimenta	Travão do Motorreductor não abre	2	2	0,00	4,00	4,0	14518	C-E	B-F	3	1	4	12	BAIXO	
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado	1	1	0,00	4,00	4,0	29036	A-C-E	A-F	3	1	5	15	BAIXO	
					Não chega energia elétrica ao Motorreductor	2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	6	18	BAIXO	
					Motorreductor danificado	1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-E-F	F	4	1	5	20	BAIXO	
					Variador em falha	1	1	2	0,17	1,00	1,2	14519			2	1	10	20	BAIXO
					Sensor de deteção de paletes desajustado	1	7	8	0,50	0,50	1,0	3630	C	F	1	4	4	16	BAIXO
					Sensor de deteção de paletes danificado	4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C-E	F	2	2	4	16	BAIXO	
					Sobrecarga mecânica na operação	1	3	4	0,83	1,16	2,0	7260	C	F	2	2	4	16	BAIXO
					Programa bloqueado	1	15	16	0,67	0,36	1,0	1815	C		2	5	10	100	MEDIO
					Travão do Motorreductor desajustado	4	4	0,00	1,00	1,0	7260	C	F	1	2	4	8	BAIXO	
					Falta de condição da posição da mesa do empilhamento	2	14	16	0,50	1,50	2,0	1815	C	F	2	5	6	60	BAIXO
					Chumaceira da corrente danificada por embate de empilhador	2	6	8	2,25	0,74	3,0	3630	C-E	A	3	4	2	24	BAIXO
					Falta de fase no Motorreductor	2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	5	15	BAIXO	
					Motorreductor não para a paleta na posição correcta	Sensor de paragem das paletes desajustado	8	8	0,00	1,00	1,0	3630	C	F	1	4	4	16	BAIXO
						Sensor de paragem das paletes danificado	4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C-E	F	2	2	4	16	BAIXO
						Falta de condição da posição da mesa do empilhamento	2	6	8	0,25	1,74	2,0	3630	C		2	4	10	80

SISTEMA	SUBSISTEMA	ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	Ocorrência			Tempo [h]			MTBF	Conseq.	Controlos	S	O	D	NPR	Matriz de Risco	
						Real	Pot.	Total	Real médio	Pot	Total									
Empilhamento	Transportador de Saída de Paletes	Corrente de Transporte	Suportar e transportar as paletes com as platinas para fora do empilhamento	Corrente não transporta as paletes	Pinos partidos		1	1	0,00	3,00	3,0	29037	C-E		3	1	10	30	BAIXO	
					Elo de ligação partido	1	1	0,67	1,32	2,0	14519	C-E		2	1	10	20	BAIXO		
					Roda dentada partida		1	1	0,00	8,00	8,0	29032	C-E		5	1	10	50	BAIXO	
					Corrente presa nas protecções laterais	3	5	1,28	0,72	2,0	3630	C		2	4	10	80	MEDIO		
				Corrente com movimento desordenado (solavanco)	Tensionamento incorrecto		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C		2	1	10	20	BAIXO	
					Sobrecarga mecânica na operação		4	4	0,00	1,00	1,0	7260	C		1	2	10	20	BAIXO	
					Presença de sujidades e detritos		4	4	0,00	1,00	1,0	7260	C		1	2	10	20	BAIXO	
					Ausência de lubrificação		4	4	0,00	1,00	1,0	7260	C		1	2	10	20	BAIXO	
					Motor não funciona	Travão do motor não abre		1	1	0,00	4,00	4,0	29036	C-E	B-F	3	1	4	12	BAIXO
						Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado		1	1	0,00	4,00	4,0	29036	A-C-E	A-F	3	1	5	15	BAIXO
	Não chega energia elétrica ao motor		2	2		0,00	3,00	3,0	14519	C	F	3	1	6	18	BAIXO				
	Arrancador ou ponte rectificadora com defeito		2	2		0,00	2,00	2,0	14519	C-E	F	2	1	4	8	BAIXO				
	Motor danificado		1	1		0,00	6,00	6,0	29034	C-E-F	F	4	1	5	20	BAIXO				
	Nível mínimo de óleo no agregado	2	6	8		0,48	0,52	1,0	3630	C	C-F	1	4	2	8	BAIXO				
