



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Departamento de Engenharia Mecânica



Manutenção Preditiva e Pró-Activa. Filosofias Alternativas ou Complementares. Estudo de Caso

Flávio Manuel Casqueiro Santos

(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica Ramo Manutenção e Produção

Orientador: Professor Doutor João Carlos Quaresma Dias

Júri:

Presidente: Professor Doutor Jorge Filipe Oliveira Mendonça e Costa

Vogais:

Professor Doutor José António Rocha Almeida Soares

Professor Doutor João Carlos Quaresma Dias

Novembro de 2013

Resumo

A manutenção nos dias de hoje ocupa uma importante função estratégica para qualquer organização sendo os seus custos um factor determinante para a competitividade, produtividade das organizações. Logo é essencial que a manutenção apresente uma vertente mais científica e organizada, capaz não só de manter os itens físicos nas melhores condições possíveis de funcionamento, mas também utilizar metodologias que possam obter o máximo de resultados com os mínimos recursos possíveis. A manutenção preditiva e pró-activa representa a evolução da manutenção para um patamar que faz aumentar a fiabilidade dos equipamentos, melhora a qualidade do produto, reduz os custos, através de técnicas de controlo da condição desses mesmos itens, procurando estudar a evolução da falha ao longo do tempo tendo em conta o contexto operacional desse mesmo item físico. A manutenção centrada na fiabilidade insere-se como uma metodologia de manutenção preditiva que procura desenvolver a sua manutenção de um modo normalizado e documentado tendo em conta todo o sistema e definindo as suas fronteiras principais. Nesta dissertação é aplicado a manutenção centrada na fiabilidade segundo modelo Rausand (1998) para dois equipamentos industriais as lavadoras de alta pressão “Lavor” e os compressores de parafuso “Ingersoll Rand”. Como estudo preparatório de implementação dessa metodologia foi essencial a existência de um histórico de três anos de reparações, cálculos de fiabilidades e manutibilidades dos equipamentos em causa de modo identificar os modos e causas das falhas.

Estando a manutenção centrada na fiabilidade pouco divulgada no nosso país, esta dissertação pode contribuir como um meio de sensibilização deste tipo de manutenção, para que possa ser implementada no futuro dum modo massificado a curto e médio prazo. Estando este tipo manutenção muito conotada á indústria aeronáutica era essencial desenvolver uma dissertação que contribui-se para dar a conhecer as vantagens e a rentabilidade de aplicação desta metodologia em equipamentos de manutenção industrial de baixo ou médio custo e de baixa ou média utilização. Os resultados alcançados vieram contribuir para necessidade de entender a manutenção de modo mais científico, documentado, efectuar ciclos de melhoria contínua dinâmica, dando grande relevância aos contextos operacionais em que os equipamentos se inserem, factor algo esquecido nos métodos manutenção industriais tradicionais. Será um factor essencial no nosso país a formação contínua dos técnicos de manutenção nos equipamentos que lhes dizem respeito, de modo a estes estar mais preparados para os desafios deste manutenção que tem um caminho longo a percorrer, devido á nossa manutenção estar muito baseada na manutenção correctiva ou manutenção preventiva de fábrica.

Palavras-Chave: Manutenção Preditiva, Manutenção Centrada na Fiabilidade, Fiabilidade, Controlo da Condição.

Abstract

The maintenance today occupies an important strategic role for any organization and their costs are a key factor for competitiveness, productivity of the organizations. Soon that is essential to submit a maintenance to a more scientific and organized step, able to not only keep the items in the best possible conditions of functioning, but also use methodologies that can get maximum results with minimum possible resources. Predictive maintenance and proactive maintenance is progress to a level which increases the reliability of the equipment, improves product quality, reduces cost through technical inspection of the condition of those items, looking to study the evolution of the failure over time taking into account the operational context of the same physical item. The reliability centred maintenance as part of predictive maintenance methodology that follow to develop its maintenance in a standardized way and documented taking into account the entire system and defining its borders major. This dissertation is applied the reliability-centred maintenance through Rausand (1998) model of two industrial equipment “Lavor” washers and “Ingersoll Rand” screw compressors. As a preparatory study for implementation of this methodology was essential to have a history of three years of repairs, in order to calculate the reliability’s, maintainability’s of the equipment’s in study, in order to identify the modes and causes of the failures. Being reliability centred maintenance little known in our country, this dissertation can contribute as a means of increasing awareness of this type of maintenance, so it can be implemented in the future in a way en masse in the short and medium term. Being this type of maintenance very connote to aircraft industry was essential to develop a dissertation that contributes to know the advantages and profitability of application of this methodology in industrial equipment maintenance of low or medium cost and low or average use. The results achieved have contributed to the need to understand the maintenance in a more scientific, documented mode, perform dynamic cycles of continuous improvement, giving great importance to the operational contexts in which the equipment operate, something overlooked factor in the traditional industrial maintenance methods. Will be a key factor in our country the training of maintenance technicians on equipment that concern them, to be more prepared for the challenges of this kind of maintenance that as long way to go, in cause of our maintenance is based on corrective or preventive maintenance of the manufacturer.

Keywords: Predictive Maintenance, Reliability Centred Maintenance, Reliability, Monitoring the Condition.

Agradecimentos

Venho por este meio agradecer a todo corpo docente de mecânica do ISEL por teres mostrado abertura e disponibilidade para o desenvolvimento do tema desta dissertação, tendo tido uma atitude pró-activa aquando da escolha de um tema ainda pouco desenvolvido.

Mais em particular quero agradecer ao meu orientador o Professor João Carlos Quaresma Dias no desenvolvimento desta dissertação onde mostrou total abertura no desenvolvimento do tema da dissertação, aconselhado em etapas definidas os melhores caminhos a seguir.

Quero também agradecer a minha empresa “António Filipe Neto Lda.” pela disponibilidade em facultar dos dados internos das reparações dos equipamentos para esta dissertação.

Quero dar uma palavra de apreço também aos dois técnicos de manutenção envolvidos no estudo do Modelo de Rausand (1998) sobre a manutenção centrada na fiabilidade e todo o tempo disponibilizado, contribuindo de forma vital para a implementação deste modelo.

Por fim quero agradecer a todos que de alguma forma directa ou indirectamente me ajudaram na construção desta dissertação.

Índice Geral

Capítulo 1	1
Introdução	1
1.1 Aspectos Gerais.....	1
1.2 Objectivo do Trabalho	2
1.3 Estrutura e Organização da Dissertação	3
Capítulo 2	4
Conceitos de Manutenção	4
2.1 Definição de Manutenção.....	4
2.2 Evolução da Manutenção	4
2.2.1 As Quatro Gerações da Manutenção.....	5
2.3 Tipos de Manutenção.....	6
2.3.1 Manutenção Correctiva ou Reactiva.....	7
2.3.2 Manutenção Preventiva.....	8
2.3.3 Manutenção Preditiva.....	8
2.3.4 Manutenção Pró-Activa.....	9
2.3.5 Manutenção Detectiva.....	9
2.3.6 Manutenção Produtiva Total.....	10
Capítulo 3.....	11
Conceitos de Fiabilidade.....	11
3.1 Definição de Fiabilidade.....	11
3.2 Definição de Falha, Avaria.....	11
3.3 Função Fiabilidade.....	13
3.3.1 Função de Sobrevivência ou de Fiabilidade $R(t)$	13
3.3.2 Função Cumulativa ou de Probabilidade de Falha $F(t)$	14
3.3.3 Função Densidade de Probabilidade de Falha $f(t)$	14
3.3.4 Função de Risco ou Taxa de Falhas.....	15
3.3.5 Função Geral da Fiabilidade.....	15

3.3.6 Tempo Médio de Falha.....	15
3.3.7 Curva de Mortalidade.....	16
3.4 Distribuição de Weibull.....	17
3.5 Distribuição Normal.....	19
3.6 Distribuição Normal Logarítmica.....	20
3.7 Manutibilidade.....	20
3.7.1 Distribuições Estatísticas de Manutibilidade.....	22
3.7.1.1 Exponencial Negativa.....	22
3.7.1.2 Logarítmica Normal.....	22
3.7.1.3 Normal.....	22
3.8 Simulação de Monte Carlo em Fiabilidade.....	22
3.8.1 Estados do Sistema.....	23
3.8.2 Estados Internos.....	24
Capítulo 4.....	26
Manutenção Centrada na Fiabilidade.....	26
4.1 Definição.....	26
4.2 Normalização.....	27
4.2.1 Funções.....	27
4.2.2 Padrões de Desempenho.....	28
4.2.3 Contexto Operacional.....	28
4.2.4 As Falhas Funcionais.....	29
4.2.5 Modo de Falha.....	30
4.2.6 Causa da Falha.....	30
4.2.8 Efeitos da Falha.....	30
4.2.9 Consequências da Falha.....	31
4.3 Perguntas da Manutenção Centrada na Fiabilidade baseadas na norma SAE JA 1011.....	32
4.3.1 Método SADT para elaboração do diagrama de blocos funcionais.....	32
4.4 Ferramentas da Manutenção Centrada na Fiabilidade.....	34
4.4.1 Análise de Modos e Efeitos da Falha (FMEA).....	34

4.4.2	Análise de Criticidade dos Modos e Efeitos da Falha(FMECA).....	35
4.4.3	Modo de Variação e Análise do Efeito (VMEA).....	37
4.4.3.1	Modelo para Prognóstico da Incerteza.....	38
4.4.4	Análise da Causa Raiz (RCA).....	38
4.4.5	Análise da Árvore de Falhas (FTA).....	39
4.4.6	Árvore Lógica de Decisão.....	40
4.4.7	Diagrama de Decisão.....	40
4.5	Padrões de Falha.....	41
4.6	Modelo Rausand(1998).....	42
Capítulo 5.....		44
Determinação de Cálculos Probabilísticos.....		44
5.1	Cálculos de Fiabilidade R(t) segundo a Distribuição de Weibull, Normal e Normal Logarítmica.....	44
5.1.1	Estimativa dos Parâmetros de Weibull e cálculos de fiabilidades.....	44
5.1.2	Estimativa dos Parâmetros da Distribuição Normal e cálculo de fiabilidades....	47
5.1.3	Estimativa dos parâmetros da Distribuição Normal Logarítmica e cálculos de fiabilidades.....	48
5.2	Cálculos de Fiabilidade R(t) em diversos contextos operacionais.....	49
5.3	Cálculos de Manutibilidade M(t) para Compressores de Parafuso e Pontes Rolantes.....	52
Capítulo 6.....		53
Caso de Estudo.....		53
6.1	Contexto da Pesquisa.....	53
6.2	Modelo Rausand (1998) em lavadoras de alta pressão.....	53
6.2.1	Etapa 1 Preparação do Estudo.....	53
6.2.2	Etapa 2 Seleção do Sistema.....	53
6.2.3	Etapa 3 Análise das Funções e Falhas Funcionais.....	55
6.2.3.1	Definição das fronteiras do sistema.....	56
6.2.3.2	Descrição do Sistema.....	58
6.2.3.3	Funções e Falhas Funcionais.....	59

6.2.3.4	Interfaces de Entrada e Saída.....	60
6.2.3.5	Descrição dos Itens Físicos.....	62
6.2.3.6	Identificação do Histórico dos Itens Físicos.....	64
6.2.3.7	Identificação das Funções e Falhas Funcionais.....	65
6.2.4	Etapa 4 Seleção dos Itens Físicos.....	66.
6.2.4.1	Descrição das Falhas Funcionais e Itens Físicos.....	66
6.2.5	Etapa 5 Recolha e Análise de Documentação.....	67
6.2.6	Etapa 6 Análise dos Modos e Efeitos da Falha.....	67
6.2.6.1	Análise dos Modos e Efeitos da Falha.....	67
6.2.7	Etapa 7 Seleção de Tarefas de Preventivas.....	69
6.2.7.1	Seleção das Tarefas de Manutenção.....	69
6.2.7.1.1	Determinação do Intervalo Ótimo para realizar as tarefas de Manutenção.....	69
6.2.8	Etapa 8 Definição das Tarefas de Manutenção.....	73
6.2.8.1	Plano de Manutenção Centrada na Fiabilidade.....	73
6.3	Avaliação do Modelo Rausand(1998) para as lavadoras de alta pressão.....	74
6.4	Modelo Rausand (1998) para Compressores de Parafuso.....	76
6.4.1	Etapa 1 Preparação do Estudo.....	76
6.4.2	Etapa 2 Seleção do Sistema.....	76
6.4.3	Etapa 3 Análise das Funções e Falhas Funcionais.....	78
6.4.3.1	Descrição das Fronteiras do Sistema.....	78
6.4.3.2	Descrição do Sistema.....	81
6.4.3.3	Diagrama de Blocos Funcionais.....	81
6.4.3.4	Interfaces de Entrada e Saída.....	81
6.4.3.5	Descrição dos Itens Físicos.....	82
6.4.3.6	Identificação do Histórico dos Itens Físicos.....	84
6.4.3.7	Identificação das Funções e Falhas Funcionais.....	85
6.4.4	Etapa 4 Seleção dos Itens Físicos Críticos.....	86
6.4.4.1	Descrição das Falhas Funcionais e Itens Físicos.....	86

6.4.5 Etapa 5 Recolha e Análise de Documentação.....	87
6.4.6 Etapa 6 Análise dos Modos de Falha e Efeitos da Falha (FMEA).....	87
6.4.6.1 Análise dos Modos e Efeitos da Falha.....	87
6.4.7 Etapa 7 Selecção de Tarefas Preventivas.....	88
6.4.7.1 Selecção das Tarefas de Manutenção.....	88
6.4.7.1.1 Determinação do intervalo óptimo para realizar as tarefas de manutenção.....	88
6.4.8 Etapa 8 Definição das Tarefas de Manutenção.....	91
6.4.8.1 Plano de Manutenção Centrada na Fiabilidade.....	91
6.5 Avaliação do Modelo Rausand (1998) para os Compressores de Parafuso.....	92
Capítulo 7 Conclusões e Trabalhos Futuros.....	94
Referências Bibliográficas.....	99

Índice de Figuras

Fig.1 As Quatro Gerações da Manutenção.....	5
Fig.2 Tipos de Manutenção.....	7
Fig.3 Relação entre defeito, erro e falha Sucena (2011).....	12
Fig.4 Classificação das falhas (Sucena,2011).....	13
Fig.5 Representação $R(t)$, $F(t)$ e $f(t)$	14
Fig.6 Curva da Banheira.....	16
Fig.7 Efeito de β em $\lambda(t)$, $f(t)$ e $R(t)$	18
Fig. 8 Efeito de η em $f(t)$	18
Fig. 9 Efeito de t_0 em $f(t)$	18
Fig.10 Efeito do desvio de padrão na distribuição normal.....	19
Fig.11 Tempos Técnicos da Reparação.....	21
Fig.12 Metodologia Baseada em Montecarlo.....	23
Fig.13 Estado de operação normal e falha.....	24
Fig.14 Estado com manutenção preventiva.....	24
Fig.15 Método SADT (Sucena,2011)	32

Fig.16 Diagrama de etapas FMEA.....	35
Fig.17 Tabela do Nº de Prioridade de Risco (NPR).....	36
Fig.18 Procedimentos VMEA aplicados a diferentes fases de desenvolvimento do produto....	37
Fig.19 Diagrama de Árvore de Falhas.....	39
Fig.20 Simbologias de Eventos e Porta Lógicas.....	39
Fig.21 Diagrama de Árvore Lógica	40
Fig.22 Diagrama de Decisão Smith (1993).....	41
Fig.17 Diferentes perfis de falha Moubray (2000).....	42
Fig.18 Intervalor PF.....	42
Fig.19 Gráfico da distribuição de Weibull para as lavadoras de alta pressão.....	47

Índice de Tabelas

Tabela 1 Relação entre fases do ciclo de vida e estratégias de manutenção (Sellito,2005).....	18
Tabela 2 Análise comparativa entre a manutenção tradicional e a manutenção centrada na fiabilidade(Sucena,2011).....	28

Cálculo de Fiabilidades

Tabela 3 Ordenação dos tempos por ordem crescente, atribuição de nº de ordem (i) e cálculo de F(t)) para as lavadoras de alta pressão(Fonte Interna da Empresa).....	46
Tabela 4 Fiabilidade e Taxa de Falhas segundo a Distribuição de Weibull para as Lavadoras de Alta Pressão.....	48
Tabela 5 Fiabilidade segundo a Distribuição Normal para as Lavadoras de Pressão.....	49
Tabela 6 Fiabilidade segundo a Distribuição Normal Logarítmica para as Lavadoras de Pressão	50
Tabela 7 Média de Tempos de Bom Funcionamento para os compressores de parafuso em diversos contextos operacionais.....	50
Tabela 8 Média de Tempos de Funcionamento para as lavadoras de alta pressão	51
Tabela 9 Fiabilidade das Lavadoras de Alta Pressão no ramo da Agro Pecuária.....	51
Tabela 10 Fiabilidade das Lavadoras no ramo da Pedreira.....	51
Tabela 11 Fiabilidade das Lavadoras no ramo da Metalomecânica.....	52
Tabela 12 Fiabilidade das Lavadoras no ramo de Reparações de Camiões e Betoneiras.....	52

Tabela 13	Fiabilidade das Lavadoras no ramo da Serralharia.....	52
Tabela 14	Manutibilidade dos Compressores de Parafuso e Pontes Rolantes.....	53

Lavadoras de Alta Pressão

Tabela 15	Identificação das Fronteiras do Sistema (Fonte Interna da Empresa)	57
Tabela 16	Descrição das Funções do Sistema (Fonte Interna da Empresa)	59
Tabela 17	Diagrama de Blocos Funcionais (Fonte Interna da Empresa)	60
Tabela 18	Interfaces de Entrada e Saída (Fonte Interna da Empresa)	61
Tabela 19	Descrição dos Itens Físicos (Fonte Interna da Empresa)	63
Tabela 20	Identificação do Histórico dos Itens Físicos (Fonte Interna da Empresa)	65
Tabela 21	Identificação das Funções e Falhas Funcionais (Fonte Interna da Empresa)	66
Tabela 22	Descrição das Falhas Funcionais e Itens Físicos (Fonte Interna da Empresa).....	67
Tabela 23	Análise dos Modos e Efeitos da Falha (FMEA) (Fonte Interna da Empresa).....	68
Tabela 24	Seleção das Tarefas de Manutenção (Fonte Interna da Empresa)	72
Tabela 25	Plano de Manutenção Centrada na Fiabilidade (Fonte Interna da Empresa).....	74

Compressores de Parafuso

Tabela 26	Descrição das Fronteiras do Sistema (Fonte Interna da Empresa)	79
Tabela 27	Descrição do Sistema (Fonte Interna da Empresa)	81
Tabela 28	Diagrama de Blocos Funcionais (Fonte Interna da Empresa)	82
Tabela 29	Tabela de Interfaces de Entrada e Saídas (Fonte Interna da Empresa)	82
Tabela 30	Descrição dos Itens Físicos (Fonte Interna da Empresa)	83
Tabela 31	Identificação do Histórico dos Itens Físicos (Fonte Interna da Empresa)	85
Tabela 32	Identificação das Funções e Falhas Funcionais (Fonte Interna da Empresa)	86
Tabela 33	Descrição das Falhas Funcionais e Itens Físicos (Fonte Interna da Empresa).....	87
Tabela 34	Análise dos Modos e Efeitos da Falha (FMEA) (Fonte Interna da Empresa)	88
Tabela 35	Seleção das Tarefas de Manutenção (Fonte Interna da Empresa).....	90
Tabela 36	Plano de Manutenção Centrada na Fiabilidade (Fonte Interna da Empresa).....	92

Lista de Abreviaturas

RCM (Reliability Centred Maintenance)

TPM (Manutenção Produtiva Total)

SADT (Standard Analysis and Design Technique)

FMEA (Failure Mode Effect Analysis)

FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis)

MIL-STD-1629A (Military Standard – 1629A)

BS 5760 (British Standards Institution 5760)

MCF (Manutenção Centrada na Fiabilidade)

J.I.P.M (Japanese Institute of Plant Maintenance)

Lista de Símbolos

$R(t)$ - Função Fiabilidade

$F(t)$ Função Probabilidade Acumulada de Falha

$f(t)$ – Função Densidade de Probabilidade de Falha

N_o - Número de Órgãos Falhados

N_s - Número de Órgãos Sobreviventes

N_f - Número de Órgãos Falhados

$\lambda(t)$ – Taxa Instantânea de Falhas

MTTF - Tempo Médio até á Avaria

MTBF - Tempo Médio entre Avarias

β - Parâmetro de forma da distribuição de Weibull

η - Parâmetro de Escala da Distribuição de Weibull

t_0 - Parâmetro de Posição da Distribuição de Weibull

$\Gamma(x)$ – Função Gama de Euler

μ - Valor médio dos tempos até avaria

σ – Desvio de padrão dos tempos até á avaria

$M(t)$ – Função Manutibilidade

TTR – Tempos Técnicos de Reparação

MTTR – Tempo Médio de Reparação

TBF – Tempos de Bom Funcionamento

Capítulo 1

Introdução

1.1 Aspectos Gerais

A manutenção preditiva representa o conceito moderno de manutenção, aparece como a forma eficaz de programar intervenções nos equipamentos efectuando o controlo de condição dos mesmos e determinando o instante de tempo ideal para a efectuar a sua manutenção. De acordo com Ni e Jin (2012) a decisão de efectuar uma manutenção eficaz está a aumentar devido ao aumento do tamanho dos sistemas e equipamentos localizados cada vez mais distantes dos clientes. No geral duas categorias diferentes de problemas em engenharia podem ser identificadas no que diz respeito á manutenção: aqueles para os quais a prioridade é garantir a segurança e a fiabilidade e a aqueles a prioridade é garantir a disponibilidade. Para a primeira categoria as inspecções e manutenções são planeadas de modo a manter o equipamento ou estrutura num estado saudável, evitando assim as falhas, enquanto na segunda categoria a prioridade é definir um plano de manutenção que assegure a disponibilidade tendo em conta os custos do ciclo de vida do equipamento analisando os custos da falha, dos tempos entre falhas e dos tempos da reparação. Soares et al (2010). A decisão da etapa da manutenção a adoptar é identificada em duas sub-etapas: os diagnósticos que identifica e quantifica o dano que ocorreu e os prognósticos que analisa a previsão dos danos que irão ocorrer. Sikorska et al (2011)

A determinação do instante de tempo ideal para a aplicação da manutenção preditiva é conseguida com análise dos sintomas e com a estatística das ocorrências. A análise estatística é utilizada quando existem dados históricos da manutenção correctiva e preventiva que podem ser utilizados na aplicação do cálculo de probabilidades e determinação dos parâmetros de fiabilidade. A análise de sintomas é aplicada em equipamentos isolados e complementa a análise efectuada pela análise estatística.

Segundo Candell e Soderholm (2009) com o objectivo de se manterem numa posição competitiva no mercado as empresas estão apostando cada vez mais em:

- Maior disponibilidade do sistema,
- Segurança;
- Sustentabilidade;
- Rentabilidade;

- Flexibilidade operacional;
- Suporte de apoio aos seus clientes durante vinte e quatro horas por dia setes dias por semana;

A metodologia RCM¹(Reliability-Centred Maintenance), começou a ser desenvolvida na indústria aeronáutica, por volta dos anos 1960, com o objectivo de estabelecer um processo racional e sistemático de análise que permitisse a definição das tarefas de manutenção dos equipamentos para garantir a fiabilidade e segurança operacional ao menor custo possível.

A implementação de métodos automáticos de produção resultou numa maior dependência da sociedade contemporâneas, interferindo assim como desenvolvimento de estratégias que se diferenciam dos planos tradicionais devido ao facto combinar princípios de disponibilidade dos equipamentos, qualidade do produto, segurança e meio ambiente. Exige-se actualmente que os processos de projecto e manutenção dos meios da produção estejam estruturados de forma clara e auditável, permitindo á sociedade exercer um papel de promoção e fiscalização. Siqueira (2009).

O RCM contribui também para estabelecer a busca da optimização da manutenção, focando-se no estudo das consequências das falhas e actividades pró-activas, as quais se envolve tarefas preditivas e preventivas. È capaz também de combater falhas ocultas responsáveis pela redução da fiabilidade do sistema. Fogliato e Ribeiro (2009).

Nos anos 70, inúmeras indústrias adoptaram a utilização de RCM para determinar políticas internas mais eficientes para gerir as funções dos itens físicos, bem como gerir as consequências das suas falhas. A partir dos anos 90, o RCM passou a ser uma parte integrante do sector industrial, devidos aos custos de manutenção tornarem-se elevados em comparação com os custos de operacionais e a actividade de manutenção passou a ser analisada com planeamento e controlo, numa tentativa de se obter um aumento da vida útil dos itens físicos².

1.2 Objectivo do Trabalho

O objectivo principal desta dissertação é implementar manutenção preditiva numa empresa de Comércio de Equipamentos Industriais e Actividades Metalomecânicas através do RCM segundo o modelo Rausaund (1998), sendo para isso necessário complementar alguns conceitos de manutenção através das normas SAE JA 1011 Critérios de Avaliação do RCM e SAE JA 1012 Guia do RCM.

(1) RCM na tradução para a língua portuguesa corresponde a Manutenção Centrada na Fiabilidade

(2) Item Físico segundo a norma NBR 5462, 1994 é definida como qualquer parte, conjunto, dispositivo, subsistema, unidade funcional, equipamento ou sistema que possa ser considerado individualmente

1.3 Estrutura e Organização da Dissertação

A dissertação é composta por sete capítulos respectivamente onde o primeiro e o sétimo correspondem á introdução e às conclusões e trabalhos futuros.

O primeiro capítulo introdutório faz uma breve definição da manutenção preditiva e as metas que este tipo de manutenção pretende atingir, como também uma contextualização histórica do RCM.

No segundo capítulo vai ser definido o conceito de manutenção, efectuando uma contextualização histórica das gerações da manutenção e definidos os tipos principais de manutenção existentes.

No terceiro capítulo vai ser definido o conceito de fiabilidade, as etapas da fiabilidade e o modo como pode ser medida essa fiabilidade. Vão ser também definidas as três distribuições a utilizar nos cálculos probabilísticos a distribuição de Weibull, a distribuição normal e a distribuição normal logarítmica. Por fim vai ser abordado o tema da manutibilidade e expressão para o seu cálculo.

O capítulo número quatro vai ser abordado o RCM em termos de conceitos normalização. A literatura apresentada define o RCM com a tradução em português, manutenção centrada na fiabilidade para abordagem mais concreto deste tema. No início deste capítulo é efectuada uma definição da manutenção centrada na fiabilidade, seguidamente são definidos os conceitos da norma SAE JA 1011 para qualquer processo seja considerado de manutenção centrada na fiabilidade. Vão ser também definidas as dez questões para a implementação da manutenção centrada na fiabilidade, condição necessária para o sucesso desta metodologia. Vão ser definidas algumas ferramentas da manutenção centrada na fiabilidade bastantes úteis no processo de implementação da manutenção centrada na fiabilidade. Será efectuada uma pequena abordagem dos padrões falha existentes que derivam da curva da banheira que foram estudados na indústria aeronáutica. Por fim vão ser apresentadas as etapas do modelo de Rausand (1998) a ser utilizado no caso de estudo.

O quinto capítulo apresenta os cálculos probabilísticos de fiabilidade e manutibilidade como suporte de apoio para a tomada de decisão do caso estudo. Foram efectuados os cálculos probabilísticos segundo a distribuição de Weibull, Normal e Normal Logarítmica para as lavadoras de alta pressão. Devido á elevada taxa de mortalidade infantil deste equipamento foi efectuado um estudo da fiabilidade em diversos contextos operacionais. Os compressores de parafuso apresentavam elevados tempos de reparação devido aos maus diagnósticos de avaria, logo foi essencial estudo deste equipamento. Como dado adicional foi também efectuado o estudo da manutibilidade das pontes rolantes, outro equipamento que existia maus diagnósticos de avaria, sendo uma hipótese viável de estudo em trabalhos futuros.

O sexto capítulo foi efectuado o caso estudo da manutenção centrada na fiabilidade, o modelo de Rausand (1998) nas lavadoras de alta pressão e compressores de parafuso e efectuado a avaliação desses mesmos modelos.

No sétimo capítulo foram tiradas conclusões acerca do caso estudo e propostas de melhoria de trabalhos de futuros na manutenção centrada na fiabilidade.

Capítulo 2

Conceitos da Manutenção

2.1 Definição da Manutenção

Manutenção segundo a norma EN 13306:2010 (ed.2)³ é a combinação de todas as acções técnicas, administrativas e de gestão, durante um ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou a repô-lo num estado em que possa desempenhar a função requerida.

Para Salgado (2008) a manutenção é definida como todas as actividades e acções necessárias para restaurar e/ou prevenir a ocorrência ou reincidência de falhas em sistemas e componentes.

De acordo com Xavier (2009) as actividades de manutenção existem para evitar a degradação dos equipamentos e instalações causadas pelo seu desgaste natural, pelo seu uso, para recuperar a boa funcionalidade e fiabilidade dos equipamentos. Esta degradação manifesta-se de diversas formas, desde a má aparência externa dos equipamentos, perdas de desempenhos, paragens de produção e fabricação de produtos de má qualidade.

Ao encontrar uma definição de manutenção percebe-se que é uma actividade complexa e que envolve diversos aspectos, pois ao tentar-se garantir a disponibilidade e a fiabilidade de um item físico de modo que as funções do sistema sejam mantidas num desempenho mínimo esperado, a manutenção acaba por desempenhar um papel estratégico fundamental na melhoria dos resultados operacionais e financeiros.

2.2 Evolução da Manutenção

Segundo Veldman et al (2011) nos últimos dez anos os gestores industriais têm compreendido que a manutenção pode ser uma função geradora de lucro e não apenas um centro de custo. Segundo Souza (2011) principais factores para essa mudança foram:

- A manutenção relacionada com a produção e a operação de modo que as actividades se exerçam de modo eficiente, com fiabilidade, eficácia e a baixo custo;
- Manter os equipamentos o mais próximo possível das condições iniciais de projecto e da instalação da empresa;

³ Norma NP EN 13306:2010 (ed.2) Norma Portuguesa sobre a Terminologia da Manutenção

- Através de estudos técnicos efectuar melhorias e modificações tecnológicas de modo a atender às necessidades da produção;
- Reduzir ou mesmo eliminar o tempo de paragem por emergência e urgência causadores de perdas no processo produtivo;
- Manter as normas regulamentares de higiene e segurança no trabalho;
- Manter um consumo adequado para os equipamentos e instalações de modo a reduzir custos, identificar falhas ou equipamentos em estado de envelhecimento;
- Garantir o máximo de utilização e aproveitamento dos recursos disponíveis;

Actualmente, a manutenção é vista de uma perspectiva diferente nas organizações, pois o mercado é cada vez mais competitivo, sendo necessário a constante actualização e a busca de novas maneiras de produzir com mais qualidade cumprindo prazos de entrega, sendo por isso uma peça fundamental para o sucesso das organizações.

2.2.1 As Quatro Gerações da Manutenção

Segundo Mortelari et al (2011) a história da manutenção pode ser dividida em quatro gerações:

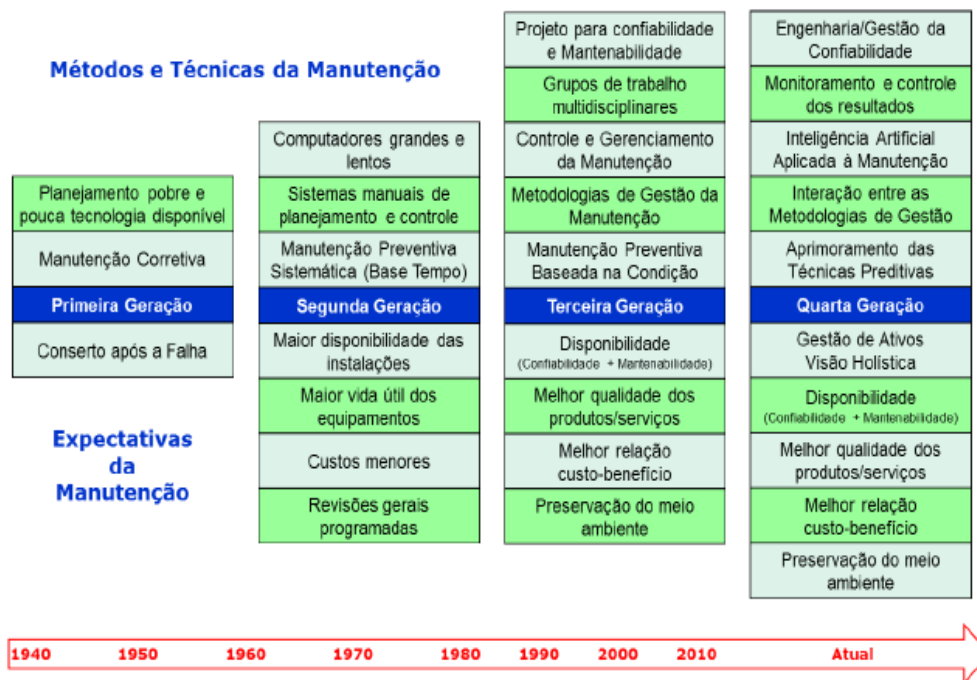


Fig.1 As Quatro Gerações da Manutenção

1ª Geração (Período da 2ª Guerra Mundial-1940) a manutenção não como um pilar fundamental nas organizações. Tal facto deve-se ao modelo de indústria vigente, que era pouco mecanizado com equipamentos de configurações simples e superdimensionados para a produção. As técnicas de manutenção eram precárias e simples, consistindo nas limpezas, lubrificação, na inspecção visual. As competências técnicas exigidas também eram mínimas, sendo o carácter da manutenção estritamente correctivo.

2ª Geração (1940-1970) com a ocorrência do declínio da oferta da mão-de-obra no período pós-guerra, além da pressão por aumento de todos os tipos de bens de consumo, culminou numa maior mecanização da indústria, na maior dependência dos itens físicos, tendo assim a manutenção começado a ganhar força, na medida em que a produção intensa e com qualidade eram factores esperados. Por volta da década de 50, passou-se a acreditar que dando prioridade ao bom funcionamento dos itens era possível que as falhas fossem evitadas; resultando no conceito que hoje conhecemos como manutenção preventiva. A prática desse conceito resultou na necessidade de implementar sistemas de planeamento e gestão da manutenção. É também nesta época (anos 60 e 70) que o departamento de defesa dos Estados Unidos da América, juntamente com indústria aérea militar, desenvolveu as primeiras políticas da manutenção chamadas “Reliability-Centred Maintenance” (RCM).

3ª Geração (1970 – 2000) os processos industriais ganharam novos desafios de produtividade e de qualidade com a tendência da globalização da economia. O grande investimento nos itens fixos, juntamente com o aumento nos custos, inicia-se um processo de elevadas expectativas em relação á manutenção. Tais expectativas encontram-se nas funções e resultados da manutenção, nas novas interpretações dos processos de falhas de equipamentos e nas novas técnicas de análise e implementação da manutenção, criando assim alternativas que pudessem maximizar a vida útil dos itens físicos.

4ª Geração a partir de 2000 a manutenção insere-se nos sistemas integrados de gestão tendo em conta a melhoria da manutibilidade e engenharia da manutenção, usando tecnologia avançada de sistemas interligados, investimentos otimizados, produtos inteligentes tendo como exemplo redes neurais, auto-diagnóstico, “wireless” e “blue tooth”.

2.3 Tipos de Manutenção

De acordo com Siqueira (2009), os tipos de manutenção são classificados de acordo com a forma de programação e com o comportamento dos utilizadores em relação á falha. Em relação á programação pode ser classificada como manutenção

programada e manutenção não programada. Na manutenção programada, as actividades são executadas obedecendo a critérios de tempo e intervalos fixos de tempo e aperiódicas quando são realizadas em intervalos variáveis ou dependendo das oportunidades. Na manutenção não-programada as actividades são executadas em função da necessidade.

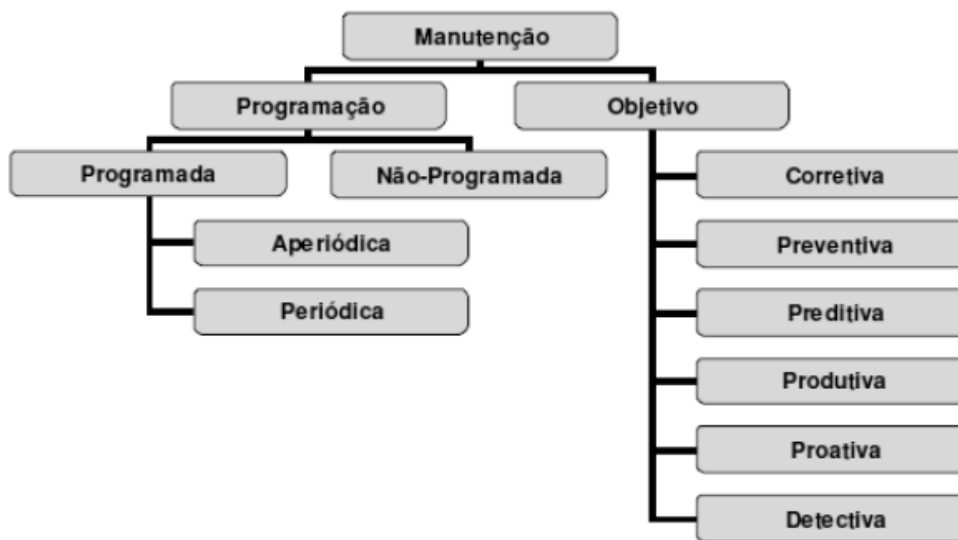


Fig.2 Tipos de Manutenção

2.3.1 Manutenção Reactiva ou Correctiva

A manutenção correctiva destina-se a corrigir falhas que já tenham ocorrido, este método representou uma grande parte das operações da manutenção desde o surgimento da primeira indústria. De acordo com Stephens (2010) raramente, ou nunca, ocorre uma falha num período oportuno ou conveniente, mesmo que as falhas não provoquem danos consideráveis ou lesões nos operadores, estas originam paragens, longos atrasos na produção e necessitam de reparações não programadas e inesperadas. Desta forma, este tipo de manutenção torna-se a mais dispendiosa para qualquer organização. Já Souza (2011) define manutenção correctiva como a actividade técnica responsável pela correcção de uma falha identificada em um determinado componente do equipamento. Este tipo de manutenção pode ser subdividida em:

- Manutenção Correctiva não planeada onde a correcção da falha é feita de forma aleatória, após avaria ter ocorrido.

- Manutenção Correctiva planeada é a correcção efectuada em período programado, com intervenção e acompanhamento do equipamento, desde que o defeito não implique necessariamente a ocorrência da falha.

2.3.2 Manutenção Preventiva

Entende-se por manutenção preventiva todos os procedimentos que são tomados de forma a reduzir ou evitar a ocorrência das falhas nos equipamentos, obedecendo a um planeamento periódico executado previamente. Segundo Kardec (2009) manutenção preventiva é a actuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou diminuição do desempenho, obedecendo um plano preventivamente elaborado, baseados em intervalos de tempos definidos, quando aplicada isoladamente pode tornar-se numa manutenção dispendiosa e ineficiente subdividindo-se em:

- **Manutenção Sistemática:** é uma manutenção preventiva realizada de acordo com intervalos fixos de tempo ou número de unidades em uso (EN 13306:2010). Márquez (2007) conclui que trata-se de uma manutenção programada sem investigação prévia da condição do equipamento. Este tipo de manutenção é normalmente aplicado a equipamentos com elevados custos de avaria, equipamentos cujas avarias provocam grandes tempos de não produção e também em equipamentos cujas avarias podem por em causa a segurança das pessoas.

- **Manutenção Condicionada:** é uma manutenção preventiva, que inclui uma condição de combinações de monitorização, inspecção, testes, análise e acções de manutenção consequentes. A aplicação desta manutenção é realizada através de uma previsão derivada da análise e avaliação dos parâmetros significativos de degradação do equipamento (EN 13306:2010). Segundo Márquez (2007) o desempenho e monitorização dos parâmetros podem ser programados, contínuos ou pedidos. Deste modo, será possível evitar acções de manutenção desnecessárias, minimizando também a probabilidade de ocorrência da falha.

2.3.3 Manutenção Preditiva

Segundo Lima e Sales (2008) a adopção da manutenção preditiva detalha os itens físicos para controlo e manutenção da qualidade do produto final que é gerado no equipamento. Já Souza (2011) define que manutenção preditiva é aquela que indica as condições reais de funcionamento das máquinas com base em dados que informam os seus desgastes ou processo de degradação. Segundo Otani (2008) manutenção preditiva são as manutenções que permitem garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando meios de supervisão centralizados ou de amostragem para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção correctiva.

Para Kardec (2009) é actuação realizada com base na modificação de parâmetros de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática.

A manutenção preditiva é um programa de manutenção preventivo accionado por condições, em vez de se basear na estatística da média de tempos de bom funcionamento, programa as actividades de manutenção usando a monitorização directa

das condições mecânicas, rendimento do sistema e outros indicadores para determinar o tempo médio para a falha real ou perda de rendimento. Na melhor das hipóteses, os métodos tradicionais accionados por tempo garantem um guia para intervalos “normais da máquina”. Como resultado dessa monotorização consegue-se maximizar os intervalos entre reparações e o rendimento do processo produtivo, visto que os equipamentos e as instalações estão disponíveis o maior tempo possível para a operação. Será uma importante fonte de dados a serem estudados nas diversas áreas possibilitando melhorias a serem implementadas por:

- Fabricantes de equipamentos e instalações;
- Clientes na aquisição de novos equipamentos;

2.3.4 Manutenção Pró-Activa

A manutenção pró-activa efectua uma abordagem da manutenção, substituindo a filosofia de manutenção de “falha reactiva” por falha proactiva”, evitando as condições implícitas que levam as falhas e á degradação da máquina. Segundo Fitch (2008) ao contrário da manutenção preditiva/preventiva, a manutenção pró-activa cria acções de modo a identificar a causa raiz da falha, não apenas os sintomas. Seu objectivo principal é aumentar a vida da máquina ao invés de efectuar reparações quando item físico não está degradado, aceitando a falha como uma rotina normal, substituindo a manutenção de falha de crise pela manutenção de falha programada. Na maioria dos casos, os sintomas escondem a causa da raiz ou são eles próprios considerados como a causa. A maioria das máquinas são sistemas dependentes de fluidos, tais como lubrificantes, fluidos hidráulicos, líquidos refrigerantes, combustíveis e ar onde carregam e transportam contaminantes dentro do sistema. A presença anormal de contaminação num sistema pode ser descrito como a etapa inicial da falha, significando que, apesar da máquina ainda não apresentar perda de desempenho ou degradação do componente, as condições que levam á falha e vida operacional reduzida estão presentes.

2.3.5 Manutenção Detectiva

A manutenção detectiva é a actuação efectuada em sistemas de protecção procurando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao operador e ao pessoal da manutenção. Segundo Xavier e Pinto (2003) este tipo de manutenção permite detecção e correcção de falhas, mantendo o sistema em operação. À medida que aumenta a utilidade de instrumentação de comando, controlo e automação nas indústrias, maior é a necessidade de manutenção detectiva para garantir a fiabilidade dos sistemas.

2.3.6 Manutenção Produtiva Total

Segundo Ranteshwar et al. (2012) a manutenção produtiva total tem como objectivo melhorar a produtividade e a qualidade de trabalho juntamente com o aumento da moral dos funcionários e a sua satisfação. É uma abordagem inovadora para a manutenção que optimiza o equipamento, elimina falhas e promove a manutenção autónoma por meio de actividades de rotina.

Ahuja e Khamba (2008) propõem oito pilares para implementação da manutenção produtiva total:

1) **5S** pode ser chamado como a pedra fundamental de implementação da manutenção produtiva total. Os problemas não podem ser reconhecidos nem é possível melhorar se o local de trabalho se apresenta desorganizado.

2) Na **manutenção autónoma** os operadores são responsáveis por efectuarem manutenção diária aos seus equipamentos de modo a prevenir a sua deterioração. Com o objectivo deste pilar é ter equipamentos sem avarias, flexibilidade dos operadores, eliminar as avarias na sua raiz e motivar os operadores.

3) **Manutenção programada** efectua uma abordagem pró-activa utilizando pessoal da manutenção qualificado para a ajudar o operador a manter o seu equipamento. Tem como objectivo manter a maior disponibilidade do equipamento, melhorar a fiabilidade e atingir as zero avarias.

4) **“Kaizen”** significa mudança para melhor, envolve pequenas melhorias e é realizado numa base que envolve todas as pessoas da organização. O princípio por detrás do Kaizen é de que um elevado número de pequenas melhorias são mais eficazes do que algumas melhorias de grande valor.

5) **Manutenção da qualidade** é virada para alcançar a satisfação do cliente através entrega de produto com elevada qualidade. Essa qualidade é atingida quando é identificando o parâmetro do equipamento que afecta a qualidade do produto.

6) **Formação e Treino** do colaborador é essencial para a melhoria contínua de qualquer processo de qualidade.

7) **Manutenção Produtiva Total no Escritório** tem como objectivo a produtividade e eficiência das funções administrativas, incluindo a análise de processos e procedimentos que podem ser automatizados.

8) **Segurança, Saúde e Meio Ambiente** o objectivo deste pilar é criar um ambiente de trabalho seguro e uma área envolvente que não danifique a execução dos processos e procedimentos, que leve aos zeros acidentes, zero danos para a saúde e zero incêndios.

Capítulo 3

Conceitos de Fiabilidade

3.1 Definição de Fiabilidade

O conceito de fiabilidade foi introduzido na manutenção através de um trabalho efectuado em equipamentos electrónicos para uso militar na década de 50, nos Estados Unidos da América. A tarefa foi conduzida por um grupo de estudos da Agência Federal da Aviação, para a indústria aeronáutica, cujas conclusões reorientaram os procedimentos de manutenção para os seguintes aspectos: Sellito (2005)

- 1) Se um item não possui um modo predominantemente de falha, revisões programadas afectam pouco o nível de fiabilidade desse item;
- 2) Para muitos itens, a prática de manutenção preventiva não é eficaz;

Segundo a norma EN 13306:2010 (ed.2) fiabilidade é a aptidão de um bem para cumprir uma função requerida, sob determinadas condições, durante um intervalo de tempo. O termo “fiabilidade”, também é utilizado para quantificar o desempenho da fiabilidade e pode ser definido como uma probabilidade. Na sensibilidade prática associa-se esta propriedade á confiança que se pode ter em que o equipamento funcione como desejado, isto é, sem problemas.

De acordo com Yingkui e Jing (2012) a engenharia da fiabilidade é a disciplina que assegura que um sistema está fiável quando opera de um determinada forma. A teoria da fiabilidade clássica admitia que um sistema só poderia estar em dois estados a funcionar ou a não funcionar, no entanto os sistemas de engenharia têm múltiplos estados de falha parcial que necessitam de ser considerados.

3.2 Definição de Falha, Avaria

Em fiabilidade, considera-se que “falha da função requerida” significa cessação de funcionamento ou, mais frequentemente, degradação de um parâmetro de funcionamento até um nível considerado de insatisfatório. A falha de um item pode acontecer súbita e brutalmente sendo chamada falha “catastrófica”, ou por lado lenta e progressiva sendo chamada “por degradação”. A falha catastrófica resulta da variação súbita de um ou mais características de um item, inutilizando-o, por outro lado a falha por degradação resulta da variação progressiva de uma ou mais características de um item, para além dos limites de resistência, sendo evitadas através da manutenção

preventiva. Segundo a norma EN 13306:2010 (ed.2) a falha corresponde á cessação da aptidão de um bem para cumprir uma função requerida. Depois de uma falha o bem fica em estado avariado, total ou parcialmente. Os termos “avaria” ou “falha” exprimem um acontecimento, enquanto a expressão “avariado” exprime um estado. Os termos “avaria” e “falha” são praticamente sinónimos e podem utilizar-se indistintamente. È comum, no entanto, utilizar-se o termo “avaria” com mais amplitude, para um equipamento como um todo, e o termo “falha”, em sentido mais restrito, dirigido ao órgão. Cabral (2009)

Sucena (2011) define que um sistema avaria quando se desvia da sua especificação de funcionamento, podendo ser evitado utilizando-se técnicas de toleranciamento. Já falha é considerada a alteração do padrão normal de funcionamento de um dado componente do sistema, sendo uma causa física. O erro é provocado por uma falha levando a um estado interno incorrecto, podendo provocar defeito ou não.

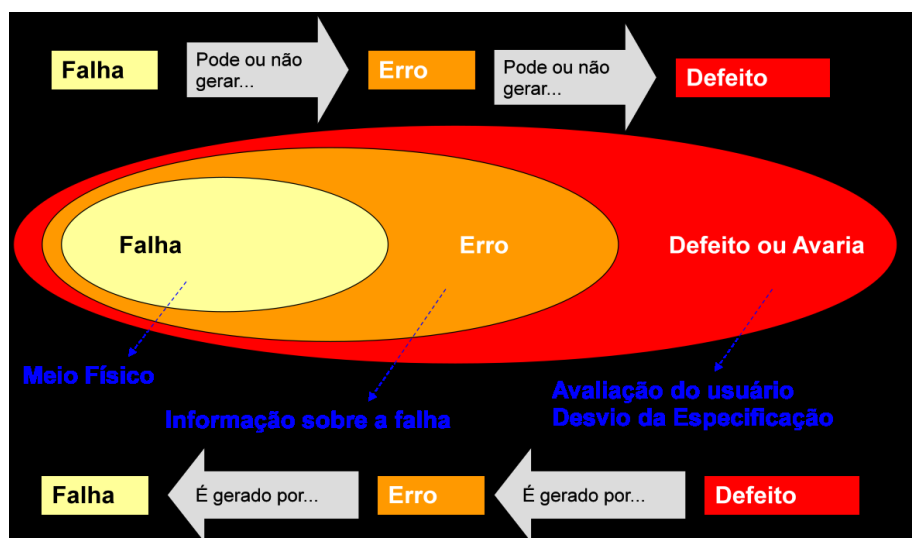


Fig.3 Relação entre defeito, erro e falha

Segundo Siqueira (2009) as falhas podem ser classificadas sobre diversos aspectos:

- Quanto á origem: podem ser primárias com decorrer de deficiências próprias do item, ou secundárias quando se desviam da operação devido ao uso inadequado pelo operador;

- Quanto á extensão: falhas parciais quando resultam do desvio de alguma característica funcional do item, ou completas quando provocam a perda total da função do item;

- Quanto á manifestação: pode ocorrer por degradação, quando ocorre simultaneamente de forma gradual ou parcial, ou catastróficas quando ocorrem simultaneamente de forma repentina e completa, intermitentes quando persistem por tempo limitado, após o qual o item recupera sem qualquer acção externa.

- Quanto á criticidade: as falhas críticas são aquelas que produzem condições perigosas ou inseguras para o utilizador, as restantes são classificadas de não-críticas.

- Quanto á idade: podem ser prematuras quando ocorrem durante um período inicial de vida do equipamento, ou aleatórias quando ocorrem de modo imprevisível, progressivas, quando ocorrem durante a vida útil do item.