	Sobrecarga (disjuntor disparado)	8	8	16		0,21	0,78	1,0	1815	C	F	1	5	4	20	BAIXO				
	Falta de fase no motor		2	2			3,00	3,0	14519	C	F	3	1	5	15	BAIXO				
	Bomba não fornece óleo com a pressão exigida	Acoplamento motor-bomba danificado		2		2	0,00	6,00	6,0	14517	C-E-F	F	4	1	6	24	BAIXO			
		Bomba gira na rotação inversa		1		1	0,00	2,00	2,0	29038	C	F	2	1	10	20	BAIXO			
		Bomba presa		1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-E-F	F	4	1	4	16	BAIXO				
		Corpo da bomba fissurado		1	1	0,00	6,00	6,0	29034	B-C-E-F	A	4	1	2	8	BAIXO				
		Passagem interna nas engrenagens da bomba		1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C-E-F		4	1	10	40	BAIXO				
		Válvula de segurança mal regulada		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	C		2	1	10	20	BAIXO				
		Válvula de segurança bloqueada na posição aberta		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C-E		3	1	10	30	BAIXO				
		Temperatura excessiva	Não circula óleo dentro das tubagens do permutador		1	1	0,00	4,00	4,0	29036	C		3	1	10	30	BAIXO			
	Motor do ventilador não funciona			1	1	0,00	4,00	4,0	29036	C-E	F	3	1	5	15	BAIXO				
	Turbina do ventilador desacoplada do motor			1	1	0,00	3,00	3,0	29037	C	F	3	1	5	15	BAIXO				
	Turbina danificada ou partida			1	1	0,00	3,00	3,0	29037	C-E	F	3	1	5	15	BAIXO				
	Permutador com sujidade			1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C	A	4	1	3	12	BAIXO				
	Tubos do permutador obstruídos			1	1	0,00	6,00	6,0	29034	C		4	1	10	40	BAIXO				
	Nível de óleo demasiado baixo			16	16	0,00	1,00	1,0	1815	C	C	1	5	1	5	BAIXO				
	Filtro colmatado		Impurezas no fluido hidráulico	1	7	8	0,33	1,16	1,5	3630	C-E	A-F	2	4	1	8	BAIXO			
		Ficha do sensor de filtro colmatado danificada	1	1	2	0,42	1,57	2,0	14519	C-E	F	2	1	1	2	BAIXO				
	Portas de Segurança	Motor de Elevação da Porta Entrada Empilhamento 1	Abrir e fechar porta de entrada empilhamento 1	Motor não movimenta a porta	Travão do motor não abre		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C-E	B-F	3	1	4	12	BAIXO	
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado		1	1	0,00	4,00	4,0	29036	A-C-E	F	3	1	5	15	BAIXO	
Não chega energia elétrica ao motor					1	3	4	0,00	3,00	3,0	7259	C	F	3	2	6	36	BAIXO		
Arrancador ou ponte rectificadora com defeito						1	1	0,00	2,00	2,0	29038	C-E	F	2	1	4	8	BAIXO		
Motor danificado						1	1	0,00	4,00	4,0	29036	C-E	F	3	1	5	15	BAIXO		
Programa bloqueado					1	23	24	0,33	0,66	1,0	1210	C		1	6	10	60	BAIXO		
Sensor de segurança de percurso danificado						1	1	0,00	2,00	2,0	29038	C-E	F	2	1	4	8	BAIXO		
Falta de condição de presença de paleta no transportador						8	8	0,00	2,00	2,0	3630	C	F	2	4	6	48	BAIXO		
Sobrecarga mecânica na operação						8	8	0,00	1,00	1,0	3630	C	F	1	4	4	16	BAIXO		

SISTEMA	SUBSISTEMA	ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	Ocorrência			Tempo [h]			MTBF	Conseq.	Controlos	S	O	D	NPR	Matriz de Risco	
						Real	Pot.	Total	Real médio	Pot	Total									
Empilhamento	Portas de Segurança	Porta de Entrada do Empilhamento 1	Proteger e insonorizar zona do empilhamento	Porta não tem sinal da posição	Sensores do enrolador desajustados	1	7	8	0,25	2,75	3,0	3630	C	F	3	4	4	48	BAIXO	
					Sensor de porta fechada danificado		8	8	0,00	3,00	3,0	3630	C	F	3	4	4	48	BAIXO	