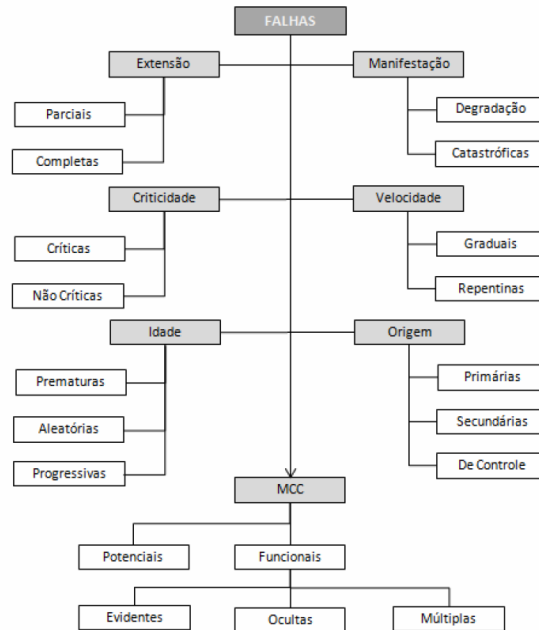


Fig.4 Classificação das Falhas

3.3 Função Fiabilidade

Na teoria da fiabilidade a maior dificuldade é a estimar estatisticamente o momento que o item falha. Do ponto de vista da fiabilidade, as distribuições de falha e os respectivos parâmetros são estimados estatisticamente. Nakagawa (2008).

Com intuito de modelar variáveis aleatórias, maioria das áreas utiliza a distribuição normal. No entanto na área da fiabilidade, devido aos tempos desde a última falha serem sempre positivos, a distribuição normal não é de grande aplicação, mas sim a distribuição de Weibull. Márquez et al (2009).

3.3.1 Função de Sobrevivência ou de Fiabilidade R(t)

De acordo com Allison (2010) na análise de sobrevivência é mais usual a utilização de uma função para valores contínuos ou discretos:

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(t) \cdot d(t) \tag{Eq.3.1}$$

3.3.2 Função de Distribuição Cumulativa ou Probabilidade de Falha F(t)

A função de distribuição cumulativa é aplicável a todas as variáveis de uma variável T, denominada por F(t) que é uma função que permite que a variável seja inferior a qualquer valor de T, previamente definido: Alison (2010)

$$F(t) = \int_0^t f(t) \cdot dt \quad (\text{Eq.3.2})$$

Como R(t) e F(t) são mutuamente exclusivas, as duas probabilidades são efectivamente complementares:

$$R(t) + F(t) = 1 \quad (\text{Eq.3.3})$$

Conforme, t vai crescendo, verifica-se que R(t) vai diminuindo até igualar a zero e que F(t) vai também crescendo até igualar a um, mantendo-se sempre a relação. Se o acontecimento de interesse é a falha ocorrida num determinado componente, a função de fiabilidade dá a probabilidade da função do sistema continuar a funcionar para além de t.

3.3.3 Função densidade de probabilidade de falha f(t)

Quando as variáveis são contínuas outra forma de descrever as distribuições de probabilidade é através da função de densidade de probabilidade de falha que segundo Allison (2010) é definida por:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = - \frac{dR(t)}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq T < t + \Delta t)}{\Delta t} \quad (\text{Eq.3.4})$$

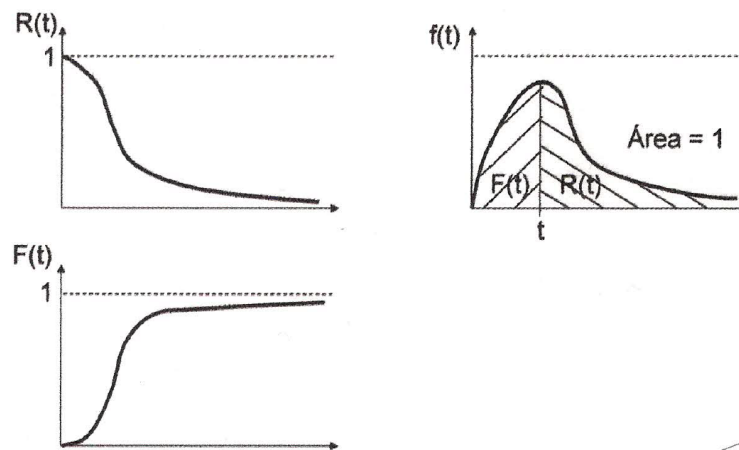


Fig.5 Representação de R(t), F(t) e f(t)

Verifica-se que o valor da função $F(t)$, no momento arbitrário t , pode ser conhecido directamente através da leitura do eixo das ordenadas ou, indirectamente, pela área sombreada sob a curva da função $f(t)$ entre os momentos zero e t .

3.3.4 Função de Risco ou Taxa de Falhas

Outra forma de descrever a análise de distribuições associadas a dados de análise de sobrevivência é através da função de risco ou taxa de falhas que de acordo com Allison (2010) define-se por:

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq T < t + \Delta t | T \geq t)}{\Delta t} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (\text{Eq.3.5})$$

A partir da função de risco ou taxa de falhas define-se o valor da probabilidade condicionada de falha em t . Sendo o tempo contínuo, considera-se a probabilidade de uma falha ocorrer num intervalo pequeno entre $t + \Delta t$. A probabilidade de uma falha ocorrer é também dependente da sobrevivência individual ao tempo t , uma vez que se a falha já ocorreu não se encontra em risco para evento.

3.5.5 Função Geral da Fiabilidade

Das funções referidas anteriormente é possível obter as restantes. Em termos de $\lambda(t)$, obtém-se as expressões de $f(t)$ e $R(t)$:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{-\frac{dR(t)}{dt}}{R(t)} = -\frac{d}{dt} \ln R(t) \quad (\text{Eq.3.6})$$

Como $R(t)$ é uma probabilidade só se pode tomar valores entre 0 e 1. No entanto como em análise de sobrevivência não faz sentido considerar valores negativos, pode-se concluir que $R(0) = 1$, obtendo-se então a função geral da fiabilidade

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t).d(t)} \quad (\text{Eq.3.7})$$

3.3.6 Tempo Médio de Falha

A frequência das falhas é a estimativa das falhas mais comuns de cada equipamento considerando o seu regime normal de trabalho ou intervalo de tempo que elas ocorrem. Representa também o tempo médio entre a ocorrência de uma falha e a próxima, como também o tempo de funcionamento do item diante das necessidades de produção até á próxima falha. Saltorato e Cintra (2008).

$$MTTF = \int_0^{tm} R(t) \cdot d(t) \quad (\text{Eq.3.8})$$

Esta expressão é normalmente designada de duas formas: MTTF (Mean Time to Failure) ou MTBF (Mean Time Between Failures) embora se empreguem indistintamente em que:

- MTTF aplica-se no caso em que os itens da amostra, não são reparáveis, sendo substituídos por itens novos á medida que vão falhando;
- MTBF aplica-se ao caso em que os itens, á medida que vão falhando, são desmontados, reparados e voltam a ser usados.

3.3.7 Curva de Mortalidade

No âmbito de estudo da fiabilidade é importante analisar as falhas do ponto de vista quantitativo. Segundo Smith (2011) o padrão de falhas ao longo do tempo, em sistemas reparáveis, pode ser definido pela curva da banheira ou curva da mortalidade, em que a representação gráfica é efectuada através da taxa de falhas e da idade do sistema, procurando descrever a variação da taxa de falhas dos componentes durante a sua vida.



Fig.6 Curva da Banheira

Quando todos os componentes de uma amostra são novos e entram em funcionamento, apresentam uma taxa elevada de falhas $\lambda(t)$, devido á existência de defeitos, a partir da qual a taxa de falhas assume o valor de constante, esse período designa-se por período de fase infantil ou de mortalidade infantil. A forma eficaz de minimizar esse problema, para além dos necessários cuidados nos projectos e rigor de fabrico, consiste na prática de ensaios dos itens em condições de serviço simulado ou “rodagem” antes da entrada de em serviço efectivo. Na fase de maturidade, as falhas são frequentes devido a solicitações de operação superiores às projectadas, ocorrendo de forma aleatória, pois não obedecem a qualquer lógica de ocorrência. Durante a fase de maturidade o item apresenta uma taxa de falhas aproximadamente constante, isto é, não depende do tempo, nestas condições verifica-se que quer a função densidade probabilidade de falha $f(t)$ quer a função fiabilidade $R(t)$, são funções exponenciais logo:

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t).d(t)} = e^{-\lambda.t} \quad (\text{Eq.3.9})$$

$$f(t) = \lambda(t).R(t) = \lambda. e^{-\lambda.t} \quad (\text{Eq.3.10})$$

Num grande número de situações práticas, o recurso á função exponencial é suficiente e quando se verificam as seguintes condições:

- Minimização do período de mortalidade infantil;
- Minimização (ou anulação – substituindo preventivamente) o período de degradação.

Constata-se que é inútil substituir preventivamente itens durante a fase de maturidade, tal procedimento é, antes pelo contrário condenável, na medida em que potencia a mortalidade infantil. A substituição preventiva de um item só se torna útil quando se verifica claramente a existência de um fenómeno de envelhecimento (desgaste, fadiga, corrosão) devendo ser realizada antes que se verifique a deterioração das condições operacionais do item. O interesse de análise desta fase reside no facto de ser necessário conhecer o momento do seu início provável (para poder ser evitado, ou pelo menos adiado). Este objectivo consegue-se através de estabelecimento de políticas de manutenção preventiva (de beneficiação ou de substituição).

Tabela 1 Relação entre fases do ciclo de vida e estratégias de manutenção

Fases	Estratégia de Manutenção	Efeitos e Consequências
Fase Infantil ou Mortalidade Infantil	Correctiva	Diminui o tempo da mortalidade infantil ao reforçar os itens que falharam e remove as causas de origem das falhas
	Preditiva	Monitoriza as falhas que estão em fase de progresso, sendo entanto poucas nesta fase, pois as falhas são de origem por baixa resistência do item físico
	Preventiva	Agrava a mortalidade infantil ao trocar os itens fortes, que não têm falhas de origem
Fase de Maturidade	Correctiva	Não previne as falhas catastróficas, mas pode reduzir a probabilidade de falha eliminando os modos de falha que passaram da fase da mortalidade infantil
	Preditiva	Informa o início da falha e monitoriza os processos de falha progressivos
	Preventiva	Retorna á mortalidade infantil ao trocar os itens fortes, que não têm falhas de origem e ainda não iniciaram o desgaste
Fase de Envelhecimento	Correctiva	Só será útil se for capaz de retardar o início da falha
	Preditiva	Monitoriza os processos progressivos de falha já iniciados
	Preventiva	Previne a degradação antecipando a troca do item que vai realmente falhar

3.4 Distribuição de Weibull

No âmbito dos estudos de fiabilidade a distribuição de Weibull é considerada umas distribuições mais utilizadas, esta distribuição derivou do nome de um professor sueco Waloddi Weibull (1887 – 1979) Murthy et al (2004). É bastante flexível podendo ser ajustada a uma grande variedade de distribuições de probabilidade. Esta distribuição contribui para análise de tempos entre falhas, dada a sua capacidade de descrever o comportamento do sistema, quer este demonstre uma taxa de falhas constante, crescente ou decrescente. Nelson (2004)

Na definição da distribuição de Weibull são definidos três parâmetros para a

medida descritiva de duração de vida β , η e t_0 .

O β é o parâmetro de forma e caracteriza a forma da curva de ocorrência da avaria $f(t)$, define o ciclo de vida do item e reflecte o modo de degradação do item:

- $1,5 < \beta < 2,5$ Corresponde ao estado de fadiga;
- $3 < \beta < 4$ Corresponde ao estado de desgaste ou corrosão:

Verifica que a distribuição pode-se aplicar, indiferentemente, aos três períodos da vida do órgão:

- $\beta < 1$ corresponde á fase infantil ou mortalidade infantil;
- $\beta = 1$ Fase de maturidade;
- $\beta > 1$ Fase de envelhecimento;

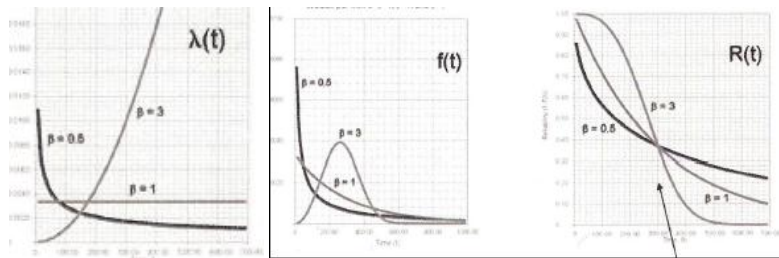


Fig.7 - Efeito de β em $\lambda(t)$, $f(t)$ e $R(t)$

O η parâmetro de escala ou intervalo de vida define o intervalo de tempo t_0 e β para o qual o $F(t) = 0,63$, ou seja indica o número de horas durante o qual a maioria dos elementos são afectados.

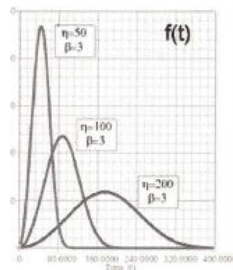


Fig. 8 Efeito de η em $f(t)$

O t_0 parâmetro de posição ou vida garantida define qual o instante até ao qual não se verificam avarias:

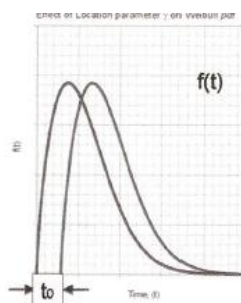


Fig. 9 Efeito de t_0 em $f(t)$

As expressões da distribuição de Weibull são dados então por:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (\text{Eq.3.11})$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{Eq.3.12})$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{Eq.3.13})$$

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{Eq.3.14})$$

$$\text{MTBF} = t_0 + \eta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (\text{Eq.3.15})$$

onde $\Gamma(x)$ constitui a função gama de Euler

$$\Gamma(x) = \int_0^\infty y^{x-1} \cdot e^{-y} dy \quad (\text{Eq.3.16})$$

$$\Gamma(x) = (x-1) \Gamma(x-1) \quad (\text{Eq.3.17})$$

3.5 Distribuição Normal

Esta distribuição é bastante eficaz na modelação de fenómenos de fadiga e degradação e caracterizada por dois parâmetros μ (média) e σ (desvio de padrão).

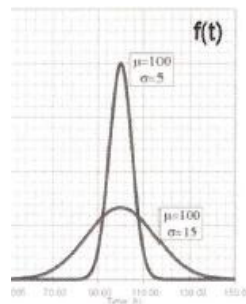


Fig.10 Efeito do desvio de padrão na distribuição normal

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot \sigma} \cdot e^{-\left[\frac{1}{2} \cdot \frac{(t-\mu)^2}{\sigma^2}\right]} \quad (\text{Eq.3.18})$$

A função fiabilidade da distribuição normal é definida por:

$$R(t) = \int_0^\infty \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot \sigma} \cdot e^{-\left[\frac{1}{2} \cdot \frac{(t-\mu)^2}{\sigma^2}\right]} dt \quad (\text{Eq.3.19})$$

Dado que o integral não é resolúvel, a fiabilidade deverá ser avaliada numericamente tendo em conta as tabelas de probabilidade acumulada da distribuição normal padronizada (variável z média centrada em zero e variância de 1) :

$$R(t) = \Pr \{T \geq t\} = \Pr \left\{ z \geq \frac{t-\mu}{\sigma} \right\} = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (\text{Eq.3.20})$$

$$F(t) = \Pr \{T \leq t\} = \Pr \left\{ z \leq \frac{t-\mu}{\sigma} \right\} = \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (\text{Eq.3.21})$$

3.6 Distribuição Normal Logarítmica

Caracterizada por dois parâmetros t_{mediana} e s (parâmetro de forma)

$$R(t) = \Pr \{T \geq t\} = \Pr \{\ln T \geq \ln t\} = \Pr \left\{ z \geq \frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{\text{mediana}}} \right\} = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{\text{mediana}}}\right) \quad (\text{Eq.3.22})$$

$$F(t) = \Pr \{T \leq t\} = \Pr \{\ln T \leq \ln t\} = \Pr \left\{ z \leq \frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{\text{mediana}}} \right\} = \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{\text{mediana}}}\right) \quad (\text{Eq.3.23})$$

3.7 Manutibilidade

A manutibilidade pode ser definida como a probabilidade de recuperar um sistema nas condições funcionamento especificadas, quando as acções de manutenção são efectuadas nas condições e com os meios previstos.

Segundo a norma EN13306 2010 (ed.2) manutibilidade é aptidão de um bem sob condições de utilização definidas poder ser mantido ou reposto num estado em que possa cumprir uma função requerida depois de lhe ser aplicada manutenção em condições determinadas, utilizando procedimentos e meios prescritos.

Sharma e Kumar (2008) afirmam que a figura chave da manutibilidade é o tempo médio de reparação (MTTR) e um limite para o tempo máximo para a reparação. O MTTR para o sistema poderá ser obtido pela média ponderada dos tempos de reparação de cada modo de falha.

Por forma a quantificar a manutibilidade $M(t)$, a distribuição dos tempos técnicos deverá ser conhecida. Sendo TTR a variável contínua que representa o tempo de reparação de uma unidade avariada:

$$M(t) = \Pr(TTR < t) = \int_0^t h(t) dt \quad (\text{Eq.3.22})$$

Os tempos técnicos de reparação compõem-se geralmente pelo somatório dos seguintes tempos:

- Tempo de verificação que avaria existe de facto (eliminar falso alarme)
- Tempo de acesso ao item avariado;
- Tempo de diagnóstico;
- Tempo de substituição e/ou reparação;
- Tempo de controlo e de arranque do sistema;

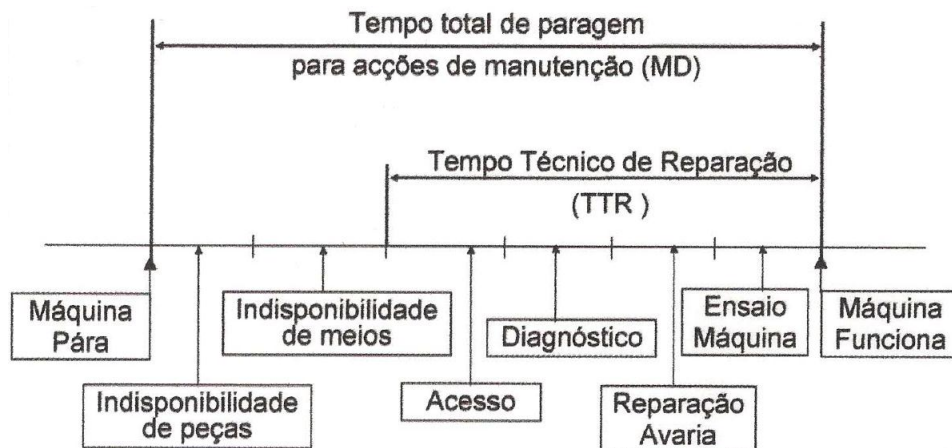


Fig.11 Tempos Técnicos da Reparação

Os tempos totais de paragem para acções de manutenção engloba os TTR e os tempos de indisponibilidade devido á:

- Falta de peças;
- Falta de meios (técnicos, ferramentas, equipamentos de apoio, instalações, manuais ou informação técnica);

Há a existência de alguns parâmetros para aumentar a manutibilidade tais como:

- Facilidade de diagnóstico (Instalação de sensores de detecção de avaria (desgaste e temperatura)
- Facilidade de medição (Instalação de contadores de unidades de funcionamento)
- Facilidade de reparação/substituição (Arquitectura modular, fácil acesso aos componentes)
- Normalização dos componentes, equipamentos e sistemas

3.7.1 Distribuições Estatísticas da Manutibilidade

3.7.1.1 Exponencial Negativa

Esta distribuição é aplicada no caso de equipamentos de complexidade média alta e no caso de operações não repetitivas.

$$M(t) = 1 - e^{-\frac{t}{MTTR}} \quad (\text{Eq.3.23})$$

3.7.1.2 Logarítmica Normal

Esta distribuição é utilizada no caso de equipamentos complexos e no caso de muitas operações elementares.

$$M(t) = \Pr\{\ln T \leq \ln t\} = \Pr\left\{z \leq \frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{\text{mediana}}}\right\} = \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{\text{mediana}}}\right) \quad (\text{Eq.3.26})$$

3.7.1.3 Normal

Esta distribuição é utilizada no caso de equipamentos simples que não requerem um especialista (retirar ou substituir componentes) e no caso de operações repetitivas.

$$\mu = MTTR$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TTR_i - \mu)^2}{n-1}} \quad (\text{Eq.3.24})$$

3.8 Simulação Monte Carlo em Fiabilidade

Os sistemas de engenharia normalmente têm múltiplos estados de falha, logo grande número de estados do sistema devem ser considerados. O método de Monte Carlo é um dos métodos mais utilizados na resolução de problemas de grande dimensão, pois possibilita a simulação da operação do sistema. Baseia-se na simulação de um número suficiente de estados do sistema, a partir do “sorteio de valores” para a suas variáveis ou estados internos, de acordo com as suas respectivas probabilidades de ocorrência. Com esses dados, a probabilidade de ocorrência de um determinado estado, grupo de estados ou intervalo de valores de uma determinada variável pode ser então calculada a partir da relação simples entre o número de estados simulados nos quais foi observada a situação de interesse e o número total de estados gerados durante o processo. Santos et al (2009).

3.8.1 Estados do Sistema

O estado do sistema é modelado como a combinação dos estados de cada um dos seus componentes ou subsistemas. Assim, o estado de um sistema composto de m componentes ou subsistemas é definido como:

$$S = (S_0, S_1, S_2, \dots, S_{m-1}) \quad (\text{Eq.3.25})$$

O estado dos componentes do sistema, ou subsistemas é definido individualmente, podendo assumir o estado “normal” ou “falha”. Pode-se adoptar um modelo mais detalhado, no qual existem um ou mais estados intermediários ou de operação em estado de degradação, como por exemplo, situações nas quais o componente se encontre em manutenção preventiva.

A simulação de Monte Carlo é responsável por produzir os estados S^K válidos para o sistema, seleccionando estados internos S_i^K para os seus componentes aleatoriamente a partir das suas taxas de falha.

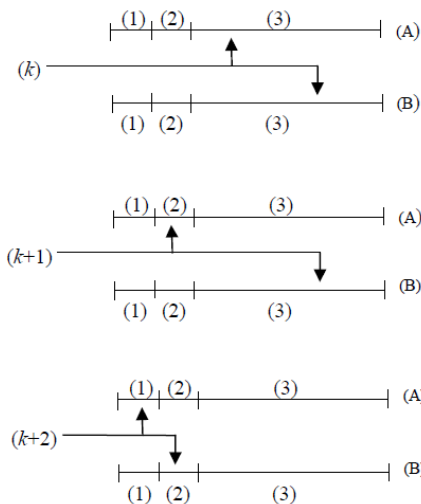


Fig.12 Metodologia Baseada em Monte Carlo

- (1) MTTR – Manutenção Correctiva
- (2) Equipamento em Manutenção Preventiva/Preditiva
- (3) MTBF – Bom Funcionamento
- (A) Equipamento A
- (B) Equipamento B

Uma sequência de três “sorteios”, onde cada equipamento [(A) e (B)], possui os seus dados de fiabilidade [(1),(2) e (3)]. Por intermédio desses sorteios, a seguinte sequência é observada:

- Estado Sorteio K (A e B operacionais)
- Estado Sorteio K+1 (A em preventiva/preditiva e B operacional)
- Estado Sorteio K+2 (A falhou e B em preventiva/preditiva)

Considerando que N-1 não é um estado crítico, pois o sistema está preparado uma contingência simples, o único estado crítico é o estado alcançado no sorteio K+2, onde existe uma sobreposição de falhas.

3.8.2 Estados Internos

O estado de cada elemento do sistema (item ou subsistema) pode ser modelado em termos de operação normal ou em falha.

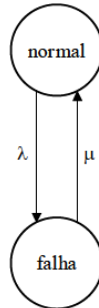


Fig.13 Estado de operação normal e falha

O parâmetro λ representa a taxa de falhas do elemento em unidades de falha por unidade de tempo, o parâmetro μ é a taxa de reparação do elemento, em unidades de intervenções por unidade de tempo.

Outro modelo para o estado dos elementos pode incluir um ou mais estados intermediários, nos quais uma situação de estado de degradação é utilizada a manutenção preventiva.