				Motor funciona mas porta não se movimenta	Cabos de suspensão da porta fora do tambor	1	7	8	0,33	1,66	2,0	3630	A-C		2	4	10	80	MEDIO	
					Cabos de suspensão da porta partidos		2	2	0,00	6,00	6,0	14517	A-C-E		4	1	10	40	BAIXO	
					Prisão mecânica nas guias da porta		2	2	0,00	1,00	2,0	14519	A-C		2	1	10	20	BAIXO	
					Caixa de transmissão do enrolador danificada		1	1	0,00	8,00	8,0	29032	A-C-E		5	1	10	50	BAIXO	
					Prisão mecânica na estrutura da máquina		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	A-C		2	1	10	20	BAIXO	
					Sensor de porta fechada danificado		8	8	0,00	3,00	3,0	3630	C-E	F	3	4	4	48	BAIXO	
				Porta desce para além da posição	Sensores do enrolador desajustados		8	8	0,00	3,00	3,0	3630	C	F	3	4	4	48	BAIXO	
					Sensores do enrolador desajustados		8	8	0,00	3,00	3,0	3630	C	F	3	4	4	48	BAIXO	
		Motor de Elevação da Porta Saída Empilhamento 1	Abrir e fechar porta de saída empilhamento 1	Motor não movimenta a porta	Travão do motor não abre		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C-E	B-F	3	1	4	12	BAIXO	
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado		1	1	0,00	4,00	4,0	29036	A-C-E	F	3	1	5	15	BAIXO	
					Não chega energia elétrica ao motor		4	4	0,00	3,00	3,0	7259	C	F	3	2	6	36	BAIXO	
					Arrancador ou ponte rectificadora com defeito		1	1	0,00	2,00	2,0	29038	C-E	F	2	1	4	8	BAIXO	
					Motor danificado		1	1	0,00	4,00	4,0	29036	C-E	F	3	1	5	15	BAIXO	
					Programa bloqueado		3	21	24	0,27	0,73	1,0	1210	C		1	6	10	60	BAIXO
					Sensor de segurança de percurso danificado		1	1	2	0,50	0,50	1,0	14520	C-E	F	1	1	4	4	BAIXO
					Falta de condição de presença de palete no transportador		2	6	8	0,32	1,68	2,0	3630	C	F	2	4	6	48	BAIXO
					Sobrecarga mecânica na operação		8	8	0,00	1,00	1,0	3630	C	F	1	4	4	16	BAIXO	
					Porta de Saída do Empilhamento 1	Proteger e insonorizar zona do empilhamento	Porta não tem sinal da posição	Sensores do enrolador desajustado	4	14	18	0,42	1,58	2,0	1613	C	F	2	5	4
		Sensor de porta fechada danificado	2	14				16	0,21	2,79	3,0	1815	C-E	F	3	5	4	60	BAIXO	
		Motor funciona mas porta não se movimenta	Cabos de suspensão da porta fora do tambor	20			28	48	0,95	1,05	2,0	605	A-C		2	7	10	140	MEDIO	
			Cabos de suspensão da porta partidos	1			7	8	2,00	4,00	6,0	3629	A-C-E		4	4	10	160	MEDIO	
			Prisão mecânica nas guias da porta	5			3	8	1,34	0,65	2,0	3630	A-C		2	4	10	80	MEDIO	
			Caixa de transmissão do enrolador danificada	1			1	2	2,00	6,00	8,0	14516	A-C-E		5	1	10	50	BAIXO	
			Prisão mecânica na estrutura da máquina				4	4	0,00	2,00	2,0	7260	A-C		2	2	10	40	BAIXO	
			Sensor de porta fechada danificado				8	8	0,00	3,00	3,0	3630	C	F	3	4	4	48	BAIXO	
		Porta desce para além da posição	Sensores do enrolador desajustados				8	8	0,00	3,00	3,0	3630	C	F	3	4	4	48	BAIXO	
			Sensores do enrolador desajustados				8	8	0,00	3,00	3,0	3630	C	F	3	4	4	48	BAIXO	
		Motor de Elevação Porta Entrada Empilhamento 2	Abrir e fechar porta entrada empilhamento 2	Motor não movimenta a porta	Travão do motor não abre		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C-E	B-F	3	1	4	12	BAIXO	
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado		1	1	0,00	4,00	4,0	29036	A-C	F	3	1	5	15	BAIXO	
					Não chega energia elétrica ao motor		4	4	0,00	3,00	3,0	7259	C	F	3	2	6	36	BAIXO	
					Arrancador ou ponte rectificadora com defeito		1	1	0,00	2,00	2,0	29038	C-E	F	2	1	4	8	BAIXO	
					Motor danificado		1	1	0,00	4,00	4,0	29036	C-E	F	3	1	5	15	BAIXO	
					Programa bloqueado		16	16	0,00	1,00	1,0	1815	C		1	5	10	50	BAIXO	
					Sensor de segurança de percurso danificado		1	1	0,00	2,00	2,0	29038	C-E	F	2	1	4	8	BAIXO	
					Falta de condição de presença de palete no transportador		8	8	0,00	2,00	2,0	3630	C	F	2	4	6	48	BAIXO	
					Sobrecarga mecânica na operação		1	7	8	0,07	0,93	1,0	3630	C	F	1	4	4	16	BAIXO

SISTEMA	SUBSISTEMA	ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	Ocorrência			Tempo [h]			MTBF	Conseq.	Controlos	S	O	D	NPR	Matriz de Risco
						Real	Pot.	Total	Real médio	Pot.	Total								
Empilhamento	Portas de Segurança	Porta de Entrada do Empilhamento 2	Proteger e insonorizar zona do empilhamento	Porta não tem sinal de posição	Sensores do enrolador desajustados	8	8	0,00	3,00	3,0	3630	C	F	3	4	4	48	BAIXO	
				Motor funciona mas porta não se movimenta	Sensor de porta fechada danificado	8	8	0,00	3,00	3,0	3630	C-E	F	3	4	4	48	BAIXO	
					Cabos de suspensão da porta fora do tambor	8	8	0,00	2,00	2,0	3630	A-C		2	4	10	80	MEDIO	
					Cabos de suspensão da porta partidos	1	1	0,00	6,00	6,0	29034	A-C-E		4	1	10	40	BAIXO	
					Prisão mecânica nas guias da porta	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	A-C		2	1	10	20	BAIXO	
					Caixa de transmissão do enrolador danificada	1	1	0,00	8,00	8,0	29032	A-C-E		5	1	10	50	BAIXO	
					Prisão mecânica na estrutura da máquina	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	A-C		2	1	10	20	BAIXO	
				Porta desce para além da posição	Sensor de porta fechada danificado	4	4	0,00	3,00	3,0	7259	C	F	3	2	4	24	BAIXO	
				Sensores do enrolador desajustados	4	4	0,00	3,00	3,0	7259	C	F	3	2	4	24	BAIXO		
		Motor de Elevação da Porta Saída Empilhamento 2	Abrir e fechar a porta saída do empilhamento 2	Motor não movimenta a porta	Travão do motor não abre		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C-E	B-F	3	1	4	12	BAIXO
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado	1	1	2	1,25	2,70	4,0	14518	A-C-E	F	3	1	5	15	BAIXO
					Não chega energia eléctrica ao motor	4	4	0,00	3,00	3,0	7259	C	F	3	2	6	36	BAIXO	
					Arrancador ou ponte rectificadora com defeito	1	1	0,00	2,00	2,0	29038	C-E	F	2	1	4	8	BAIXO	
					Motor danificado	1	1	0,00	4,00	4,0	29036	C-E	F	3	1	5	15	BAIXO	
					Programa bloqueado	1	16	17	0,50	0,50	1,0	1708	C		1	5	10	50	BAIXO
					Sensor de segurança de percurso danificado	1	1	0,00	2,00	2,0	29038	C-E	F	2	1	4	8	BAIXO	
					Falta de condição de presença de palete no transportador	8	8	0,00	2,00	2,0	3630	C	F	2	4	6	48	BAIXO	
					Sobrecarga mecânica na operação	8	8	0,00	1,00	1,0	3630	C	F	1	4	4	16	BAIXO	
					Porta de Saída do Empilhamento 2	Proteger e insonorizar zona do empilhamento	Porta não tem sinal de posição	Sensores do enrolador desajustados	2	8	10	0,79	2,19	3,0	2904	C	F	3	4
		Sensor de porta fechada danificado	1	4				5	0,83	2,16	3,0	5807	C-E	F	3	2	4	24	BAIXO
		Motor funciona mas porta não se movimenta	Cabos de suspensão da porta fora do tambor	8				8	0,00	2,00	2,0	3630	A-C		2	4	10	80	MEDIO
			Cabos de suspensão da porta partidos	1			1	0,00	6,00	6,0	29034	A-C-E		4	1	10	40	BAIXO	