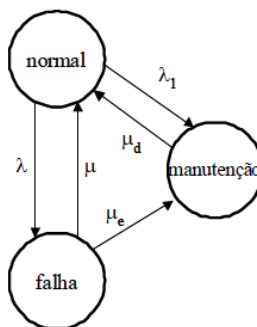


Fig.14 Estado com manutenção preventiva

Neste último modelo, o parâmetro λ_1 é a taxa de manutenção, μ_d é uma taxa inversamente proporcional ao tempo necessário para a realização da manutenção e μ_e pode ser utilizada para modelar uma taxa de reparação de “emergência”, em situações nas quais o componente em falha é levado temporariamente ao estado intermediário de manutenção. Determina-se então os tempos médios em que cada subsistema fica no

estado de “falha” e “manutenção”, a partir da sua taxa de falha (λ^i em falhas por ano) e de sua taxa de manutenção (ν^i em manutenções por ano):

$$T_{falha}^i = \lambda^i * t_{falha}^i \quad (\text{Eq.3.26})$$

$$T_{manutenção}^i = \nu^i * t_{manutenção}^i \quad (\text{Eq.3.27})$$

Onde, t_{falha}^i é o tempo médio de reparação do subsistema i após uma falha e $t_{manutenção}^i$ é o tempo médio da sua manutenção preventiva/preditiva. O estado do elemento i a cada iteração pode ser obtido então pelo o sorteio de um número aleatório U ($0 \leq U \leq 1$), como sendo:

$$S_i = \text{“falha”}, \text{ se } U < T_{falha}^i \quad (\text{Eq.3.28})$$

$$S_i = \text{“manutenção”}, \text{ se } T_{falha}^i < U < T_{falha}^i + T_{manutenção}^i \quad (\text{Eq.3.29})$$

$$S_i = \text{“normal”}, \text{ se } U \geq T_{falha}^i + T_{manutenção}^i \quad (\text{Eq.3.30})$$

Capítulo 4

Manutenção Centrada na Fiabilidade

4.1 Definição

A manutenção centrada na fiabilidade teve a sua origem na década de 60 com a necessidade de aplicar programas de manutenção na indústria aeronáutica. Segundo Siqueira (2009) a manutenção centrada na fiabilidade está relacionada com os processos tecnológicos e sociais que se desenvolveram após a segunda guerra mundial. Na área da tecnologia, as pesquisas relacionadas na indústria bélica, automação industrial, a evolução da informática e telecomunicações foram fundamentais para desenvolvimento deste tipo de manutenção. Trabalhos efectuados demonstraram que não existe uma verdadeira correlação entre idade e taxa de falhas, além de se provar que a premissa básica de manutenção baseada no tempo era falsa para a maioria dos equipamentos.

Segundo Moubrey (2000), o prazer em ver os itens em óptimas condições levam os engenheiros da manutenção a acreditar que o objectivo seja preservar a fiabilidade inerente do equipamento, ou seja, quando é feita a manutenção do equipamento, o estado de preservação deve ser aquele que permita ao item continuar a desempenhar a sua função e não somente respeitar uma recomendação de fabricante. A manutenção centrada na fiabilidade apresenta-se como uma filosofia de trabalho, um processo usado para determinar o que deve ser feito para assegurar que qualquer item físico continue a fazer os que os utilizadores querem que ele faça no seu contexto operacional, ou seja, é uma metodologia que identifica, no contexto de cada operação, quais as acções mais indicadas para a preservação das funções nela existente.

Neste processo é essencial identificar o índice de fiabilidade de cada equipamento e do processo como um todo e como essa fiabilidade pode ser melhorada. Pela sua característica científica requer uma equipa de manutenção mais especializada para o desenvolvimento dos estudos da fiabilidade. Um bom estudo da fiabilidade pode dar ao sistema maior racionalidade na aplicação dos recursos destinados á manutenção, melhorar a gestão de stocks e as paragens programadas. A manutenção centrada na fiabilidade vem auxiliar na optimização ao nível da disponibilidade dos equipamentos e nos seus custos, permitindo reduzir de 40% a 70% as intervenções periódicas.

As estratégias de manutenção em vez de serem aplicadas independentemente, são integradas para tirarmos vantagens dos seus pontos fortes, de modo a aperfeiçoar a operacionalidade e eficiência da instalação e dos equipamentos. No campo social a manutenção centrada na fiabilidade resultou na dependência da sociedade contemporânea em relação aos métodos automáticos de produção. Sua dimensão atingiu níveis suficientes de modo a afectar o meio ambiente e a própria segurança física dos

seres humanos. Em paralelo evolui a consciência mundial da preservação dos recursos naturais, aliado á necessidade ascendente da garantia da segurança física.

Tabela 2 Análise comparativa entre a manutenção tradicional e a manutenção centrada na fiabilidade

Questões	Manutenção Tradicional	Manutenção Centrada na Fiabilidade
Foco	Equipamento	Função do Sistema
Objectivo	Manter o equipamento	Preservar a função do sistema
Actuação	Componente (Parte)	Sistema (todo)
Actividades	O que pode ser feito	O que deve ser feito
Dados	Pouca importância	Muita importância
Documentação	Pouca	Fundamental
Metodologia	Empírica	Estruturada
Acção	Desgaste do equipamento	Planeamento: Consequência da falha
Normalização	Não	Sim

4.2 Normalização

Em relação á normalização a manutenção centrada na fiabilidade é baseada na norma internacional a SAE JA 1011:1999 Critérios de Avaliação da Manutenção Centrada na Fiabilidade, que define os critérios mínimos que qualquer processo tem que cumprir para ser considerado de manutenção centrada na fiabilidade. Devido ao elevado nível de conceitos e terminologias foi elaborada outra norma a SAE JA 1012:2002 com o objectivo de clarificar e pormenorizar os conceitos e termos que são únicos da manutenção centrada na fiabilidade.

4.2.1 Funções

Inicialmente “Função” pode ser definida como aquilo que o utilizador quer que item físico ou sistema faça (SAE JA 1011:1999), para Moubray (2000), a definição de uma função deve consistir de um verbo, um objecto e o padrão de desempenho desejado. As funções estão divididas em funções principais e funções secundárias, iniciando-se sempre pelas funções principais.

A função principal de item físico está associada, principalmente, á razão pela qual o item foi adquirido. Moubray (2000) complementa que os itens físicos são geralmente adquiridos para uma, possivelmente, duas e não mais do que três funções principais. O principal objectivo da manutenção é assegurar o desempenho mínimo das funções principais, no entanto na maioria das vezes, os itens físicos realizam outras

funções além das funções principais. Essas funções são chamadas de secundárias e podem ser divididas nas seguintes categorias, segundo Moubray (2000):

- a) Integridade ambiental;
- b) Segurança/integridade estrutural;
- c) Controlo;
- d) Aparência;
- e) Economia e eficiência;
- f) Supérfluas

È de salientar que, embora menos importantes que as funções principais, as funções secundárias requerem atenção e devem ser bem identificadas, pois podem gerar consequências negativas em determinadas situações.

4.2.2 Padrões de Desempenho

Embora os equipamentos sejam projectados e desenvolvidos para garantir um padrão mínimo de desempenho, o que se verifica na prática é que em consequência do trabalho contínuo efectuado pelas máquinas, os seus componentes acabam deteriorados. Qualquer máquina ou componente que for utilizado em operação deverá ser capaz de produzir mais do que o padrão mínimo de desempenho desejado, esse limiar de produção do equipamento é tido como a capacidade inicial ou fiabilidade inerente ao equipamento.

A manutenção deve garantir o desempenho sempre acima do padrão de desempenho mínimo desejado pelo utilizador. E a determinação da capacidade inicial, bem como do desempenho mínimo que é desejado pelo utilizador para o seu item físico, é da extrema importância quando se quer desenvolver um programa de manutenção centrada na fiabilidade.

4.2.3 Contexto Operacional

O contexto operacional está relacionado com as condições nas quais o item físico irá operar, que vai afectar as funções principais e secundárias, além da natureza dos modos de falha, dos seus efeitos e consequências. Assim uma boa compreensão do contexto operacional requer que sejam considerados os seguintes factores:

- 1) Processos em lote ou em fluxo;
- 2) Redudância;

- 3) Padrões de Qualidade;
- 4) Padrões Ambientais;
- 5) Padrões de Segurança;
- 6) Turnos de Trabalho;
- 7) Trabalho em Processo;
- 8) Tempo de Reparação;
- 9) Peças de Substituição;

4.2.4 As Falhas Funcionais

Falha pode ser definida como a incapacidade do item físico de fazer o que o utilizador quer que ele faça. Tal conceito é vago, pois não define de forma clara entre o estado de falha, ou seja, falha funcional e os eventos, que são os modos de falha que geram o estado da falha. Segundo Siqueira (2009) a falha consiste na interrupção da capacidade de um item desempenhar uma função requerida ou esperada. Prevenir e corrigir as falhas constitui um dos principais objectivos da manutenção sendo para isso necessário conhecer as formas como os sistemas falham. As falhas são classificadas de acordo com o efeito que provocam sobre a função do sistema a que pertencem, sendo divididas em duas categorias:

- Falha Funcional: definida pela incapacidade de um item de desempenhar uma função específica dentro dos limites desejados;

- Falha Potencial: indica o ponto onde o item físico começa a apresentar a perda de desempenho da função. A falha potencial é uma condição de identificação da falha funcional que está na iminência de ocorrer ou em processo de ocorrência;

As falhas funcionais, por sua vez, são classificadas em três categorias, de acordo com a sua visibilidade:

- Falha evidente: que é detectada pelo operador durante o trabalho normal;
- Falha oculta: uma falha que não é detectada pela equipa de manutenção durante o trabalho normal;
- Falha múltipla: uma combinação de uma falha oculta mais uma segunda falha, ou evento, que a torne evidente;

4.2.5 Modo de Falha

A SAE JA 1011:1999 define que o modo de falha é considerado como qualquer evento que possa levar um item (sistema ou processo) a falhar, estando relacionado com as prováveis causas de cada falha funcional. Segundo Barbosa (2009) a identificação dos modos de falha de um item físico é um dos processos mais importantes no desenvolvimento de qualquer programa que pretenda que assegurar que o item continue a executar as suas funções previstas. Quando num sistema ou processo os seus modos de falha são identificados, torna-se possível planejar acções para corrigir ou prevenir a falha. Na prática, dependendo da complexidade do item físico do contexto operacional e do nível em que está sendo feita a análise, são listados de um a cerca de trinta modos de falha como causas da falha funcional. Moubray (2000)

4.2.6 Causa da Falha

De acordo com Siqueira (2009), é importante distinguir modo de falha e causa da falha. O modo de falha descreve o que está errado na funcionalidade do item, já a causa descreve porque está incorrecta a funcionalidade do item. A causa da falha pode ser associada a:

- 1) Falha de projecto;
- 2) Defeitos de material;
- 3) Deficiências durante o processamento ou fabricação dos componentes;
- 4) Defeitos de instalação e montagem;
- 5) Condições de serviço não previstas ou fora de projecto;
- 6) Deficiências da manutenção;
- 7) Operação indevida;

4.2.7 Efeitos da Falha

Para Siqueira (2009), os efeitos de falha descrevem o que acontece quando um modo de falha ocorre. Além dos mecanismos dos modos de falha devem ser também identificados as actividades preventivas e correctivas, nos efeitos adversos que decorrem das falhas e nas consequências sobre as instalações, operadores e meio ambiente. Assim pesquisar os efeitos das falhas consiste em investigar como os modos de falha se propagam e tem influência nos objectivos do sistema em análise e na funcionalidade da instalação. Há que ter em atenção de não confundir o efeito de falha com consequências da falha. O efeito da falha responde á pergunta “o que acontece quando o modo de falha ocorre?” enquanto a consequência da falha responde á questão “Quais são as consequências quando o modo de falha ocorre?”.

4.2.8 Consequências da Falha

Na ocorrência de alguma falha, a empresa que utiliza o item é prejudicada de alguma forma. As falhas podem afectar a produção, a qualidade do serviço ou do produto, a segurança, o meio ambiente, podendo incrementar o aumento do custo operacional e do consumo de energia. A natureza e a severidade dessas consequências orientam a maneira como será vista a falha no contexto da empresa. Sob essa visão, a análise da manutenção indica que as consequências das falhas devem ser mais valorizadas do que as características técnicas. Dessa maneira, qualquer tarefa só deve ser executada se tratar com eficácia as consequências da falha e os meios de evitá-las. A análise das consequências da falha indica que as mesmas sejam divididas em falhas evidentes e ocultas.

Moubrey (2000) realça que uma falha evidente é aquela que, quando ocorrer, torna-se aparente para um grupo de operação ou manutenção sob condições normais. Tais falhas podem provocar a paragem da máquina, a perda da qualidade do produto ou ainda podem estar acompanhadas de efeitos físicos como cheiro incomum, ruído elevado, libertação de vapor, fuga de água ou óleo. São classificadas em três categorias, em ordem decrescente de importância:

1- Segurança Humana e Ambiental

- a) Morte;
- b) Ferimentos;
- c) Poluição;

2-Operacionais

- a) Produção total;
- b) Qualidade do produto;
- c) Serviço de atendimento ao cliente;
- d) Custos operacionais;

3-Não operacionais

- a) Perdas de oportunidade;
- b) Perdas de competitividade;
- c) Problemas económicos;

4.3 Perguntas da Manutenção Centrada na Fiabilidade baseadas na norma SAE JA 1011

A manutenção centrada na fiabilidade baseia-se nas seguintes perguntas de acordo com a norma SAE JA 1011:

1) O que é o sistema?

- a) Descrição;
- b) Responsabilidade dos componentes na operação;
- c) Hierarquização;
- d) Entradas, saídas, recursos e limitações (diagrama de blocos funcionais)
- e) Interfaces (fronteiras) entre os componentes e com os outros sistemas

4.3.1 Método SADT para elaboração do diagrama de blocos funcionais

O método SADT (Standard Analysis and Design Technique) serve para facilitar o entendimento de como são os sinais de entrada e de saída, quais são os mecanismos de controlo necessários á execução de uma determinada função pelo sistema e como um componente interage com os outros. Como entradas deve-se representar as energias, os materiais e/ou as informações necessárias á execução da função, os controlos e outros elementos que limitam ou gerem a forma como a função é executada e por fim os mecanismos quer sejam as pessoas, os sistemas, as ferramentas ou os equipamentos necessários á execução da função.

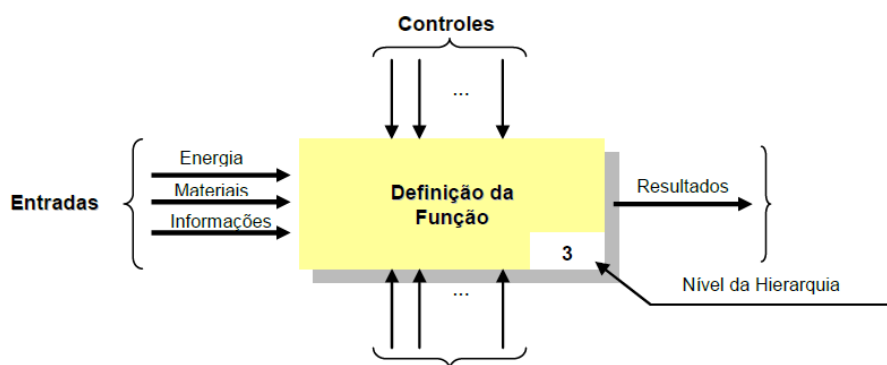


Fig.15 Método SADT

2) Quanto ao sistema, quais as funções ou padrões de desempenho que pretendo preservar?

3) De que forma o sistema falha em cumprir as suas funções (Falhas Funcionais)?

4) Quais são os modos de falha (FMEA)?

5) O que acontece quando ocorre cada falha? (Efeitos da Falha)

6) Qual a importância de cada falha? (Consequências da Falha)?

7) O que pode ser feito para detectar e prevenir a falha? (Tarefas Preditivas e Preventivas)

8) O que deve ser feito se não for encontrada uma tarefa pró-activa adequada? (Acções Default)

Actividades default são tarefas que tratam o estado de falha e são escolhidas quando não é possível identificar uma tarefa pró-activa efectiva tendo como exemplo pesquisa da falha, reprojecto e rodar até falhar.

9) Qual é a periodicidade das tarefas?

Nesta etapa são determinados os planos de manutenção com os tempos de intervenção, tendo como base a melhoria contínua da metodologia aplicada e a caracterização de indicadores (Fiabilidade, Manutibilidade e Disponibilidade) para percepção do desempenho antes e depois.

10) Existem outras alternativas?

4.4 Ferramentas da Manutenção Centrada na Fiabilidade

Uma das formas para realizar a análise das falhas é ilustrar o processo de formação das falhas através de diagramas/tabelas. Exemplos de ferramentas são a FMEA (Failure Mode Effects Analysis), FMECA (Failure Mode and Criticality Analysis), VMEA (Variation Mode and Effect Analysis), RCA (Root Cause Analysis), (Fault Tree Analysis (FTA), Árvore Lógica de Decisão (ALD) e Diagrama de Decisão.

4.4.1 Análise dos Modos e Efeitos da Falha (FMEA)

A metodologia de análise dos modos e efeitos da falha, conhecida como FMEA do inglês (Failure Mode Effect Analysis), foi proposta pela primeira vez pela NASA em 1963, desde então tem sido amplamente utilizada como técnica para sistemas de segurança e análise de fiabilidade de produtos e processos, em que objectivo é a tomar acções antes da falha e não há posteriori. Bahrami et al (2012).

De acordo com Ahire e Relkar (2012) a FMEA é uma técnica de engenharia utilizada para definir, identificar, eliminar falhas potenciais, problemas do sistema, design, processo ou serviço antes de chegar ao cliente. Efectua uma abordagem sistemática e dedutiva em que os engenheiros se apoiam num processo de fabricação ou de manutenção que busca identificar algo de errado, defeitos, ou produtos fora da especificação. É uma metodologia documentada que permite ainda padronizar procedimentos, realizar registo de histórico de falhas que poderão ser consultados posteriormente para realizar outras revisões do processo ou do produto, além de seleccionar e dar prioridade a projectos de melhoria, efectuando uma identificação sistemática dos seguintes aspectos:

- Função: com o nível desejado de desempenho;
- Falha Funcional: estado relativo á perda da função ou desvio funcional;
- Modo de Falha: o que pode falhar;
- Causa da Falha: porque ocorre a falha;
- Efeito da falha: impacto resultante na função principal;

Numa FMEA são identificados as funções de uma instalação ou sistema, os tipos de falha que podem ocorrer, os efeitos e as possíveis causas da falha, seguidos da avaliação. Com base nessas avaliações são tomadas as acções necessárias para diminuir esses riscos e aumentar a fiabilidade.

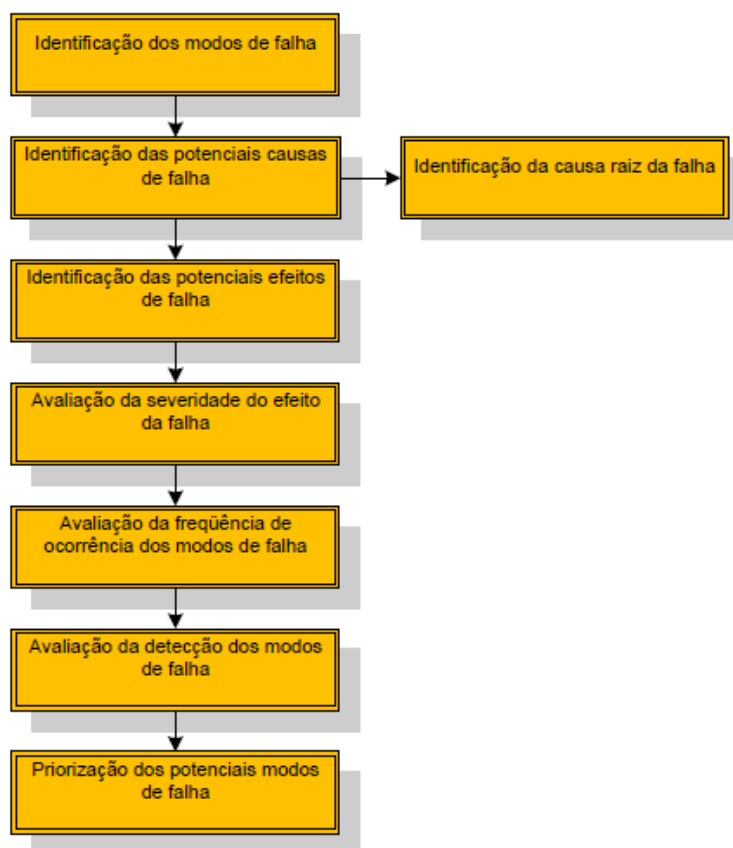


Fig.16 Diagrama de Etapas da FMEA

4.4.2 Análise de Criticidade dos Modos e Efeitos da Falha (FMECA)

A criticidade de um item que representa um sistema é a medida da sua importância no funcionamento do mesmo, baseando-se nas suas análises operacionais. As normas MIL-STD-1629A e BS 5760 definem “criticidade” com uma medida relativa das consequências e a frequência de ocorrência das falhas, estas normas definem “análise de criticidade” como um procedimento de listagem dos modos de falha de uma forma hierarquizada combinando a influência da severidade e a probabilidade da ocorrência.

A FMECA focaliza-se com aspectos relacionados com a fiabilidade do sistema e segurança da instalação, assim poderá ser avaliada a gravidade dos efeitos da falha sobre a continuidade operacional do sistema e sobre a segurança dos operadores. Pode ser aplicada em vários níveis, ou seja, itens, componentes ou sistemas dependendo do grau de detalhamento desejado. Para Rigoni (2009) esta metodologia associa cada modo de falha a um índice de criticidade que servirá de orientação no estabelecimento de prioridades das acções a serem tomadas para prevenção ou eliminação das falhas. O índice de prioridade de risco é conhecido como NPR (Número de Prioridade de Risco) e

é obtido com os factores de Gravidade (G), Frequência (F) e Detectabilidade (D) :

$$\text{NPR} = \text{Gravidade} \times \text{Frequência} \times \text{Detectabilidade}$$

Quanto maior o valor do NPR, maior será a criticidade do modo de falha associado para o processo de manutenção. Segundo Kardec e Xavier (2010) os factores que compõem o NPR resultam de uma classificação comparativa dos modos de falha:

- Gravidade: reflecte o grau de severidade dos efeitos da falha. A faixa de valores de 1 a 10, onde 10 representa a maior gravidade;

- Frequência: reflecte a probabilidade de ocorrência do modo de falha. A faixa de valores de 1 a 10, onde 10 representa a maior probabilidade de ocorrência;

- Detectabilidade: reflecte a dificuldade em se identificar as causas do modo de falha a tempo de prevenir uma falha funcional. A faixa de valores é de 1 a 10, onde 10 classifica como improvável a detecção das causas do modo de falha;

Componente do NPR	Classificação	Peso
FREQUÊNCIA DA OCORRÊNCIA - F	Impossível	1
	Muito Pequena	2 a 3
	Pequena	4 a 6
	Média	7 a 8
	Alta	9 a 10
GRAVIDADE DA FALHA - G	Apenas perceptível	1
	Pouca importância	2 a 3
	Moderadamente grave	4 a 6
	Grave	7 a 8
	Extremamente grave	9 a 10
DETECTABILIDADE - D	Alta	1
	Moderada	2 a 3
	Pequena	4 a 6
	Muito pequena	7 a 8
	Improvável	9 a 10
ÍNDICE DE RISCO - NPR	Baixo	1 a 50
	Médio	50a 100
	Alto	100 a 200
	Muito alto	200 a 1000

Fig.17 Tabela do número de prioridade de risco (NPR)

4.4.3 Modo de Variação e Análise do Efeito (VMEA)

O modo de variação e análise do efeito é um método destinado a encontrar áreas críticas em termos de efeitos indesejados de variação, podendo ser visto como um desenvolvimento da FMEA, identificando que as falhas são geralmente desencadeadas por variação. Enquanto que a FMEA é um método de baixo para cima, a VMEA é um método de cima para baixo. Três procedimentos de VMEA foram desenvolvidos a básica, a avançada e a probabilística. Johannesson et al (2012)

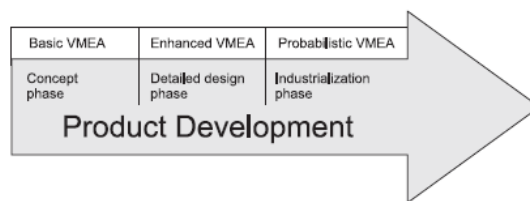


Fig.18 Procedimentos VMEA aplicado a diferentes fases de desenvolvimento do produto

- Na fase de concepção inicial (VMEA básica) é importante identificar os factores de ruído e estabelecer o conhecimento sobre eles. A VMEA tem como objectivo identificar os principais factores de ruído de modo a poder minimizá-los. As avaliações de sensibilidade e tamanho de variação são efectuadas numa escala de 1 a 10.

- Quando um projecto é finalizado (VMEA avançada) é necessário identificar as características da qualidade do material, dimensões, tolerâncias, tratamentos das superfícies de modo a cumprir exigências da fiabilidade a longo prazo. Os factores de ruído e a sua influência sobre os possíveis modos de falha devem ser quantificados e identificados nas consequências das falhas. Na VMEA avançada a avaliação da sensibilidade é efectuada com mais detalhe utilizando a chamada sensibilidade ventilador, em que o objectivo é simular a sensibilidade física. Cada uma das linhas de sensibilidade do ventilador corresponde a uma sensibilidade específica de valores entre 0 (sem sensibilidade), 1 (nem amplificação nem redução) a 60 (elevada sensibilidade).

- A (VMEA probabilística) é usada como ferramenta comum para as variações aleatórias e incertezas de modelo sendo utilizada nas fases posteriores ao projecto, ou seja, quando existe a necessidade de prever o ciclo de vida do produto, factores de segurança ou tolerâncias. A principal diferença em relação á VMEA básica e avançada é que é utilizada um modelo para previsão com incertezas estatísticas, sendo avaliado a magnitude das incertezas por desvio de padrão em vez de utilizar uma escala. A VMEA probabilística representa o conceito de teoria de fiabilidade de primeira ordem segundo

momento, sendo que a primeira ordem refere-se á linearização da função objectivo e o segundo momento refere-se á utilização das médias das variâncias e co-variâncias. O resultado corresponde a um prognóstico da incerteza da resposta do desvio de padrão, que pode ser utilizado para prever o intervalo da resposta ou para calcular o factor de segurança.