			Prisão mecânica nas guias da porta	2			2	0,00	2,00	2,0	14519	A-C		2	1	10	20	BAIXO	
			Caixa de transmissão do enrolador danificada	1			1	0,00	8,00	8,0	29032	A-C-E		5	1	10	50	BAIXO	
			Prisão mecânica na estrutura da máquina	1			2	3	0,75	1,25	2,0	9679	A-C		2	1	10	20	BAIXO
			Porta desce para além da posição	Sensor de porta fechada danificado			1	4	5	0,42	2,58	3,0	5807	C	F	3	2	4	24
		Sensores do enrolador desajustados	4	4			0,00	3,00	3,0	7259	C	F	3	2	4	24	BAIXO		
		Motor de Elevação da Porta de Saída de Sucata	Abrir e fechar a porta de saída de sucata	Motor não movimenta a porta	Travão do motor não abre		2	2	0,00	3,00	3,0	14519	C-E	B-F	3	1	4	12	BAIXO
					Cabo de alimentação em curto-circuito ou danificado	1	1	0,00	4,00	4,0	29036	A-C-E	F	3	1	5	15	BAIXO	
					Não chega energia eléctrica ao motor	4	4	0,00	3,00	3,0	7259	C	F	3	2	6	36	BAIXO	
					Arrancador ou ponte rectificadora com defeito	1	1	0,00	2,00	2,0	29038	C-E	F	2	1	4	8	BAIXO	
					Motor danificado	1	1	0,00	4,00	4,0	29036	C-E	F	3	1	5	15	BAIXO	
					Programa bloqueado	8	8	0,00	1,00	1,0	3630	C		1	4	10	40	BAIXO	
					Sensor de segurança de percurso danificado	1	1	0,00	2,00	2,0	29038	C-E	F	2	1	4	8	BAIXO	
					Sobrecarga mecânica na operação	8	8	0,00	1,00	1,0	3630	C	F	1	4	4	16	BAIXO	
		Porta de Saída de Sucata do Empilhamento	Proteger e insonorizar zona do empilhamento	Porta não tem sinal de posição	Sensores do enrolador desajustados	4	4	0,00	3,00	3,0	7259	C	F	3	2	4	24	BAIXO	
					Sensor de porta fechada danificado	4	4	0,00	3,00	3,0	7259	C	F	3	2	4	24	BAIXO	
				Motor funciona mas porta não se movimenta	Cabos de suspensão da porta fora do tambor	2	2	0,00	2,00	2,0	14519	A-C		2	1	10	20	BAIXO	
					Cabos de suspensão da porta partidos	2	2	0,00	6,00	6,0	14517	A-C-E		4	1	10	40	BAIXO	

SISTEMA	SUBSISTEMA	ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	CAUSAS	Ocorrência			Tempo [h]			MTBF	Conseq.	Controlos	S	O	D	NPR	Matriz de Risco	
						Real	Pot.	Total	Real médio	Pot.	Total									
Empilhamento	Portas de Segurança	Porta de Saída de Sucata do Empilhamento	Proteger e insonorizar zona do empilhamento	Motor funciona mas porta não se movimenta	Prisão mecânica nas guias da porta		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	A-C		2	1	10	20	BAIXO	
					Caixa de transmissão do enrolador danificada		1	1	0,00	8,00	8,0	29032	A-C-E		5	1	10	50	BAIXO	
					Prisão mecânica na estrutura da máquina		2	2	0,00	2,00	2,0	14519	A-C		2	1	10	20	BAIXO	
				Porta desce para além da posição	Sensor de porta fechada danificado		4	4	0,00	3,00	3,0	7259	C	F	3	2	4	24	BAIXO	
			Sensores do enrolador desajustados		4	4	0,00	3,00	3,0	7259	C	F	3	2	4	24	BAIXO			
		Fotocélulas de Segurança das Portas do Empilhamento	Detetar presença de objectos durante o fecho das portas	Sistema de segurança das portas não rearma	Receptor da barreira de segurança danificado		2	2	4	1,12	0,88	2,0	7260	A-C-E	F	2	2	4	16	BAIXO
					Receptor da barreira de segurança desajustado		2	2	0,00	1,00	1,0	14520	A-C	F	1	1	4	4	BAIXO	
					Espelho do receptor sujo		1	3	4	0,12	0,38	0,5	7260	A-C	F	1	2	4	8	BAIXO
					Fotocélulas desalinhadas		3	2	5	0,25	0,74	1,0	5808	A-C	F	1	2	4	8	BAIXO
					Cabo das fotocélulas danificado		1	1	0,00	4,00	4,0	29036	A-C	F	3	1	5	15	BAIXO	
	Micros desajustados					8	8	0,00	1,00	1,0	3630	C	F	1	4	4	16	BAIXO		
	Micros de Posição das Portas de Homem	Confirmar a porta fechada	Falta de sinal de confirmação de porta fechada	Came de posição de porta fechada danificada		2	2	0,00	1,50	1,5	14519	C	F	2	1	4	8	BAIXO		
				Micros danificados		4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C-E	F	2	2	4	16	BAIXO		
				Fixação dos micros danificada		2	2	0,00	1,50	1,5	14519	C	F	2	1	4	8	BAIXO		
				Relé de sinais danificado		1	7	8	0,33	1,67	2,0	3630	C-E	F	3	4	6	72	BAIXO	
	Comando	Consola do Operador	Introdução de dados, visualização do processo e comando de operações da máquina	Não troca o valor dos eixos de curso e pressão impedindo funcionamento em automático	Comutador de selecção do modo de funcionamento em manual		8	8	0,00	1,00	1,0	3630	C		1	4	10	40	BAIXO	
					Programa bloqueado		2	22	24	0,29	1,70	2,0	1210	C		2	6	10	120	MEDIO
					Comutador de selecção do modo de funcionamento danificado		1	1	1	0,00	1,00	1,0	29039	C-E	F	1	1	9	9	BAIXO
					Erro na transferência de dados		1	15	16	0,25	3,75	4,0	1815	C		3	5	10	150	MEDIO
				Eixos do empilhamento fora de posição	Módulo de controlo dos eixos danificado		3	5	8	2,19	1,80	4,0	3630	C-E	F	3	4	6	72	BAIXO
					Multibus do modulo de controlo dos eixos danificado		4	4	8	4,44	1,55	6,0	3629	C-E	F	4	4	6	96	MEDIO
				Contador de peças não contabiliza correctamente as peças	Programa bloqueado		2	6	8	1,79	0,20	2,0	3630	C		2	4	10	80	MEDIO
					Sensor de contagem nas unhas desajustado		2	30	32	0,46	0,50	1,0	907	C	F	1	6	4	24	BAIXO
					Sensor de contagem nas unhas danificado		16	16	0,00	2,00	2,0	1815	C-E	F	2	5	4	40	BAIXO	
					Ficha do sensor de contagem desapertada		2	6	8	0,27	0,20	0,5	3630	C	F	1	4	5	20	BAIXO
				Consola não tem condições para ligar os acionamentos em automático	Ficha do sensor de contagem danificada		4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C-E	F	2	2	4	16	BAIXO	
					Ar condicionado dos armários eléctricos em falha		8	8	0,00	1,00	1,0	3630	C	F	1	4	6	24	BAIXO	
					Relé de testes de confirmação (K4) danificado		1	15	16	0,50	1,00	1,5	1815	C-E	F	2	5	8	80	MEDIO
					Falta de rearme das portas de segurança		24	24	0,00	1,00	1,0	1210	C	F	1	6	8	48	BAIXO	
					Ventilador do rack do PLC em falha		4	12	16	0,46	0,50	1,0	1815	C	F	1	5	7	35	BAIXO
					Ventilador do rack do PLC danificado		4	4	0,00	2,00	2,0	7260	C-E	F	2	2	7	28	BAIXO	
					Fonte de alimentação do PLC do empilhamento danificado		2	2	4	1,67	1,30	3,0	7259	C-E	F	3	2	7	42	BAIXO
					Modulo de expansão do PLC em falha (rack A03)		2	2	4	2,67	0,30	3,0	7259	C-E	F	3	2	7	42	BAIXO
					Protecções de software disparadas		1	15	16	1,00	0,00	1,0	1815	C	F	1	5	6	30	BAIXO
					Programa bloqueado		3	21	24	1,15	0,80	2,0	1210	C		2	6	10	120	MEDIO
					Programa corrompido com perda de dados		2	2	0,00	4,00	4,0	14518	C	F	3	1	9	27	BAIXO	
					Micros das portas dos armários eléctricos não dão condição		8	8	0,00	1,00	1,0	3630	C	F	1	4	8	32	BAIXO	
				Na troca de ferramenta a cassetete permanece dentro do empilhamento	Ar condicionado dos armários eléctricos inoperacional		2	4	6	0,73	5,26	6,0	4839	C-E	F	4	3	6	72	BAIXO
Comutador de selecção no painel de comando mal seleccionado						1	1	2	2,33	0,67	3,0	14518	C		3	1	10	30	BAIXO	