4.4.3.1 Modelo para Prognóstico da Incerteza

$$Y = f(X_1, X_2, \dots)$$

onde $f(X_1, X_2, \dots)$ é o modelo característico do produto em estudo que envolve as variáveis (X_1, X_2) . Para avaliar a prognóstico da incerteza usamos a fórmula de aproximação de Gauss que é baseada na linearização da função de resposta

$$Y \approx f(X_1, X_2, \dots) + c_1 (X_1 - x_1) + c_2 (X_2 - x_2) + \dots \text{com } c_i = \left. \frac{\partial f}{\partial X_i} \right|_{X_i = x_i}$$

logo a previsão da variação pode ser aproximada por:

$$\text{Var}[Y] \approx c_1^2 \sigma_1^2 + c_2^2 \sigma_2^2 + \dots + \sum_{i=j} c_i c_j \text{Cov}[X_i, X_j]$$

σ_i - desvio de padrão de X_i

Em muitas situações a transformação logarítmica é útil para estudar casos de carga, força ou ciclo de vida do produto como coeficiente de variação

$$\text{Var}[\ln Y] \approx \frac{\text{Var}[y]}{(\mathbf{E}[y])^2}$$

4.4.4 Análise da Causa Raíz (RCA)

A metodologia de Análise da Causa Raíz (RCA) procura identificar todos os eventos que conduziram á avaria de um dado equipamento, identificando assim a verdadeira causa da avaria de modo evitar que ocorra novamente. Após a ocorrência da avaria o método RCA analisa detalhadamente todos os eventos com alguma probabilidade de terem provocado a avaria, sendo verificados de uma forma estruturada. Dessa análise é possível definir acções que devem ser tomadas de modo a solucionar a avaria, de modo a não ocorrer novamente. O método RCA implica analisar três questões aquando da ocorrência da avaria:

- Qual foi avaria?
- Quais foram as causas da avaria?
- Que acções devem ser tomadas para que avaria não ocorra novamente?

O método é utilizado de uma forma pontual, identificando as causas de uma

avaria em particular que aconteceu numa dada altura. O conhecimento profundo de um dado modo de avaria permite que se tomem as devidas acções correctivas.

4.4.5 Análise da Árvore de Falhas (FTA)

O método da análise da árvore de falhas, traduzido do inglês “Fault Tree Analysis” (FTA) foi desenvolvido em 1962 pelos laboratórios Bell, tendo sido adaptado de modo a ser utilizado em sistemas informáticos. Este método tem como objectivo a construção de um diagrama lógico, iniciando-se pelo evento indesejável, ou falha, na qual se vai identificar a probabilidade de ocorrência. Após a revisão de todos factores intervenientes, determina-se as condições, acontecimentos ou falhas que possam contribuir para ocorrer eventos indesejáveis.

A construção da “árvore” é elaborada por diagramas através de portas lógicas definindo um relacionamento entre acontecimentos ou falhas e evento indesejável. Através da álgebra de Boole é possível simplificar as expressões matemáticas associadas às operações de adição ou multiplicação referentes a cada porta lógica. Na construção da FTA as relações entre os diferentes eventos são utilizadas simbologias de eventos e porta lógicas. Aven (2009)

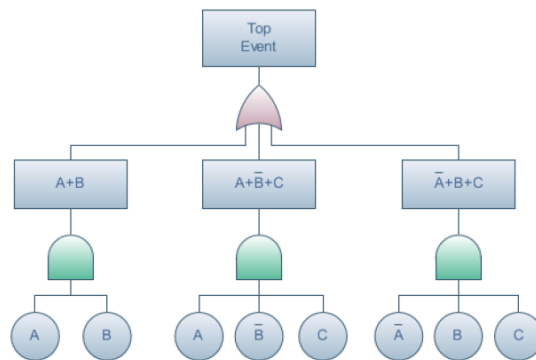


Fig.19 Diagrama de Árvore de Falhas

Símbolo	Significado	Símbolo	Significado
RETÂNGULO	Eventos que são saídas de portas lógicas.		E – Evento de saída, só ocorre se todos os da entrada ocorrerem.
CÍRCULO	Eventos associados a falhas básicas.		OU – Evento de saída, ocorre se pelo menos um dos de entrada ocorrer.
DIAMANTE	Eventos não realizados		INIBIÇÃO (CONDICIONAL) – Evento de entrada, só conduz à saída se o condicional ocorrer.
CASA	Parâmetro associado a um evento que deve ser monitorizado.		E DE PRIORIDADE – Evento de saída, ocorre se os de entrada ocorrerem da esquerda para a direita.
OVAL	Evento condicional: usado em janelas de inibição.		OU EXCLUSIVA – Evento de saída ocorre, se um, mas não ambos dos da entrada ocorrer.
TRIÂNGULO	Indica a conexão com outro símbolo ou evento.		M EM N – Evento de saída ocorre, sem em N dos da entrada ocorrerem.

Fig.20 Simbologias de Eventos e Porta Lógicas

4.4.6 Árvore Lógica de Decisão (ALD)

Trata-se de uma análise qualitativa que classifica os modos de falha em categorias, determina-se o valor de uma variável e baseado nesse valor, executa-se uma acção, podendo ser a escolhido outra variável ou a saída. O objectivo da análise desta metodologia é dar prioridade aos modos de falha que irão absorver recursos financeiros no processo da manutenção centrada na fiabilidade.

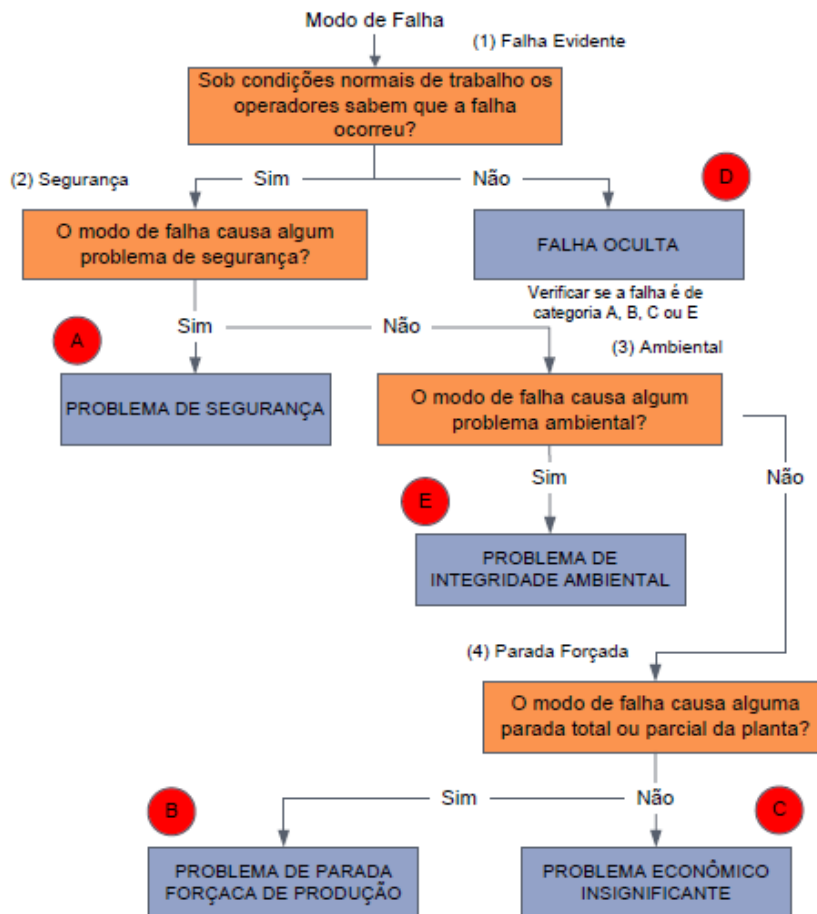


Fig.21 Diagrama de Árvore Lógica de Decisão

4.4.7 Diagrama de Decisão

Consiste no processo selectivo das tarefas de manutenção possíveis aplicáveis ao item físico, apresentando-se sob duas etapas:

- 1) Processo de selecção das tarefas
- 2) Processo de comparação das tarefas antigas com as propostas pela manutenção centrada na fiabilidade.

O diagrama apresenta nove perguntas, onde na obtenção de respostas (quando respondidas adequadamente) conduzem á especificação de uma tarefa de manutenção.

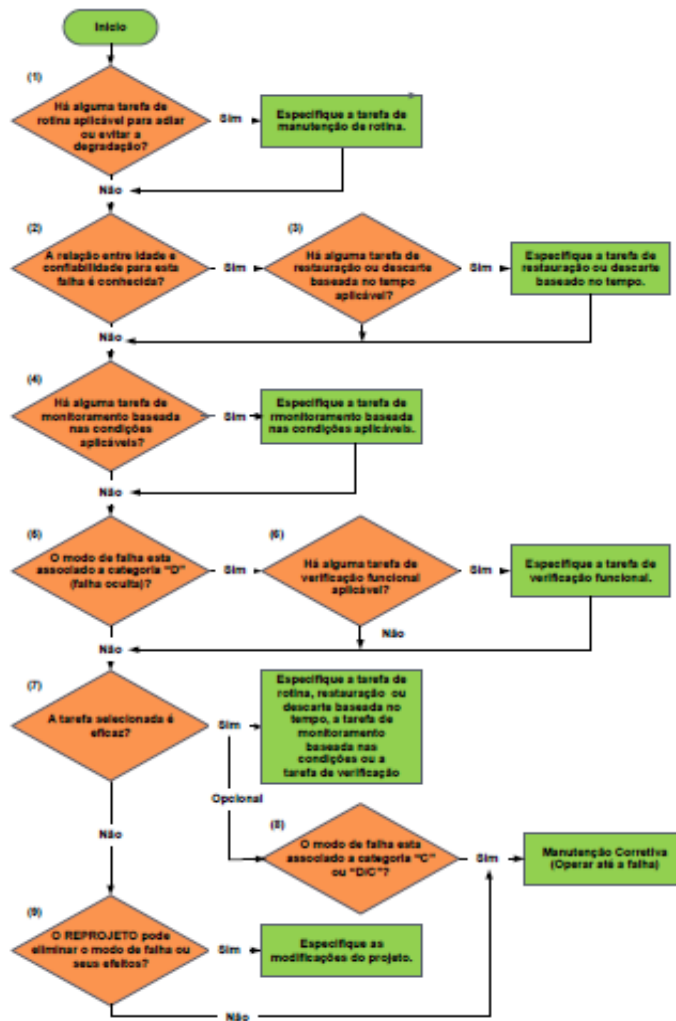


Fig.22 Diagrama de Decisão

4.5 Padrões de Falha

Com o passar do tempo os equipamentos ficaram cada vez mais complexos e isto levou a várias mudanças nos padrões de falha, padrões esses que em certos casos contrariam a ideia que quanto mais velho o equipamento ou componente menor será a sua fiabilidade. Existem seis tipos de taxa de falha ao longo do tempo segundo Moubray (2000). O perfil A é a conhecida curva da banheira, o perfil B representa um período inicial com falhas aleatórias e depois a taxa de falha cresce e o perfil C a taxa de falhas cresce lentamente. O perfil D caracteriza-se por uma baixa taxa de falhas no início que cresce até ficar constante, o perfil E caracteriza-se por uma probabilidade de falha

constante durante toda a vida. O modelo F começa com uma alta mortalidade infantil e depois estabiliza.

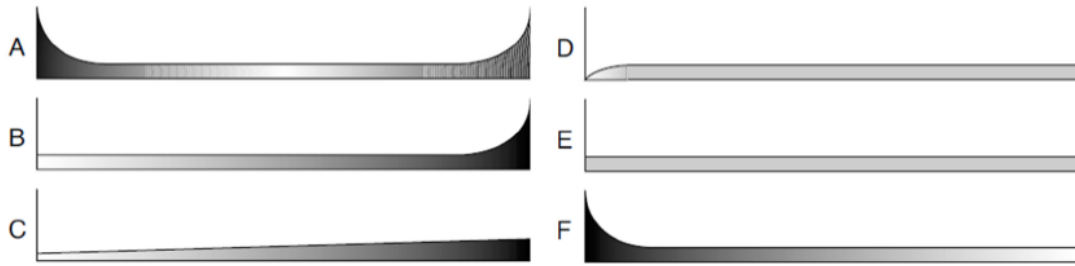


Fig.23 Diferentes perfis de falha

A manutenção preditiva procura medir e analisar as variáveis do equipamento que possam efectuar um prognóstico de uma eventual falha, e assim a equipa de manutenção possa programar uma futura intervenção. Segundo Marcorin (2003) o custo da manutenção preditiva pode parecer elevado, mas este investimento é compensado pelos seus resultados, principalmente em equipamentos cuja paragem traz grandes prejuízos ao processo e quando o custo de stock do item do equipamento é elevado. Este tipo de manutenção deve considerar o processo de deterioração das condições que levam á falha. A manutenção preditiva é eficaz quando se determina com boa precisão do intervalo entre o ponto do início do processo de falha (ponto P) e a falha funcional (ponto F), em outras palavras, o tempo de evolução da falha PF. Assim se o intervalo de inspecção for menor que o intervalo PF, a manutenção preditiva será eficiente. Souza (2003)

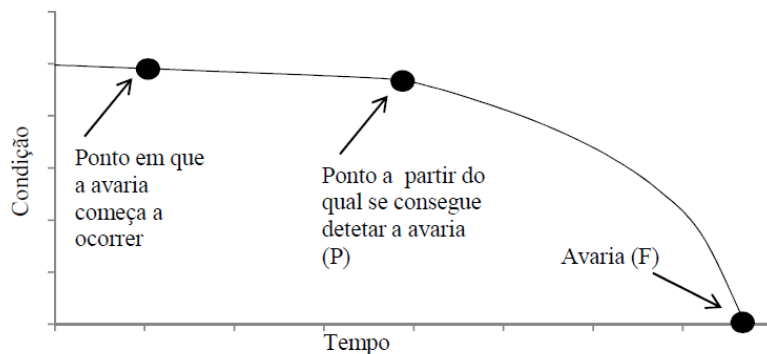


Fig.24 Intervalo PF

4.6 Modelo Rausand (1998)

Rausand (1998) define que para o processo de implementação da manutenção centrada na fiabilidade são necessárias oito etapas:

Etapa 1 Preparação do estudo – Nesta etapa é escolhido o grupo de

pessoas que irão trabalhar no processo de implementação da Manutenção Centrada na Fiabilidade e definido os objectivos.

Etapa 2 Selecção e Determinação do Sistema – Esta etapa compreende a determinação do que será analisado e em que nível: planta industrial, sistema, itens físicos ou componentes.

Etapa 3 Análise das Funções e Falhas Funcionais – Etapa de identificação das funções do sistema e das fronteiras entre os sistemas, componentes ou itens, além da informação da descrição do sistema, diagrama de blocos funcionais, interfaces de entrada e saída, diagrama de blocos de funções, lista de equipamentos e seu histórico.

Etapa 4 Selecção dos Itens Físicos Críticos – Identificar itens físicos potencialmente críticos em relação às falhas funcionais, sendo candidatos naturais itens com elevada taxa de falha, alto custo de reparação, baixa manutibilidade ou necessário pessoal externo á manutenção.

Etapa 5 Recolha e Análise de Informações – Informações históricas necessárias nas outras etapas do processo de implementação da Manutenção Centrada na Fiabilidade podem ser obtidas nos seguintes documentos: diagramas de instrumentação, diagramas de bloco ou esquemas do sistema, manuais de venda dos equipamentos, arquivos históricos do equipamento, manuais de operação do sistema, especificações e dados descritivos do projecto do sistema.

Etapa 6 Análise dos Modos e Efeitos da Falha – O objectivo é identificar os modos de falha dominantes dos itens críticos seleccionados.

Etapa 7 Selecção de Tarefas Preventivas – Etapa de selecção das tarefas viáveis e efectivas na prevenção das falhas funcionais, faz-se ainda uma comparação da manutenção preventiva existente e a proposta pela manutenção centrada na fiabilidade, além de uma revisão do processo, em busca de erros e omissões. As ferramentas básicas para o desenvolvimento dessa etapa são:

- Árvore Lógica de Decisão;
- Diagrama de Decisão para Selecção de Tarefas;

Etapa 8 Definição da Periodicidade das Tarefas de Manutenção Preventiva e determinação do intervalo óptimo para realizar as tarefas de manutenção previstas na etapa 7 - Podem ser divididas em quatro categorias:

- Periodicidade das tarefas de restauração e substituição baseado no tempo;
- Periodicidade das tarefas de monitorização baseada em condições actuais.
- Periodicidade das tarefas de verificação funcional;
- Periodicidade das tarefas baseado em opiniões de especialistas.

Capítulo 5

Determinação de Cálculos Probabilísticos

5.1 Cálculos de Fiabilidade R (t) segundo a Distribuição de Weibull, Normal e Normal Logarítmica

5.1.1 Estimativa dos parâmetros de Weibull e cálculo de fiabilidades

1) Ordenar por ordem crescente os TBF (t_1, t_2, \dots, t_n onde $t_i \leq t_{i+1}$) e atribuir um número de ordem (i);

2) A estimativa da distribuição acumulada de falha $F(t_i)$ é dada por uma das seguintes fórmulas em função do tamanho da amostra (n) e do número de ordem (i) em função do TBF:

$$n < 20 \quad F(t_i) = \frac{i-0.3}{n+0.4} \quad (\text{Eq.6.1})$$

$$20 < n < 50 \quad F(t_i) = \frac{i}{n+i} \quad (\text{Eq.6.2})$$

$$n > 50 \quad F(t_i) = \frac{i}{n} \quad (\text{Eq.6.3})$$

Tabela 3 Ordenação dos tempos por ordem crescente, atribuição do nº de ordem (i) e cálculo de F(t) para as lavadoras de alta pressão

TBF	Nº de Ordem	F(ti)	TBF	Nº de Ordem	F(ti)
32	1	2,08	992	25	52,08
40	2	4,16(7)	1128	26	54,16(7)
40	3	6,25	1224	27	56,25
80	4	8,3	1432	28	58,33
96	5	10,42	1472	29	60,42
152	6	12,5	1504	30	62,5
264	7	14,58	1600	31	64,6
296	8	16,6(7)	1680	32	66,6(7)
344	9	18,75	1680	33	68,75
472	10	20,83	1792	34	70,83
488	11	22,92	1872	35	72,92
496	12	25	1952	36	75
536	13	27,08	2144	37	77,08
584	14	29,16(7)	2336	38	79,16(7)
608	15	31,25	2616	39	81,25
616	16	33,3	2752	40	83,33
704	17	35,42	3320	41	85,41(6)
712	18	37,5	3360	42	87,5
752	19	39,58	3960	43	89,58
800	20	41,6(7)	4536	44	91,6(7)
800	21	43,75	4736	45	93,75
848	22	45,83	5448	46	95,83
864	23	47,92	6112	47	97,92
896	24	50	8432	48	100

- 3) Inserir no gráfico os pares ordenados $(t_i, F(t_i))$;
- 4) Ajustar uma linha recta aos pontos (recta experimental);
- 5) Identificação do parâmetro de escala η (Leitura da abcissa correspondente ao ponto da intersecção da recta horizontal $F(t) = 63,2 \%$ com a recta experimental);
- 6) Leitura do parâmetro de forma β (declive da recta experimental) para tal representar uma recta paralela á recta experimental;

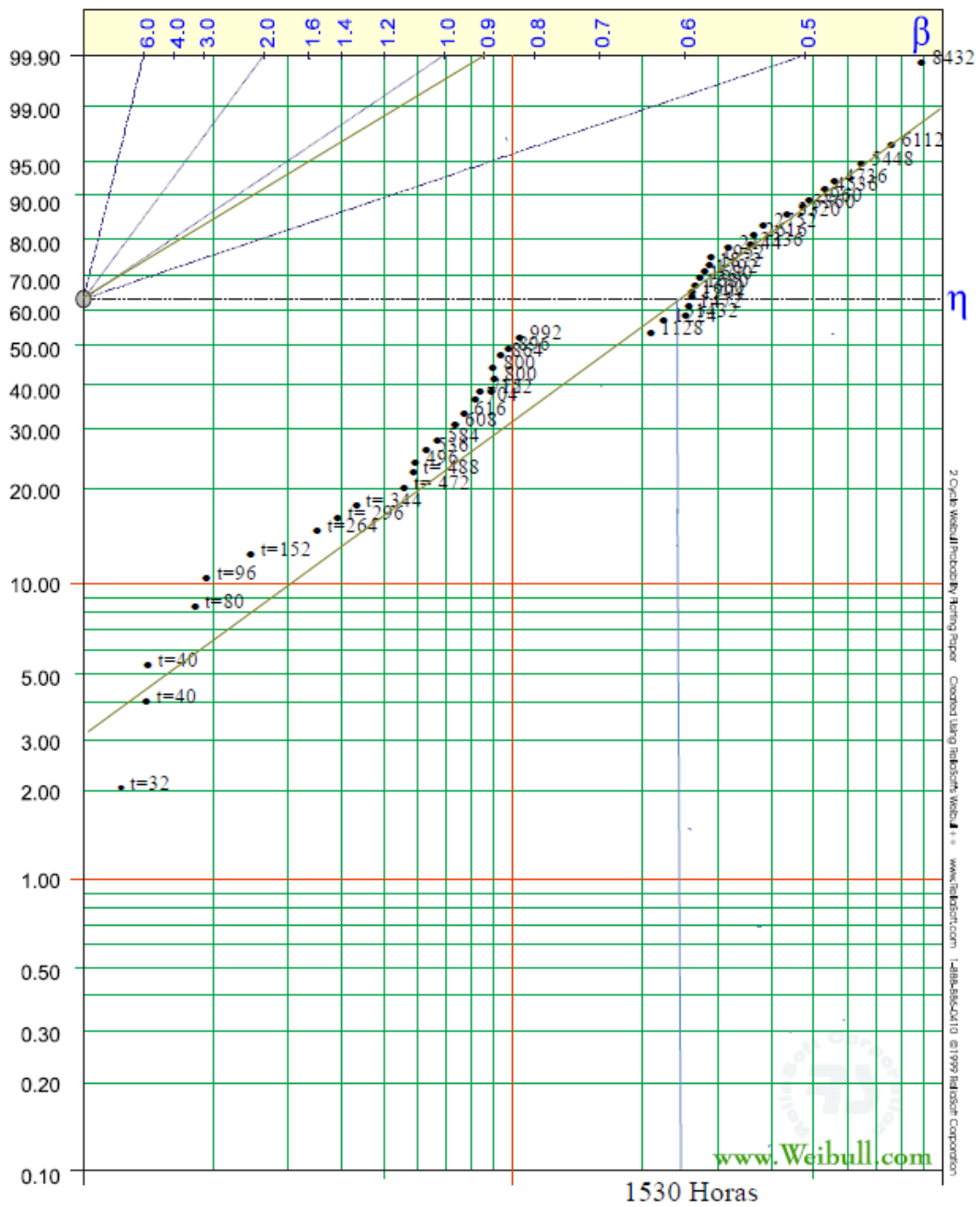


Tabela 4 Fiabilidade e Taxa de Falhas segundo a Distribuição de Weibull para as Lavadoras de Alta Pressão

Nº de Horas	Distribuição de Weibull	
	η	β
	1530	0,9
	Taxa de Falhas (por Hora)	R(t) Fiabilidade (%)
	$\lambda(t) = \beta/\eta ((t-t_0)/\eta)^{\beta-1}$	$R(t) = e^{-(t-t_0/\eta)^\beta}$
10 horas	0,000972793	98,92%
50 horas	0,000828177	95,50%
100 horas	0,000772717	91,77%
200 horas	0,00072097	85,20%
300 horas	0,000692322	79,39%
400 horas	0,000672689	74,16%
500 horas	0,000657844	69,39%
600 horas	0,000645959	65,01%
700 horas	0,000636078	60,97%
800 horas	0,000627641	57,24%
900 horas	0,000620292	53,78%
1000 horas	0,000613791	50,56%
2000 horas	0,000572687	28,01%
3000 horas	0,000549931	15,99%
4000 horas	0,000534336	9,30%
5000 horas	0,000522544	5,49%
6000 horas	0,000513104	3,27%
7000 horas	0,000513104	1,96%
8000 horas	0,000498553	1,19%
9000 horas	0,000492715	0,72%
10000 horas	0,000492715	0,44%

5.1.2 Estimativa dos parâmetros da Distribuição Normal e cálculo de fiabilidades

1) Cálculo da média (μ)

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i(\text{TBF})}{n} = 1658,33$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}}{n-1} = 1775,04$$

Tabela 5 Fiabilidade segundo a Distribuição Normal para as Lavadoras de Alta Pressão

μ	σ
1658,33	1775,04
Nº de Horas	$R(t) = \Pr \{T \geq t\} = \Pr\{Z \geq (t - \mu) / \sigma\} = 1 - \Phi (t - \mu) / \sigma$
10 Horas	82,38%
50 Horas	81,86%
100 Horas	81,06%
200 Horas	80,23%
300 Horas	77,94%
400 Horas	76,11%
500 Horas	74,22%
600 Horas	72,57%
700 Horas	70,54%
800 Horas	68,44%
900 Horas	66,64%
1000 Horas	64,43%
2000 Horas	42,47%
3000 Horas	22,36%
4000 Horas	9,34%
5000 Horas	2,87%
6000 Horas	0,62%
7000 Horas	0,13%
8000 Horas	0,02%
9000 Horas	0,00%
10000 Horas	0,00%

5.1.3 Estimativa dos parâmetros da Distribuição Normal Logarítmica e cálculo de fiabilidades

s (parâmetro de forma) = 0,9

$$t_{\text{mediana}} (\text{elementos centrais do TBF}) = \frac{896+992}{2} = 944$$

Tabela 6 Fiabilidade segundo a Distribuição Normal Logarítmica para as Lavadoras de Alta Pressão

s	tmediana
0,9	944
Nº de Horas	$R(t) = \Pr\{T \geq t\} = \Pr\{\ln T \leq \ln t\} = \Pr\{Z \leq 1/s \ln t/tmediana\}$
10 horas	100,00%
50 horas	99,95%
100 horas	99,38%
200 horas	95,64%
300 horas	89,26%
400 horas	82,89%
500 horas	75,80%
600 horas	69,15%
700 horas	62,93%
800 horas	57,14%
900 horas	51,99%
1000 horas	47,61%
2000 horas	20,33%
3000 horas	9,68%
4000 horas	5,48%
5000 horas	3,59%
6000 horas	2,17%
7000 horas	1,39%
8000 horas	0,96%
9000 horas	0,66%
10000 horas	0,59%

5.2 Cálculos de Fiabilidade R(t) em diversos contextos operacionais

Tabela 7 Média de Tempos de Bom Funcionamento dos Compressores de Parafuso em Diversos Contextos Operacionais

Ramo da Empresa	Equipamento	MTBF1	MTBF2	MTBF3	MTBF4	MTBF5	Média
1- Reparação de Camiões	Compressor Ingersoll Rand M30	320	560	1368	216	400	573
2- Reparação de Camiões	Compressor Ingersoll Rand Nirvana N37	632	672	4920	200	16	1288
3- Pedreira	Compressor Ingersoll Rand Nirvana N37	1344	784	3472			1867
4- Pedreira	Compressor Ingersoll Rand M18,5	256	568	64	216		276
5- Pedreira	Compressor Ingersoll Rand SSR ML37	3088	496				1792
6- Reparação Auto	Compressor Ingersoll Rand M11	3696	520				2108
					Média Total		1317

Tabela 8 Média de Tempos de Bom Funcionamento das Lavadoras de Alta Pressão em Diversos Contextos Operacionais

Ramo de Empresa	Equipamento	MTBF1	MTBF2	MTBF3	MTBF4	MTBF5	MTBF6	MTBF7	MTBF8	MTBF9	Média
1- Agro Pecuária	Lavadora Lavor Ontário	784	144	128	144	264	176	4440	568	160	756
2- Revenda	Lavadora Lavor Ontário	1808									1808
3-Pedreira	Lavadora Lavor Ontário	2080									2080
4-Revenda	Lavadora Lavor Best 24	1320	160	3832							1771
5-Churrasqueira	Lavadora Lavor Ontário	2696	1712								2204
6-Aluguer de Equipamentos	Lavadora Lavor Tekna4	64									64
7-Reparação Auto	Lavadora Lavor LKX4	3488									3488
8-Panificadora	Lavadora Lavor Ontário	3264									3264
9-Pedreira	Lavadora Lavor Ontário	3744	1056	128	336	1104					1274
10-Metalomecânica	Lavadora Lavor LKX4	5496	120	648	2568	176	1168				1696
11- Cereais	Lavadora Lavor Ontário	4936									4936
12-Equipamentos Florestais	Lavadora Lavor LMX	1432	832								1132
13- Transportes	Lavadora Lavor LKX4	5744									5744
14- Reparções Auto	Lavadora Lavor Ontário	5632									5632
15-Reparações Camiões/Betoneiras	Lavadora Lavor Tekna HT	944	328	328	1152						688
16-Panificadora	Lavadora Lavor Best 28	3880									3880
17- Pedreira	Lavadora Lavor Best 28	2984									2984
18-Reparações Auto	Lavadora Lavor Ontário	1368									1368
19-Revenda	Lavadora Best 24	1616									1616
20 Serralharia	Lavadora lavor 2021	5416	264	248	144	992	648				1285
21-Pedreira	Lavadora Lavor Ontário	3112									3112
22-Transportadora	Lavadora Lavor Ontário	1696									1696
23-Fabrico/ Reparções Camiões	Lavadora Lavor Tekna4	3008	472	2168							1883
24- Transportadora	Lavadora Lavor LKX4	4256									4256
25-Agro-Pecuária	Lavadora Lavor Ontário	1016	432	536							661
26-Revenda	Lavadora Lavor Best 26	1224									1224
27-Revenda	Lavadora Lavor Best 28	6200									6200
28-Transportes	Lavadora Lavor Tekna HT	2520									2520
29-Revenda	Lavadora Lavor Best 24	2256	3224								2740
30-Pedreira	Lavadora Lavor 2021	7968									7968
31- Transportes	Lavadora Lavor Columbia	2272	312	736							1107
32-Transportadora	Lavadora Lavor Columbia	1424									1424
33- Peixaria	Lavadora Lavor Ontário	8944									8944
34-Transportadora	Lavadora Lavor Tekna HT	3736									3736
35-Transportadora	Lavadora Lavor LKX4	9592									9592
36-Tintas	Lavadora Lavor Ontário	3384	808								2096
37-Pedreira	Lavadora Lavor Best 28	6024									6024
38-Metalomecânica	Lavadora Lavor Ontário	5496									5496
										Média Total	3114

Tabela 9 Fiabilidade das Lavadoras no Ramo da Agro-Pecuária

Lavadora 1 Ramo Agro-Pecuária		η	β	
		780	0,9	Weibull
MTBF	Nº de Ordem	F(ti)	Horas	$R(t) = e^{-(t-t_0/\eta)^\beta}$
128	1	7,45	50	91,91%
144	2	18,1	100	85,43%
144	3	28,72	200	74,54%
160	4	39,36	300	65,50%
176	5	50	400	57,80%
264	6	60,64	500	51,16%
568	7	71,28	600	45,40%
784	8	81,91	700	40,37%
4440	9	92,55	800	35,95%
			900	32,06%
			1000	28,63%

Tabela 10 Fiabilidade das Lavadoras no Ramo da Pedreira

Lavadora 9 Ramo Pedreira		η	β	
		1700	0,86	Weibull
MTBF	Nº de Ordem	F(ti)	Horas	$R(t) = e^{-(t-t_0/\eta)^\beta}$
128	1	12,96	50	95,30%
336	2	31,48	100	91,63%
1056	3	50	200	85,32%
1104	4	68,51	300	79,85%
3744	5	87,04	400	74,97%
			500	70,53%
			600	66,48%
			700	62,74%
			800	59,28%
			900	56,06%
			1000	53,07%

Tabela 11 Fiabilidade das Lavadoras no Ramo da Metalomecânica

Lavadora 10 Ramo Metalomecânica		η	β	
		1500	0,86	Weibull
MTBF	Nº de Ordem	F(ti)	Horas	$R(t) = e^{-(t-t_0/\eta)^\beta}$
120	1	10,94	50	94,78%
176	2	26,56	100	90,72%
648	3	42,19	200	83,80%
1168	4	57,81	300	77,84%
2568	5	73,44	400	72,55%
5496	6	89,06	500	67,79%
			600	63,46%
			700	59,50%
			800	55,86%
			900	52,49%
			1000	49,38%

Tabela 12 Fiabilidade das Lavadoras no Ramo de Reparações de Camiões e Betoneiras

Lavadora 15 Ramo Reparações de Camiões e Betoneiras		η	β	
		240	0,75	Weibull
MTBF	Nº de Ordem	F(ti)	Horas	$R(t) = e^{-(t-t_0/\eta)^\beta}$
328	1	15,91	50	73,46%
328	2	38,64	100	59,53%
944	3	61,36	200	41,80%
1152	4	84,09	300	30,66%
			400	23,07%
			500	17,66%
			600	13,69%
			700	10,73%
			800	8,48%
			900	6,76%
			1000	5,41%

Tabela 13 Fiabilidade das Lavadoras no Ramo da Serralharia

Lavadora 20 Ramo Serralharia		η	β	
		1300	0,88	Weibull
MTBF	Nº de Ordem	F(ti)	Horas	$R(t) = e^{-(t-t_0/\eta)^\beta}$
144	1	10,94	50	94,47%
248	2	26,56	100	90,06%
248	3	42,19	200	82,48%
264	4	57,81	300	75,94%
648	5	73,44	400	70,16%
992	6	89,06	500	64,96%
			600	60,27%
			700	55,99%
			800	52,08%
			900	48,50%
			1000	45,21%

5.3 Cálculos de Manutibilidade M(t) para Compressores e Pontes Rolantes

Tabela 14 Manutibilidade dos Compressores de Parafuso e Pontes Rolantes

Compressores de Parafuso					
MTRR		Manutibilidade	MTRR		
2010/2011	Horas	$M(t) = 1 - e^{-t/MTRR}$	2012	Horas	M(t)
3,5	5	13,16%	17,5	5	40,92%
9,5	10	24,60%	4,5	10	65,10%
8,5	15	34,52%	14	15	79,38%
44	20	43,14%	11,75	20	87,82%
19	25	50,63%	4,5	25	92,80%
3,5	30	57,13%	4,5	30	95,75%
144	35	62,77%	9,75	35	97,49%
155	40	67,67%	Média	40	98,52%
1	45	71,93%	9,5	45	99,12%
1	50	75,62%		50	99,48%
54	55	78,83%		55	99,69%
5,5	60	81,62%		60	99,82%
12	65	84,04%		65	99,89%
Média	70	86,14%		70	99,94%
35,42					
Pontes Rolantes					
MTRR		Manutibilidade	MTRR		
2010/2011	Horas	$M(t) = 1 - e^{-t/MTRR}$	2012	Horas	M(t)
7,5	5	52,41%	12	5	42,19%
12	10	77,35%	4,75	10	66,58%
0,7	15	89,22%	1,25	15	80,68%
Média	20	94,87%	26,5	20	88,83%
6,73	25	97,56%	3	25	93,54%
	30	98,84%	7,25	30	96,27%
	35	99,45%	Média	35	97,84%
	40	99,74%	9,125	40	98,75%
	45	99,87%		45	99,28%
	50	99,94%		50	99,58%
	55	99,97%		55	99,76%
	60	99,99%		60	99,86%
	65	99,99%		65	99,92%
	70	100,00%		70	99,95%

Capítulo 6

Caso de Estudo

6.1 Contexto da Pesquisa

A implementação da metodologia da Manutenção Centrada na Fiabilidade foi aplicada na empresa António Filipe Neto Lda. em dois equipamentos específicos as lavadoras de alta pressão marca “Lavor” e aos compressores de parafuso “Ingersoll Rand”, tendo sido utilizado o modelo Rausand (1998) através de um histórico de três anos de reparações. O principal objectivo é reduzir média de tempos de reparação (MTTR) e aumentar a média dos tempos de bom funcionamento (MTBF) nos compressores de parafuso e diminuir a mortalidade infantil nas lavadoras de alta pressão. Os compressores de parafuso e as lavadoras de alta pressão são os que apresentam um maior volume de vendas, sendo os responsáveis pela paragem de produção nos clientes, logo torna-se necessário implementar uma metodologia que possa reduzir o número de avarias e assim aumentar a sua disponibilidade.

6.2 Modelo Rausand (1998) para as Lavadoras de Alta Pressão

6.2.1 - Etapa 1 – Preparação do Estudo (Definição do Grupo de Trabalho para implementação da Manutenção Centrada na Fiabilidade e objectivos do estudo

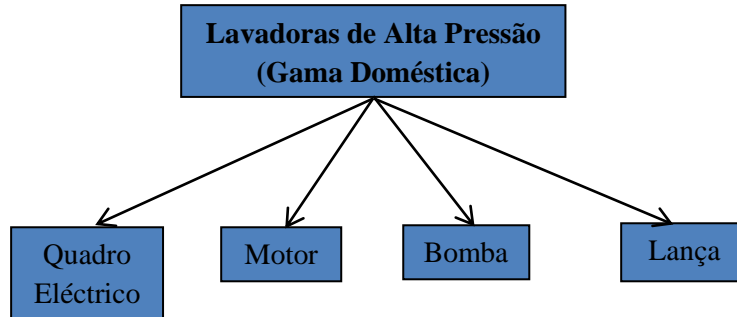
- Colaborador da Área da Manutenção – Técnico da Manutenção Electromecânica
- Colaborador da Área da Produção – Torneiro Mecânico e Assistente de Manutenção Electromecânica
- Especialista na MCF – Engenheiro da Manutenção

6.2.2 - Etapa 2 – Selecção do Sistema

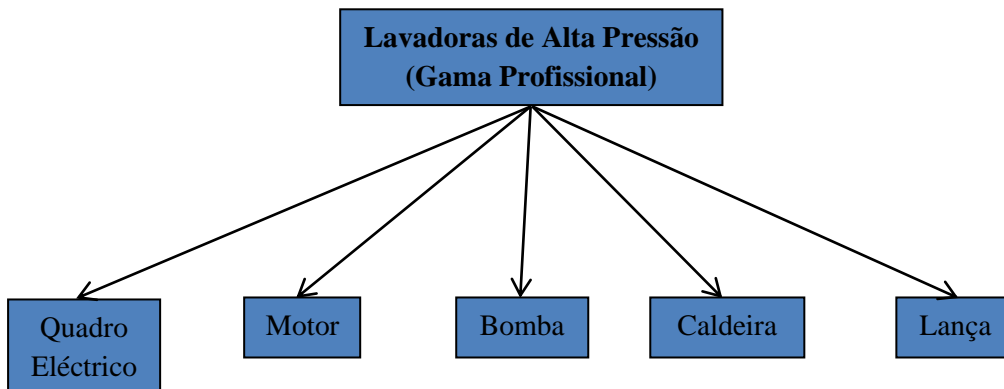
O equipamento a ser analisado vão ser as Lavadoras de Alta Pressão (gama

doméstica que apenas trabalham a frio e a gama industrial que trabalham a quente. Os sistemas funcionais vão ser divididos nas seguintes áreas fundamentais:

Sistema 1

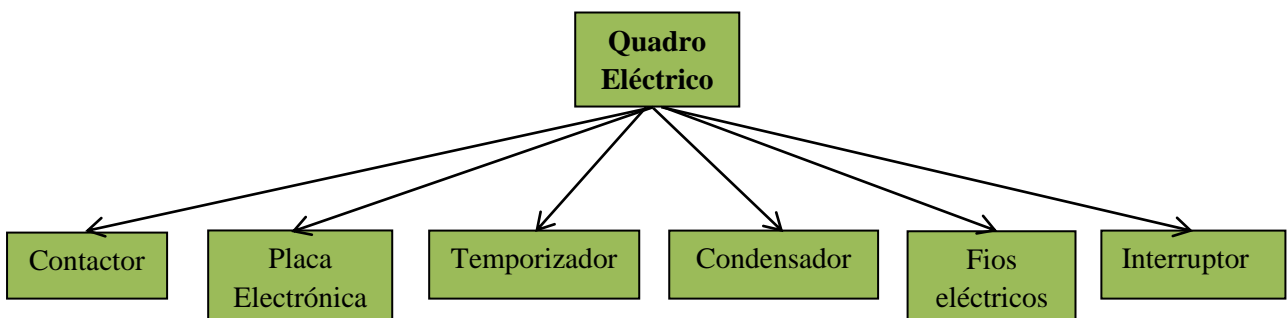


Sistema 2

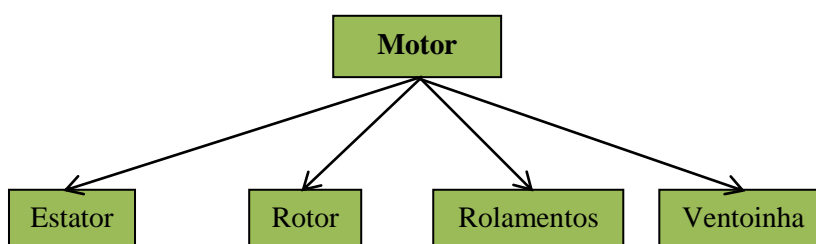


Definição dos subsistemas funcionais para cada área envolvida:

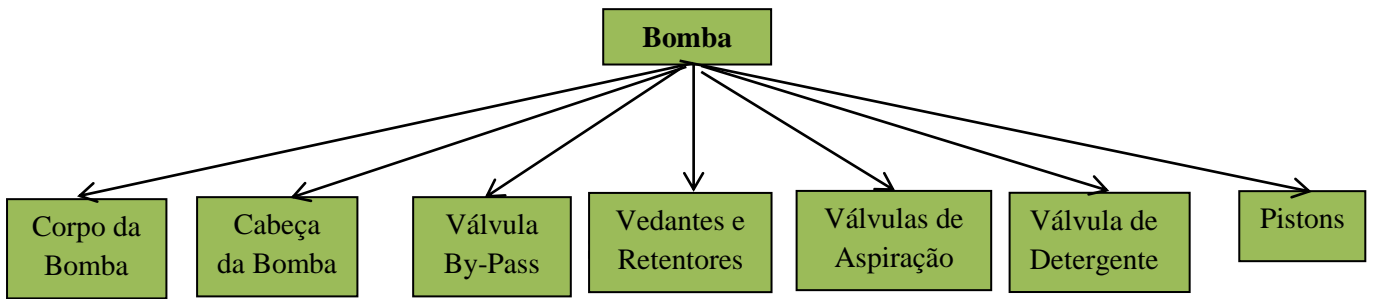
Subsistema 1



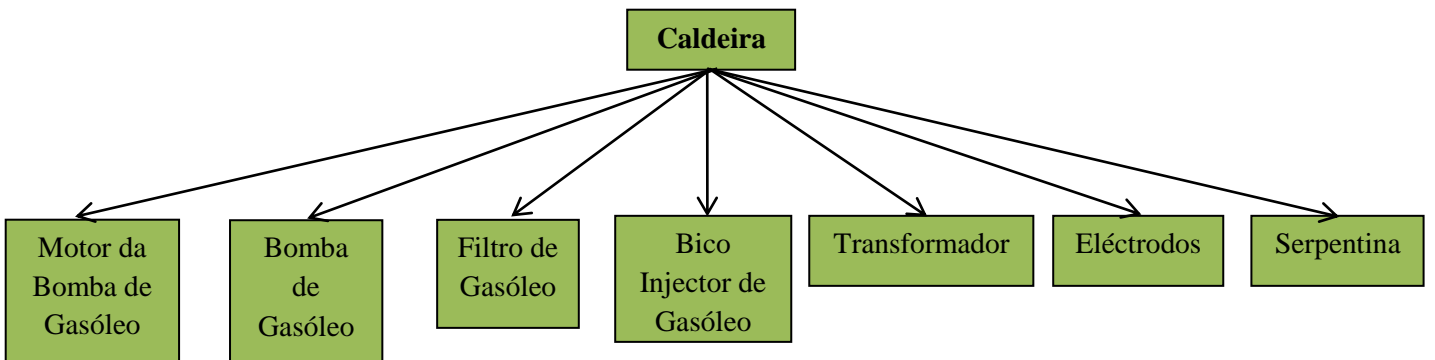
Subsistema 2



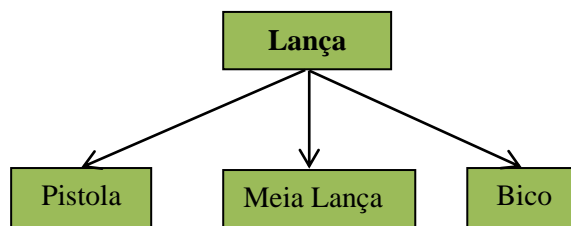
Subsistema 3



Subsistema 4



Subsistema 5



6.2.3 - Etapa 3 – Análise das Funções e Falhas Funcionais

As etapas são desenvolvidas de forma a elaborar uma base de informações suficiente para determinação das funções e falhas funcionais do sistema:

6.2.3.1 Definição das fronteiras do sistema

Tabela 15 Identificação das Fronteiras do Sistema

MCF	Tabela de Identificação das Fronteiras do Sistema				
	Sistema	SubSistema	Equipa	Data	Folha Nº
	1 e 2 Lavadora(D/P)	1.Quadro Eléctrico	CM;CP;EM		
1. Principais Itens Físicos : Contactor, Placa Electrónica, Temporizador, Condensador, Fios Eléctricos, Interruptor, Total Stop					
2. Fronteiras do Sistema					
Inicia com:					
Após premir o interruptor a corrente eléctrica (monofásica) entra dentro do quadro eléctrico através dos fios eléctricos que são ligados ao contactor. O contactor tem duas posições, corrente para o motor ou corrente para o total stop. No caso da corrente ir para o motor a mesma passa pelo condensador para executar um arranque mais suave no motor.					
Termina com:					
Motor a trabalhar					
3. Considerações Necessárias					
Verificar o estado da tomada, ficha e cabo eléctrico antes de premir no interruptor					
	Sistema	SubSistema	Equipa	Data	Folha Nº
	1 Lavadora Doméstica	2.Motor	CM;CP;EM		
1. Principais Itens Físicos : Estator, Rotor, Rolamentos, Ventoinha					
2. Fronteiras do Sistema					
Inicia com:					
Corrente chega ao motor sendo efectuado o campo electromagnético entre o estator e o rotor entrando o rotor em rotação					
Termina com:					
Veio do motor a transmitir movimento ao excêntrico da bomba/cambota					
3. Considerações Necessárias:					
Medir a amperagem do motor de modo a verificar o seu pleno funcionamento					
	Sistema	SubSistema	Equipa	Data	Folha Nº
	1. Lavadora Doméstica	3.Bomba	CM;CP;EM		
1. Principais Itens Físicos: Rolamento Excêntrico, Pistons, Válvulas, Vedantes, Retentores , Válvula By-Pass, Corpo da Bomba e Cabeça da Bomba					
2. Fronteiras do Sistema					
Inicia com:					
O rolamento excêntrico transmite o movimento linear aos pistons, onde estão permanentemente a ser lubrificados no corpo da bomba, os mesmos passam pelos retentores para reter o óleo, pelos vedantes e entram no circuito da água para transmitir pressão na bomba com o auxílio das válvulas de aspiração. A pressão pode ser regulada através da válvula by-pass.					
Termina com:					
Água a sair da bomba com pressão					
3. Considerações Necessárias:					
Verificar a pressão da água através do manómetro que é acoplada na cabeça da bomba					

	Sistema	SubSistema	Equipa	Data	Folha Nº
	2. Lavadora Profissional	3.Bomba	CM;CP;EM		
1. Principais Itens Físicos: Cambota, Biela, Pistons, Válvulas, Vedantes, Retentores , Válvula By-Pass, Corpo da Bomba e Cabeça da Bomba					
2. Fronteiras do Sistema					
Inicia com:					
A cambota entra em rotação da união através de chaveta (veio cambota com o veio do motor) transmitindo movimento às bielas que vão efectuar o movimento linear dos pistons, os mesmos passam pelos retentores para reter o óleo, pelos vedantes e entram no circuito da água para transmitir pressão na bomba com o auxílio das válvulas de aspiração. A pressão pode ser					
Termina com:					
Água a sair da bomba com pressão					
3. Considerações Necessárias:					
Verificar a pressão da água através do manómetro que é acoplada na cabeça da bomba					
Termina com:					
O operador regula a temperatura para zero, sendo enviado um sinal á placa electrónica para desligar a corrente para o motor da bomba de gasóleo e para o transformador dos eléctrodos. O termóstato fecha e água deixa de circular água na serpentina					
	Sistema	SubSistema	Equipa	Data	Folha Nº
	2. Lavadora Profissional	4.Caldeira	CM;CP;EM		
1. Principais Itens Físicos: Motor da Bomba de Gasóleo, Bomba de Gasóleo, Filtro de Gasóleo, Bico Injector de Gasóleo, Transformador, Eléctrodos, Serpentina.					
2. Fronteiras do Sistema					
Inicia com:					
O operador regula a temperatura, sendo enviado um sinal á placa electrónica para dar início á passagem de corrente para o motor da bomba de gasóleo, que vai tansmitir força á bomba de carretos, para se efectuar a aspiração de gasóleo até á caldeira. Simultaneamente a placa electrónica vai dar passagem de corrente para o transformador dos eléctrodos e ao gasóleo do bico injector. Por fim o termóstato abre para deixar circular água pela a serpentina e assim se poder aquecer a água. A água vai para a tubagem da lança.					
Termina com:					
O operador regula a temperatura para zero, sendo enviado um sinal á placa electrónica para desligar a corrente para o motor da bomba de gasóleo e para o transformador dos eléctrodos. O termóstato fecha e a água deixa de circular na serpentina					
3. Considerações Necessárias					
Verificar a distância entre eléctrodos e pressão de gasóleo na aspiração de modo a combustão se efectue da maneira correcta.					
	Sistema	SubSistema	Equipa	Data	Folha Nº
	1 e 2 Lavadora (D/P)	5.Lança	CM;CP;EM		
1. Principais Itens Físicos: Pistola, Meia Lança e bico					
2. Fronteiras do Sistema					
Inicia com:					
O operador prime o gatilho e água sai pela o bico com a pressão desejada					
Termina com:					
O operador deixa de premir no gatilho e deixa de sair água pela o bico					
3. Considerações Necessárias:					
Verificar se não existe nenhuma pequena quantidade de água a sair pelo bico, caso exista verificar o estado das sedes do gatilho. Após desligar a máquina carregar no gatilho de modo a tirar a pressão em vazio existente na bomba .					

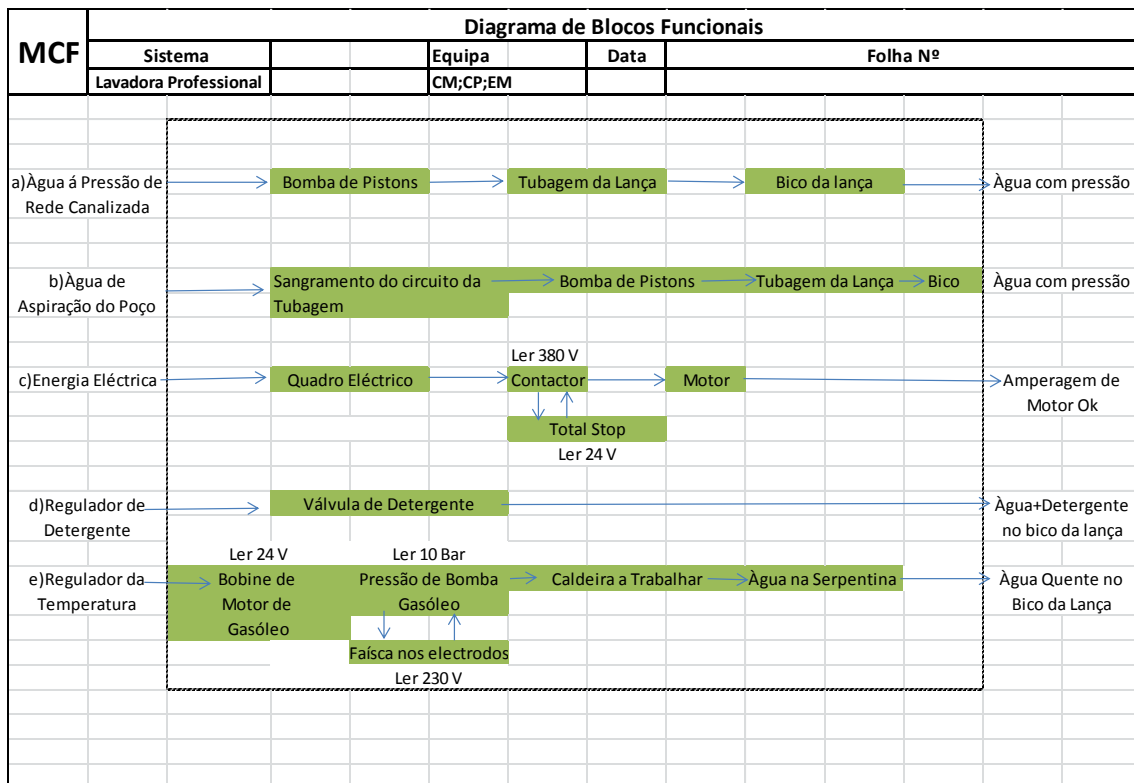
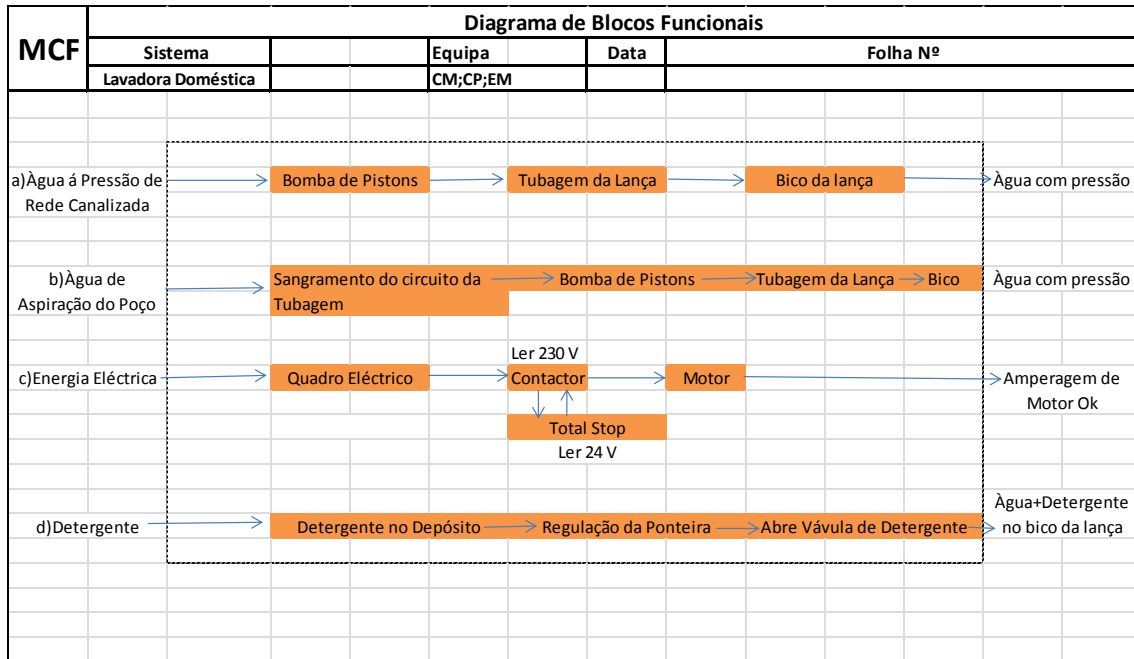
6.2.3.2 Descrição do Sistema

Tabela 16 Descrição das Funções do Sistema

MCF	Tabela de Descrição das Funções do Sistema					
	Sistema			Equipa	Data	Folha Nº
	1.Lavadora Doméstica			CM;CP;EM		
1. Funções e seus parâmetros						
A água da rede canalizada entra dentro da lavadora através de uma mangueira e um engate rápido, circula numa tubagem até a bomba onde vai haver aumento da pressão devido aos pistons e as válvulas de aspiração, a pressão desejada (50 a 200 bar) é regulada através da válvula by-pass. A água sai da bomba para lança através de uma tubagem e água sai pelo bico da lança.						
2. Redundâncias						
(Não há)						
3. Dispositivos de Protecção						
Total Stop que desliga o motor após uma temporização de 10 segundos, após o operador deixar de premir o gatilho. Válvula de descarga para limitar a pressão máxima de circuito.						
4. Instrumentação e Controlo						
Manómetro de Pressão de glicerina que indica a pressão da lavadora, visor do nível do óleo da bomba.						
	Sistema			Equipa	Data	Folha Nº
	2.Lavadora Profissional			CM;CP;EM		
1. Funções e seus parâmetros						
A água da rede canalizada entra dentro da lavadora através de uma mangueira e um engate rápido, circula numa tubagem até a bomba onde vai haver aumento da pressão devido aos pistons e às válvulas de aspiração, a pressão desejada (50 a 200 bar) é regulada através da válvula by-pass. A água sai da bomba para lança através de uma tubagem e sai pelo bico da lança. Caso o operador regule a temperatura até 140°C a caldeira começa a trabalhar para aquecer a água do circuito que passa pela serpentina que se encontra dentro da caldeira. A água sai aquecida para a tubagem da lança e por fim sai pelo o bico da lança. No caso do operador desligar a temperatura o termóstato fecha o cicuito da serpentina.						
2. Redundâncias						
(Não há)						
3. Dispositivos de Protecção						
Total Stop que desliga o motor após uma temporização de 10 segundos, após o operador deixar de premir o gatilho. Válvula de descarga para limitar a pressão máxima de circuito.						
4. Instrumentação e Controlo						
Manómetro de Pressão de glicerina que indica a pressão da lavadora, visor do nível do óleo da bomba, sensor de chama para bloquear o funcionamento no caso de temperatura excessiva na caldeira.						

6.2.3.3 Diagrama de Blocos Funcionais

Tabela 17 Diagrama de Blocos Funcionais



6.2.3.4 Interfaces de Entrada e Saída

Tabela 18 Interfaces de Entrada e Saída

MCF	Tabela de Interfaces de Entrada e Saída					
	Sistema			Equipa	Data	Folha Nº
	Lavadora Doméstica			CM;CP;EM		
1. Interfaces de Entrada:						
a) Água á Pressão de Rede Canalizada						
b) Água de Aspiração do Poço						
c) Energia Eléctrica						
d) Detergente						
2. Interfaces de Saída:						
- Água com Pressão						
- Amperagem de Motor OK						
- Água + Detergente no bico da lança						
3. Interfaces Internas de Entrada e Saída						
a) Água de pressão de rede aspirada pela a bomba de pistons, obstrução da válvula by-pass para regular a pressão, obstrução do bico para garantir a pressão á saída da lança desejada pelo operador.						
b) Água de aspiração do poço aspirada, verificação da não existência de ar no circuito da tubagem, aspiração da água de aspiração do poço pela a bomba de pistons, obstrução da válvula da válvula by-pass para regular a pressão, obstrução do bico para garantir a pressão á saída desejada pelo o operador.						
c) Tensão monofásica 230V, no quadro eléctrico, podendo ser interrompida no interruptor, tensão no contactor, posição atracada tensão para o motor, não atracada tensão no total stop, máquina arranca.						
d) Depósito de detergente com detergente, regulação da ponteira no sentido horário abre válvula de detergente, água misturada com detergente						
	Sistema			Equipa	Data	Folha Nº
	Lavadora Profissional			CM;CP;EM		
1. Interfaces de Entrada:						
a) Água á Pressão de Rede Canalizada						
b) Água de Aspiração do Poço						
c) Energia Eléctrica						
d) Regulador de Detergente						
e) Regulador da Temperatura						
2. Interfaces de Saída						
- Água com Pressão						
- Amperagem de Motor OK						
- Água + Detergente no bico da lança						
- Água Quente no Bico da Lança						

3. Interfaces Internas de Entrada e Saída

a) Água de pressão de rede aspirada pela a bomba de pistons, obstrução da válvula by-pass para regular a pressão, obstrução do bico para garantir a pressão á saída da lança desejada pelo operador.

b) Água de aspiração do poço aspirada, verificação da não existência de ar no circuito da tubagem, aspiração da água do poço pela a bomba de pistons, obstrução da válvula by-pass para regular a pressão, obstrução do bico para garantir a pressão á saída desejada pelo o operador.

c) Tensão trifásica 380V, no quadro eléctrico, podendo ser interrompida no interruptor, tensão no contactor, posição atracada tensão para o motor, não atracada tensão no total stop, máquina arranca.

d) Existência de gasóleo no depósito, tensão de 24V no motor da bomba de gasóleo e tensão de 230V nos eléctrodos, bomba aspira gasóleo, filtro de gasóleo limpo, gasóleo chega ao bico injector, combustão do gasóleo, através da fásca gerada pelos os eléctrodos, termóstato abre o circuito, água entra serpentina e é aquecida.

e) Detergente existente no depósito, abre a válvula de detergente, água misturada com o detergente.

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

6.2.3.5 Descrição dos Itens Físicos

Tabela 19 Descrição dos Itens Físicos

MCF	Tabela de Descrição dos Itens Físicos				
	Sistema	Subsistema 1	Equipa	Data	Folha Nº
	Lavadora D/P	Quadro Eléctrico	CM;CP;EM		
1. Itens Físicos(IF) e Instrumentação e Controlo(IC)					
Nº	Descrição	Quant.	Características Técnicas		
IF-01	Interruptor	1			
IF-02	Contactora	1			
IF-03	Placa Electrónica	1			
IF-04	Temporizador	1			
IF-05	Condensador	1	45 mF 450V		
IF-06	Fios Eléctricos				
IF-07	Relé Térmico	1	17,5-22 A		
	Sistema	Subsistema 2	Equipa	Data	Folha Nº
	Lavadora D/P	Motor	CM;CP;EM		
1. Itens Físicos					
Nº	Descrição	Quant.	Características Técnicas		
IF-08	Tampa do Motor	1	Espessura 2 mm		
IF-09	Ventoinha	1			
IF-10	Carcaça do Motor	1	Diâmetro 125 230/50 Hertz 2 Fases		
IF-11	Rolamento Radial de Esferas	1	6203 2RS		
IF-12	Rotor	1	Diâmetro 65		
IF-13	Flange do Motor	1	Diâmetro 125		
IF-14	Rolamento Radial de Esferas	1	6304 (20x52x15)		
	Sistema	Subsistema 3	Equipa	Data	Folha Nº
	Lavadora Doméstica	Bomba	CM;CP;EM		
1. Itens Físicos					
Nº	Descrição	Quant.	Características Técnicas		
IF-15	Prato do Excêntrico	1			
IF-16	Rolamento Excêntrico Esferas	1	35x55x12		
IF-17	Pistons + Mola	3	Diâmetro 12 mm		
IF-18	Válvula Anti-Retorno	1			
IF-19	Retentores	3			
IF-20	Vedantes	3			
IF-21	Válvulas de Aspiração	6			
IF-22	Corpo da Bomba	1			
IF-23	Cabeça da Bomba	1			
IF-24	Válvula By-Pass + Total Stop	1			
IF-25	Depósito de Detergente	1			
IF-26	Válvula de Detergente	1			
IC-01	Manómetro	1	Glicerina		

	Sistema	Subsistema 3	Equipa	Data	Folha Nº
	Lavadora Profissional	Bomba	CM;CP;EM		
1. Itens Físicos					
Nº	Descrição	Quant.	Características Técnicas		
IF-27	Corpo da Bomba	1			
IF-28	Cabeça da Bomba	1			
IF-29	Pistons	3	Cerâmicos Diâmetro 20		
IF-30	Rolamento de Rolos	2	30205		
IF-31	Flange da Bomba	2			
IF-32	Cambota	1			
IF-33	Biela	3			
IF-34	Retentor da Cambota	1	25x47x7		
IF-35	Válvulas de Aspiração	6			
IF-36	Retentores	3	16x24x5		
IF-37	Vedantes	3	20x3		
IF-38	Válvula By-Pass + Total Stop	1			
IF-39	Válvula Anti-Calcário	1			
IF-40	Depósito de Detergente	1			
IC-02	Regulador do Detergente	1			
	Sistema	Subsistema 4	Equipa	Data	Folha Nº
	Lavadora Profissional	Caldeira	CM;CP;EM		
1. Itens Físicos					
Nº	Descrição	Quant.	Características Técnicas		
IF-41	Corpo da Caldeira	1	Espessura 4 mm		
IF-42	Serpentina	1	H-500		
IF-43	Cimento Refractário	1	D.290x20		
IF-44	Chaminé da Caldeira	1	L=110		
IF-45	Bico Injector	1			
IF-46	Transformador	1	230V		
IF-47	Eléctrodos	2			
IF-48	Filtro de Gasóleo	1			
IF-49	Motor da Bomba de Gasóleo	1	100W 230V		
IF-50	Bomba de Gasóleo	1			
IF-51	Bobine da Bomba de Gasóleo	1	24V		
IF-52	Ventilador	1	146x72		
IF-53	Regulador da Temperatura	1			
IF-54	Depósito de Gasóleo	1			
IC-03	Sonda da Chama	1			
IC-04	Termostato	1			
	Sistema	Subsistema 5	Equipa	Data	Folha Nº
	Lavadora D/P	Lança	CM;CP;EM		
1. Itens Físicos					
Nº	Descrição	Quant.	Características		
IF-55	Pistola	1			
IF-56	Meia Lança	1			
IF-57	Bico	1			

6.2.3.6 Identificação do Histórico dos Itens Físicos

Tabela 20 Identificação do Histórico dos Itens Físicos

MCF	Tabela para Identificação do Histórico dos Itens Físicos				
	Sistema	Subsistema 1	Equipa	Data	Folha Nº
	Lavadora D/P	Quadro Eléctrico	CM;CP;EM		
Item Físico	Modo de Falha		Causa da Falha		
IF- Interruptor	Lavadora não trabalha		Interruptor danificado		
IF Ficha e Cabos	Lavadora não trabalha		Ficha e Cabos Danificados		
IF Condensador	Lavadora não arranca		Condensador Queimado		
IF Contactor	Lavadora não arranca		Contactor não "atraca"		
	Sistema	Subsistema 2	Equipa	Data	Folha Nº
	Lavadora D/P	Motor	CM;CP;EM		
Item Físico	Modo de Falha		Causa da Falha		
IF Motor	Lavadora não trabalha		Filamentos do Estator queimados		
IF-Rolamentos do Motor	Dispara o quadro eléctrico da instalação		Desgaste dos Rolamentos do Motor		
IF-Rolamentos do Motor	Aquecimento excessivo do motor		Desgaste dos Rolamentos do Motor		
	Sistema	Subsistema 3	Equipa	Data	Folha Nº
	Lavadora D/P	Bomba	CM;CP;EM		
Item Físico	Modo de Falha		Causa da Falha		
IF-Válvula Anti-Retorno	Bomba trabalha em vazio		Válvula Anti-Retorno Danificada		
IF Vedantes	Fuga de água pela a bomba		Desgaste dos Vedantes		
IF Retentores	Água misturada com óleo		Desgaste dos Retentores		
IF Válvulas de Aspiração	Falta de pressão		Desgaste das Válvulas de Aspiração		
IF Válvula de Detergente	Pouca Pressão, fuga de água pelo circuito		Válvula de Detergente Danificada		
IF Visor do óleo	Fuga de óleo		Visor do óleo partido		
IF- Cabeça da Bomba	Excesso de Vibração na bomba		Parafusos da Bomba partidos		
IF Válvula Anti-Calcário	Calcário nas tubagens		Nível de Descalcificante muito baixo		
IF Válvula By-Pass	Falta de pressão e fuga de água pelo o by-pass		Sedes e o´rings do by-pass danificados		
IF Óleo	Baixo nível de óleo		Barulho na bomba		
IF Total Stop	Não trabalha		Total Stop avariado		
IF Total Stop	O motor não pára após se ter deixado premir no gatilho		Total Stop avariado		
IF Pistons	Falta de pressão, barulho estranho na bomba		Pistons Partidos		
	Sistema	Subsistema 4	Equipa	Data	Folha Nº
	Lavadora Profissional	Caldeira	CM;CP;EM		
Item Físico	Modo de Falha		Causa da Falha		
IF Bobine da Bomba de Gasóleo	Não trabalha a quente		Bobine Queimada		
IF Filtro de Gasóleo	Combustão com fumo preto		Filtro de Gasóleo Entupido		
IF Serpentina	Fuga de água pela a serpentina		Serpentina rota		
IF Bomba de Gasóleo	Não trabalha a quente		Bomba de Gasóleo Danificada		
IF Eléctrodos	Não trabalha a quente		Desgaste dos Eléctrodos		
IF Termóstato	Não regula a temperatura		Termóstato Danificado		
IF Transformador	Não trabalha a quente		Transformador queimado		
	Sistema	Subsistema 5	Equipa	Data	Folha Nº
	Lavadora D/P	Lança	CM;CP;EM		
Item Físico	Modo de Falha		Causa da Falha		
IF Bico	Pouca pressão		Desgaste do Bico		
IF Meia Lança	Fuga de água pela a lança		Desgaste de O´ring		

6.2.3.7 Identificação das Funções e Falhas Funcionais

Tabela 21 Identificação das Funções e Falhas Funcionais

MCF	Tabela para Identificação das Funções e Falhas Funcionais				
	Sistema	Subsistema 1	Equipa	Data	Folha Nº
	Lavadora D/P	Quadro Eléctrico	CM;CP;EM		
Nº	Função	Nº	Falha Funcional		
FP-01	Ligar Lavadora	FF-01	Não ligar a lavadora		
FP-02	Temporizar o total stop	FF-02	Não temporizar o total stop		
		FF-03	Não "atracar " o contactor		
FP-03	Actuar bomba de gasóleo	FF-04	Não actuar a bobine da bomba de gasóleo		
FP-04	Actuar eléctrodos	FF-05	Não efectuar combustão		
Sistema	Subsistema 2	Equipa	Data	Folha Nº	
Lavadora D/P	Motor	CM;CP;EM			
Nº	Função	Nº	Falha Funcional		
FP-05	Trasmitir movimento de rotação á bomba	FF-06	Não chegar corrente ao motor		
FS-01	Ler amperagem do motor com pinça amperímetro	FF-07	Disparar quadro eléctrico da instalação		
FS-02	Ler sinal nas bobines do motor	FF-08	Diminuição da amperagem do motor		
		FF-09	Motor não trabalhar		
Sistema	Subsistema 3	Equipa	Data	Folha Nº	
Lavadora D/P	Bomba	CM;CP;EM			
Nº	Função	Nº	Falha Funcional		
FP-06	Aspiração da água	FF-10	Existir falta de pressão		
FP-07	Aumentar a pressão da água	FF-11	Existir fuga de água		
		FF-12	Existir óleo misturado com água		
FP-08	Regular a pressão da água	FF-13	Bomba a trabalhar aos "solavancos"		
		FF-14	Existir baixo nível de óleo		
		FF-15	Não regular a pressão		
FS-03	Ler pressão da água no manómetro				
FS-04	Verificar nível de descalcificante				
Sistema	Subsistema 4	Equipa	Data	Folha Nº	
Lavadora Profissional	Caldeira	CM;CP;EM			
Nº	Função	Nº	Falha Funcional		
FP-09	Aquecer a água	FF-16	Não aquecer a água		
FP-10	Efectuar boa combustão	FF-17	Não circular água pela serpentina		
		FF-18	Combustão incorrecta		
		FF-19	Não circular gasóleo até ao bico injector		
FS-05	Ler sinal de 24V na bobine com multímetro	FF-20	Não chegar 24V á bobine		
FS-06	Ler sinal de 230V no transformador com multímetro	FF-21	Não chegar 230V ao transformador		
		FF-22	Não actuar o termóstato		
Sistema	Subsistema 5	Equipa	Data	Folha Nº	
Lavadora D/P	Lança	CM;CP;EM			
Nº	Função	Nº	Falha Funcional		
FP-11	Aumentar a pressão da água	FF23	Existir falta de pressão		
FP-12	Regular caudal de água de saída	FF24	Não regular caudal de água de saída		

6.2.4 - Etapa 4 – Selecção dos Itens Físicos Críticos

6.2.4.1 Descrição das Falhas Funcionais e Itens Físicos

Tabela 22 Descrição das Falhas Funcionais e Itens Físicos

MCF		Tabela de Descrição das Falhas Funcionais e Itens físicos																				ICE				
		Sistema	Equipagem	Data:	Folha Nº	Falha Funcional																				
Lavadora D/P		CM;CP;EM	Falha Funcional																							
			FF-01 Não Ligar Lavadora	FF-02 Não Temporizar total stop	FF-03 Não "arrancar" o contactor	FF-04 Não Actuar bobine da bomba de Gasóleo	FF-05 Não efectuar combustão	FF-06 Não chegar corrente ao motor	FF-07 Disparar quadro eléctrico da instalação	FF-08 Diminuição da Amperagem do Motor	FF-09 Motor não Trabalhar	FF-10 Existir Falta de Pressão e 23	FF-11 Existir Fuga de Agua	FF-12 Existir óleo misturado com a água	FF-13 Bomba a trabalhar aos "solavancos"	FF-14 Existir baixo nível de óleo	FF-15 Não regular pressão	FF-16 Não aquecer a água	FF-17 Não circular água pela a serpentina	FF-18 Combustão incorrecta	FF-19 Não circular gasóleo até ao bico injector	FF-20 Não chegar 24V à bobine	FF-21 Não chegar 230 V ao transformador	FF-22 Não actuar o termostato	FF-24 Não regular caudal de água de saída	
		CH	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
		CA	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
		CE	2	3	3	2	3	5	2	2	3	4	3	1	4	2	4	3	3	2	3	4	3	2		
Itens Físicos		DM																								
Nº	Descrição	DM																								ICE
IF-01	Interruptor	1	5																							10
IF-02	Contacto	2		4	5																					54
IF-03	Placa Electrónica	5	5	5																		3				183
IF-04	Temporizador	2		4																						24
IF-05	Condensador	1	4						3																	14
IF-06	Fios Eléctricos	1	4				4																			28
IF-07	Relé Térmico	2					3																			30
IF-08	Tampa do Motor	1								1																3
IF-09	Ventoinha	1						2																		4
IF-10	Estator do Motor	4							4	4																80
IF-11	Rolamento Radial de Esferas	4							4	3																68
IF-12	Rotor do Motor	4							4	4																80
IF-13	Flange do Motor	3								1																9
IF-14	Rolamento Radial de Esferas	4							4	3																68
IF-15	Prato do Excêntrico	3									3															36
IF-16	Rolamento Excêntrico Esferas	3									3															36
IF-17	Pistons + Mola	3									5			4												108
IF-18	Válvula Anti-Retorno	2												4												32
IF-19	Retentores	3									4		5													63
IF-20	Vedantes	3									5	4														96
IF-21	Válvulas de Aspiração	2									4		4													64
IF-22	Corpo da Bomba	3									4		4													60
IF-23	Cabeça da Bomba	2												3												24
IF-24	Válvula By-Pass + Total Stop	2		3										4												82
IF-25	Depósito de Detergente	1									1															4
IF-26	Válvula de Detergente	2									3	3														42
IF-27	Corpo da Bomba	3									4		4													60
IF-28	Cabeça da Bomba	2												3												24
IF-29	Pistons	3									5		4													108
IF-30	Rolamento de Rolos	3									3															36
IF-31	Flange da Bomba	3									1															7
IF-32	Cambota	4									3															48
IF-33	Biela	3									3															36
IF-34	Retentor da Cambota	2									3															18
IF-35	Válvulas de Aspiração	2									4		4													64
IF-36	Retentores	3									4		5													63
IF-37	Vedantes	3									5	4														96
IF-38	Válvula By-Pass + Total Stop	2		3										4			4									82
IF-39	Válvula Anti-Calcário	1									2															8
IF-40	Depósito de Detergente	1									1															4
IC-02	Regulador do Detergente	1									1															4
IF-41	Corpo da Caldeira	3																	2							18
IF-42	Serpentina	4																3	3							72
IF-43	Cimento Refractário	3																		3						27
IF-44	Chaminé da Caldeira	2																	3		4					42
IF-45	Bico Injector	2																		3	4					34
IF-46	Transformador	2																					4			32
IF-47	Eléctrodos	2															4		4				3			48
IF-48	Filtro de Gasóleo	2																			4					16
IF-49	Motor da Bomba de Gasóleo	3																				3				27
IF-50	Bomba de Gasóleo	3																			5	3				57
IF-51	Bobine da Bomba de Gasóleo	3																				5				75
IF-52	Ventilador	3																		3						45
IF-53	Regulador da Temperatura	2									1															8
IF-54	Depósito de Gasóleo	1																		2	2					28
IC-03	Sonda da Chama	3																			2					18
IC-04	Termostato	4																						4		48
IF-55	Pistola	2										3														24
IF-56	Meia Lança	2										3														24
IF-57	Bico	1										4													3	22

Legenda:

- DM Dificuldades para executar a manutenção
- CH Consequências na segurança humana
- CA Consequências a nível ambiental
- CE Consequências a nível económico
- ICE Índice Criticidade Económica

6.2.5 - Etapa 5 – Recolha e Análise de Documentação

Informações necessárias nas outras etapas do processo de implementação da manutenção centrada na fiabilidade podem ser obtidas nos seguintes documentos:

- Diagramas de Instrumentação;
- Diagramas de bloco ou esquemas do sistema;
- Manuais de venda dos equipamentos;
- Arquivos históricos do equipamento;
- Manuais de operação do sistema;
- Especificações e dados descritivos do projecto do sistema;

6.2.6 - Etapa 6 – Análise dos Modos e Efeitos da Falha

6.2.6.1 Análise dos Modos e Efeitos da Falha (FMEA)

Tabela 23 Análise dos Modos e Efeitos da Falha (FMEA)

MCF	Tabela de Análise dos Modos e Efeitos de Falha				
	Sistema	Subsistema 1	Equipa	Data	Folha Nº
	Lavadora D/P	Quadro Eléctrico	CM;CP;EM		
Nº	Função	Nº	Falha Funcional		
FP-01	Ligar Lavadora	FF-01	Não ligar a lavadora		
Item Físico	Modo de Falha	Causa da Falha	Efeito e Consequência da Falha	D.D.	
IF-03 Placa Electrónica	MF-01 Placa Electrónica Queimada	Sobreaquecimento da placa electrónica	Painel Electrónico da máquina não funciona e Lavadora não trabalha	Sim	
Nº	Função	Nº	Falha Funcional		
FP-02	Temporizar total stop	FF-02	Não temporizar o total stop		
Item Físico	Modo de Falha	Causa da Falha	Efeito e Consequência da Falha	D.D.	
IF-03 Placa Electrónica	MF-01 Temporizador danificado	Sobreaquecimento do temporizador	Motor não desliga após de se deixar de premir no gatilho	Sim	
IF-24 Válvula By-Pass+Total Stop	MF-01 Não desliga o motor após deixar de premir no gatilho	Relés de Contacto do total stop danificados	Motor continua a trabalhar em vazio	Sim	
Nº	Lavadora D/P	Motor	CM;CP;EM		
Nº	Função	Nº	Falha Funcional		
FP-05	Trasmitir movimento de rotação á bomba	FF-08 e FF-09	Diminuição da amperagem do motor/ Motor não trabalhar		
Item Físico	Modo de Falha	Causa da Falha	Efeito e Consequência da Falha	D.D.	
IF-10 Estator do Motor	MF-01 Filamentos Estator Queimados	Desequilíbrio de Fases ou Curto Circuito	Motor pára e faz disparar o quadro eléctrico da instalação	Sim	
IF-11 Rolamento Radial de Esferas	MF-01 Temperatura do Motor Excessiva	Rolamentos Gripados	Diminuição das Rotações por Minuto e da Amperagem do motor	Sim	
IF-12 Rotor	MF-01 Barramentos com fendas	Desequilíbrio de Fases	Diminuição das Rotações por Minuto e Amperagem do Motor	Sim	
	MF-02 Rotor Excêntrico ou empenado	Rolamentos Gripados	Diminuição das Rotações por Minuto e Amperagem do Motor	Sim	
IF-24 Válvula By-Pass + Total Stop	MF-01 Não desliga o motor após deixar de premir no gatilho	Relés de Contacto do total stop danificados	Motor continua a trabalhar em vazio	Sim	

Nº	Sistema	Subsistema 3	Equipa	Data	Folha Nº
	Lavadora D/P	Bomba	CM;CP;EM		
Nº		Função	Nº	Falha Funcional	
FP-06	Aspiração da água		FF-10 e FF-23	Existir falta de pressão	
Item Físico	Modo de Falha	Causa da Falha	Efeito e Consequência da Falha	D.D.	
IF-17 Piston + Mola	MF-01 Pistons Partidos/Rachados	Falta de Lubrificação nos pistons	Barulho estranho na bomba e falta de aspiração na lavadora	Sim	
IF-19 Retentores	MF-01 Desgaste dos Retentores	Tempo excessivo de lavadora a funcionar	Desgaste dos Pistons,falta de pressão, ovalização das camisas da bomba	Sim	
IF-20 Vedantes	MF-01 Desgaste dos Vedantes	Tempo excessivo de lavadora a funcionar	Fuga de água na bomba e falta de pressão	Sim	
IF-21 Válvulas de Aspiração	MF-01 Desgaste das Válvulas de Aspiração	Sujidades na água, danificação da mola válvula	Bomba a trabalhar aos "solavancos"	Sim	
Nº		Função	Nº	Falha Funcional	
FP-07	Aumentar a pressão da água		FF-11	Existir fuga de água	
Item Físico	Modo de Falha	Causa da Falha	Efeito e Consequência da Falha	D.D.	
IF-17 Piston + Mola	MF-01 Pistons Partidos/Rachados	Falta de Lubrificação nos pistons	Barulho estranho na bomba e falta de aspiração na lavadora	Sim	
IF-20 Vedantes	MF-01 Desgaste dos Vedantes	Tempo excessivo de lavadora a funcionar	Falta de pressão	Sim	
IF-24 Válvula By-Pass + Total Stop	MF-01 Fuga de água pelo by-pass	O' rings danificados	Pressão insufiente da lavadora	Sim	
Nº		Função	Nº	Falha Funcional	
FP-08	Regular a pressão da água		FF-12	Existir óleo misturado com a água	
Item Físico	Modo de Falha	Causa da Falha	Efeito e Consequência da Falha	D.D.	
IF-19 Retentores	MF-01 Desgaste dos Retentores	Tempo excessivo de lavadora a funcionar	Desgaste dos Pistons e ovalização das camisas da bomba	Sim	
Nº		Função	Nº	Falha Funcional	
FS-03	Ler pressão no manómetro		FF-13	Bomba a trabalhar aos "solavancos"	
Item Físico	Modo de Falha	Causa da Falha	Efeito e Consequência da Falha	D.D.	
IF-17 Piston + Mola	MF-01 Pistons Partidos/Rachados	Falta de Lubrificação nos pistons	Barulho estranho na bomba e falta de aspiração na lavadora	Sim	
IF-20 Vedantes	MF-01 Desgaste dos Vedantes	Tempo excessivo de lavadora a funcionar	Fuga de água pela a bomba	Sim	
Nº		Função	Nº	Falha Funcional	
FP-08	Regular a pressão da água		FF-15	Não regular a pressão	
Item Físico	Modo de Falha	Causa da Falha	Efeito e Consequência da Falha	D.D.	
IF-24 Válvula By-Pass + Total Stop	MF-01 Não regula até pressão máxima	Sedes do By-Pass danificados	Não regula a pressão no by-pass e pressão insuficiente da lavadora	Sim	
Nº		Função	Nº	Falha Funcional	
FP-09	Aquecer a água		FF-16	Não aquecer a água	
Item Físico	Modo de Falha	Causa da Falha	Efeito e Consequência da Falha	D.D.	
IF-42 Serpentina	MF-01 Serpentina rota	Oxidação da tubagem da serpentina	Fuga de água na serpentina/Falta de pressão	Sim	
IF-44 Chaminé da Caldeira	MF-01 Cone da Chaminé derretido devido ao aquecimento	Excessivo tempo a trabalhar a quente	Combustão incorrecta/Fumo Preto	Sim	
IF-45 Bico Injector	MF-01 Bico Injector intupido	Sujidades presentes no gasóleo	Combustão incorrecta	Sim	
IF-46 Transformador	MF-01 Transformador queimado	Aquecimento excessivo do transformador	Não efectua combustão	Sim	
IF-47 Eléctrodos	MF-01 Desgaste dos eléctrodos	Tempo excessivo a efectuar combustão	Não aquece a água	Sim	
	MF-02 Distância entre eléctrodos incorrecta	Tempo excessivo a efectuar combustão	Combustão incorrecta	Sim	
IF-48 Filtro de Gasóleo	MF-01 Filtro de Gasóleo entupido	Sujidades no gasóleo	Combustão incorrecta	Sim	
IF-49 Motor da Bomba de Gasóleo	MF-01 Bomba de Gasóleo não trabalha	Magnético da bobine insuficiente	Não aquece a água	Sim	
Nº		Função	Nº	Falha Funcional	
FP-10	Efectuar boa combustão		FF-17	Não circular água pela serpentina	
Item Físico	Modo de Falha	Causa da Falha	Efeito e Consequência da Falha	D.D.	
IF-42 Serpentina	MF-01 Serpentina rota	Oxidação da tubagem da serpentina	Sujidades e calcário na serpentina	Sim	
Nº		Função	Nº	Falha Funcional	
FP-10	Efectuar boa combustão		FF-18	Combustão incorrecta	
Item Físico	Modo de Falha	Causa da Falha	Efeito e Consequência da Falha	D.D.	
IF-44 Chaminé da Caldeira	MF-01 Desgaste do cone da chaminé	Aquecimento excessivo na chaminé	Combustão incorrecta	Sim	
IF-45 Bico Injector	MF-01 Bico injector entupido	Desgaste do bico injector	Combustão incorrecta	Sim	
IF-47 Eléctrodos	MF-01 Distância entre eléctrodos incorrecta	Tempo excessivo a efectuar combustão	Combustão incorrecta	Sim	

Nº	Função	Nº	Falha Funcional	
FP-10	Efectuar boa combustão	FF-19	Não circular gasóleo até ao bico injector	
Item Físico	Modo de Falha	Causa da Falha	Efeito e Consequência da Falha	D.D.
IF-45 Bico Injector	MF-01 Bico injector entupido	Desgaste do bico injector	Combustão incorrecta	Sim
IF-50 Bomba de Gasóleo	MF-01 Não faz a aspiração do gasóleo	Carretos da bomba com sujidade	Não aquece a água	Sim
Nº	Função	Nº	Falha Funcional	
FP-10	Efectuar boa combustão	FF-20	Não chegar 24V á bobine	
Item Físico	Modo de Falha	Causa da Falha	Efeito e Consequência da Falha	D.D.
IF-51 Bobine da Bomba de Gasóleo	MF-01 Pouca Aspiração da bomba gasóleo	Pouco magnetismo da bobine	Combustão incorrecta	Sim
Nº	Função	Nº	Falha Funcional	
FP-10	Efectuar boa combustão	FF-21	Não chegar 230V ao transformador	
Item Físico	Modo de Falha	Causa da Falha	Efeito e Consequência da Falha	D.D.
IF-47 Eléctrodos	MF-01 Inexistência de faísca nos eléctrodos	Transformador queimado	Inexistência de combustão	Sim
Nº	Função	Nº	Falha Funcional	
FP-10	Efectuar boa combustão	FF-22	Não actuar o térmotato	
Item Físico	Modo de Falha	Causa da Falha	Efeito e Consequência da Falha	D.D.
IC-04 Termóstato	Água entra tarde na serpentina	Termóstato descalibrado	Tempo de combustão incorrecto	Sim

6.2.7 - Etapa 7 – Selecção de Tarefas Preventivas

Etapa que compreende a selecção das tarefas viáveis e efectivas na prevenção das falhas funcionais, faz ainda uma comparação entre o programa de manutenção preventiva existente e o proposto pela manutenção centrada na fiabilidade, além de uma revisão do processo, em busca de erros e omissões. As ferramentas básicas para o desenvolvimento desta etapa são:

- Árvore Lógica de Decisão
- Diagrama de Decisão

6.2.7.1 Selecção das Tarefas de Manutenção

6.2.7.1.1 Determinação o intervalo óptimo para realizar as tarefas de manutenção

Pode ser dividido em cinco categorias:

1) Periodicidade de tarefas de recuperação e substituição (PTRS) baseadas no tempo. O limite de vida bom funcionamento é muitas vezes estabelecido, dividindo o MTBF por um factor arbitrário, maior que três ou quatro

$$MTBF = 3114 \text{ Horas}$$

$$PTRS = \frac{3114}{6} = 519 \text{ Horas}$$

Tem em conta a idade na qual o item físico apresenta um rápido aumento da probabilidade de falha baseia-se em dois intervalos:

- Limite de vida de bom funcionamento (Falhas com consequências na segurança humana e ambiental);
- Limite de vida económica (Falhas com consequências operacionais e económicas);

2) Periodicidade das tarefas de monitorização baseadas nas condições actuais;

Tem por objectivo detectar falhas potenciais e baseia-se no estado do equipamento e no histórico de correlação entre o estado do equipamento e a incidência de falhas.

3) Periodicidade das tarefas de verificação funcional;

È determinada conhecendo-se a indisponibilidade e a fiabilidade do item:

PTVF – Periodicidade da tarefa de verificação funcional

I – Indisponibilidade do dispositivo de protecção

MTBF – Média de tempos de bom funcionamento

$$PTVF = I \times MTBF$$

$$= 0,1 \times 3114$$

$$= 311,4 \text{ Horas}$$

4) Comparação das tarefas antigas com tarefas propostas pela Manutenção Centrada na Fiabilidade

Tem como objectivo que se conheça as diferenças entre as duas propostas e motivar os gestores a trocar o plano de manutenção existente. No caso de o equipamento ser novo permitirá comparar as tarefas proposta pelo fabricante do equipamento com as propostas da manutenção centrada na fiabilidade.

5) Periodicidade das tarefas baseadas na opinião de especialistas

Quando não se dispõe de informações históricas para determinar estatisticamente a periodicidade das tarefas de manutenção, a única opção é determiná-las através da opinião de especialistas, tal recurso é utilizado em fases iniciais de implementação da manutenção centrada na fiabilidade.

Tabela 24 Selecção das Tarefas de Manutenção

MCF	Tabela de Selecção das Tarefas de Manutenção																
	Sistema		Subsistema					Equipa			Folha Nº						
	Lavadora D/P							CM;CP;EM									
Falha Funcional	Modo de Falha	Árvore Lógica de Decisão					Diagrama de Decisão para Selecção de Tarefas									Tarefa	Freq.
		E	S	A	O	Cat	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
FF-01	Não Ligar Lavadora	MF-01 - Placa Electrónica Queimada	N	N	N	S	D/B	N	N	N	S	S	S	N	N	1-Inspeccionar estado da placa electrónica	300 horas
FF-02	Não temporizar o total stop	MF-01 Temporizador Danificado	N	N	N	S	R	N	N	N	S	S	S	N	N	1-Inspeção ao estado do temporizador	300 Horas
		MF-02 Não desliga o motor após deixar de premir no gatilho	N	N	N	S	B	N	N	N	S	S	S	N	N	1-Verificação dos relés do total stop	50 Horas
			N	N	N	S	B	N	N	N	S	S	S	N	N	2- Substituição do total stop	100 Horas
FF-08 e FF-09	Não chegar corrente ao motor	MF-01 - Filamentos do Estator	N	N	N	S	B	N	N	N	S	S	S	N	N	1-Inspeção visual do estado dos filamentos do estator	300 horas
		MF-02 Temperatura do Motor Excessiva	N	N	N	S	B	N	N	N	S	S	S	N	N	1- Medição da temperatura do motor	100 Horas
			N	N	N	S	B	N	N	N	S	S	S	N	N	2- Verificação do estado dos rolamentos	300 Horas
		MF-03 Barramento com fendas	N	N	N	S	B	N	N	N	N	S	S	S	N	1-Inspeção do estado do rotor	500 Horas
		MF-04 Rotor Excêntrico ou empenado	N	N	N	S	B	N	N	N	N	S	S	S	N	1-Verificação do desalinhamento do rotor	500 Horas
MF-05 Não desliga o motor após deixar de premir no gatilho	N	N	N	S	D/B	N	N	N	N	S	S	S	N	N	1-Verificação dos relés do total stop	300 Horas	
FF-10 e FF-23	Existir falta de pressão	MF-01 Pistons Partidos/Rachados	N	N	N	S	R	N	N	N	N	S	S	N	N	1-Inspeção visual aos pistons	300 Horas
		MF-02 Desgaste dos Retentores	N	N	N	N	R	N	N	N	S	S	S	N	N	1-Verificação do estado dos retentores	300 Horas
			N	N	N	N	R	N	N	N	S	S	S	N	N	2-Substituição dos Retentores	500 Horas
		MF-03 Desgaste dos Vedantes	N	N	N	N	R	N	N	N	S	S	S	N	N	1-Verificação do estado dos vedantes	300 Horas
N	N		N	N	R	N	N	N	S	S	S	N	N	2- Substituição dos vedantes	500 Horas		
MF-04 Desgaste das Válvulas de Aspiração	N	N	N	N	R	N	N	N	S	S	S	N	N	1- Verificação do estado da válvulas de aspiração	100 Horas		
	N	N	N	N	R	N	N	N	S	S	S	N	N	2- Substituição das válvulas de aspiração	500 Horas		
FF-11	Existir fuga de água	MF-01 Pistons Partidos/Rachados	N	N	N	S	R	N	N	N	N	S	S	N	N	1-Inspeção visual aos pistons	300 Horas
		MF-02 Fuga de água pelo o by-pass	S	N	N	S	R	N	N	N	N	S	S	N	N	1-Verificação do estado o'rings,mola e sedes do by-pass	300 Horas
		MF-03 Desgaste dos Vedantes	N	N	N	S	R	N	N	N	N	S	S	N	N	1-Verificação do estado dos vedantes	300 Horas
FF-12	Existir óleo misturado com água	MF-01 Desgaste dos Retentores	N	N	N	S	B	N	N	N	N	S	S	N	N	1- Substituição dos Retentores	500 Horas
FF-13	Bomba a trabalhar aos "solavancos"	MF-01 Pistons Partidos/Rachados	N	N	N	S	R	N	N	N	N	S	S	N	N	1-Inspeção visual aos pistons	300 Horas
		MF-02 Desgaste dos Vedantes	N	N	N	S	R	N	N	N	N	S	S	N	N	1-Verificação do estado dos vedantes	300 Horas
FF-15	Não regular a pressão	MF-01 Não regula até á pressão máxima	N	N	N	S	R	N	N	N	N	S	S	N	N	1-Verificação do estado da mola e sedes do by-pass	300 Horas

FF-16	Não aquecer a água	MF-01 Serpentina Rota	N	N	N	S	R	N	N	N	N	N	N	S	S	N	N	1-Verificação do estado da serpentina	300 Horas	
		MF-02 Cone da Chaminé derretido devido ao aquecimento	S	N	N	S	R	S	N	N	N	N	N	N	S	S	N	N	1-Inspeção visual do cone da chaminé	300 Horas
		MF-03 Bico Injector Entupido	N	N	N	S	R	N	N	N	N	N	N	N	S	S	N	N	1-Verificação do estado bico injector	300 Horas
		MF-02 Transformador Queimado	N	N	N	S	B	N	N	N	N	N	N	N	S	S	N	N	1- Substituição do Transformador	
		MF-04 Desgaste dos Eléctrodos	N	N	N	S	R	S	N	N	N	N	N	N	S	S	N	N	1-Inspeção visual dos eléctrodos	100 Horas
		MF-05 Distância entre eléctrodos incorrecta	N	N	N	S	R	S	N	N	N	N	N	N	S	S	N	N	1-Verificação da distância entre eléctrodos	100 Horas
		MF-06 Filtro de Gasóleo entupido	N	N	N	S	R	S	N	N	N	N	N	N	S	S	N	N	1-Verificação da sujidade do filtro	100 Horas
		MF-07 Bomba de Gasóleo não trabalha	N	N	N	S	R	N	N	N	N	N	N	N	S	S	N	N	1-Verificação do estado da bobine e carretos da bomba	300 horas
FF-17	Não circular água pela a serpentina	MF-01 Serpentina Rota	S	N	N	S	R	S	N	N	N	N	S	S	N	N	1-Verificação do estado da serpentina	300 Horas		
FF-18	Combustão incorrecta	MF-01 Desgaste do Cone da Chaminé	N	N	N	S	R	S	N	N	N	N	N	S	S	N	N	1- Verificação do estado do coné da chaminé	300 Horas	
		MF-02 Bico Injector Entupido	N	N	N	S	R	S	N	N	N	N	N	S	S	N	N	1 - Substituição do bico injector	300 horas	
		MF-03 Distância entre eléctrodos incorrecta	N	N	N	S	R	N	N	N	N	N	N	S	S	N	N	1- Colocação dos eléctrodos á distância correcta	100 Horas	
FF-19	Não circular gásóleo até ao bico injector	MF-01 Bico Injector Entupido	N	N	N	S	R	S	N	N	N	N	N	S	S	N	N	1- Verificação do estado do bico injector	100 Horas	
		MF-02 Não faz Aspiração do Gasóleo	N	N	N	S	R	S	N	N	N	N	N	S	S	N	N	1- Verificar estado do filtro de gásóleo	100 Horas	
FF-20	Não chegar 24V á Bobine	MF-01 Pouca Aspiração da Bomba de Gasóleo	N	N	N	S	R	N	N	N	N	N	S	S	N	N	1- Substituição da bobine da bomba de gásóleo	300 Horas		
FF-21	Não chegar 230V ao Transformador	MF-01 Inexistência de fásca nos eléctrodos	N	N	N	S	R	N	N	N	N	N	S	S	N	N	1- Substituição do transformador	500 Horas		
FF-22	Não actuar o termóstato	MF-01 Água entra tarde na Serpentina	N	N	N	S	R	N	N	N	N	N	S	S	N	N	1 - Verificar estado do termóstato	300 Horas		

Legenda:

E - Existência de falhas evidentes

S - Riscos de Segurança

A - Riscos Ambientais

O - Presença de Riscos e Consequências Operacionais

Categoria da Falha tipo "B" - Paragem do Equipamento

Categoria da Falha tipo "D/B" - Falha Oculta e Paragem do Equipamento

Categoria da Falha tipo R - Perca de Rendimento no Equipamento

Categoria da Falha tipo C - Trabalhar até falhar

1- Há alguma tarefa de rotina aplicável para adiar ou evitar a degradação?

2- A relação entre idade e fiabilidade para esta falha é conhecida?

3- Há alguma tarefa de restauração ou substituição baseada no tempo aplicável?

4- Há alguma tarefa de monitorização baseada nas condições aplicáveis?

5- O modo de falha está associado á categoria "D" falha oculta?

6- Há alguma tarefa de verificação funcional aplicável?

7- A tarefa seleccionada é eficaz?

8- O modo de falha está associado á categoria "C"ou "D/C"?

9- O reprojecto pode eliminar o modo de falha ou seus efeitos?

6.2.8 - Etapa 8 – Definição da Periodicidade das Tarefas de Manutenção

6.2.8.1 Plano de Manutenção Centrada na Fiabilidade

Tabela 25 Plano de Manutenção Centrada na Fiabilidade

MCF	Tabela de Descrição do Plano de Manutenção Centrada na Fiabilidade		
	Sistema	Equipa: CM;CP;EM	Folha Nº
	Lavadora D/P	Gestor:EM	Data:
Nº	Item Físico	Tarefa de manutenção	Frequência
IF-03	Placa Electrónica	1-Inspeccionar estado da placa electrónica	300 Horas
IF-04	Temporizador	1- Inspeção ao estado do temporizador	300 Horas
IF-10	Estator do Motor	1-Inspeção visual do estado dos filamentos do estator	300 horas
IF-11	Rolamentos do Motor	1- Medição da temperatura do motor	300 Horas
		2- Verificação do estado dos rolamentos	500 horas
IF-12	Rotor do Motor	1-Inspeção do estado do rotor	500 Horas
		2-Verificação do desalinhamento do rotor	500 Horas
IF-17 e 29	Pistons	1-Inspeção visual aos pistons	300 Horas
IF-19 e 36	Retentores	1- Verificação do estado dos retentores	300 Horas
		2- Substituição dos retentores	500 Horas
IF-20 e 37	Vedantes	1- Verificação do estado dos vedantes	300 horas
		2- Substituição dos vedantes	500 Horas
IF-21 e 35	Válvulas de Aspiração	1- Verificação do estado das válvulas de aspiração	100 horas
		2- Substituição das válvulas de aspiração	500 Horas
IF-24	Válvula By-Pass + Total Stop	1-Verificação dos relés do total stop	50 Horas
		2-Substituição do Total Stop	100 Horas
		3- Verificação do estado o´rings,mola e sedes do by-pass	300 Horas
IF-42	Serpentina	1-Verificação do estado da serpentina	300 Horas
IF-44	Chaminé da Caldeira	1-Inspeção visual do cone da chaminé	300 Horas
IF-45	Bico Injector	1-Verificação do estado bico injector	300 Horas
IF-46	Transformador	1-Trabalhar até ocorrer a falha do transformador	
IF-47	Eléctrodos	1-Inspeção visual dos eléctrodos	100 Horas
		2-Verificação da distância entre eléctrodos	100 Horas
IF-48	Filtro de Gasóleo	1-Verificação da sujidade do filtro	100 Horas
IF-50	Bomba de Gasóleo	1- Verificação do estado dos carretos da bomba	300 Horas
IF-51	Bobine da Bomba de Gasóleo	1-Verificação do estado da bobine e carretos da bomba	300 horas
IC-04	Termóstato	1-Verificação do estado do termóstato	300 Horas

6.3 Avaliação do Modelo Rausand (1998) para as Lavadoras de Alta Pressão

O equipamento lavadora de alta pressão labor (gama doméstica) foi dividido em quatro sistemas funcionais (quadro eléctrico, motor, bomba e lança) e a lavadora de alta pressão (gama profissional) foi dividido em cinco sistemas (quadro eléctrico, motor, bomba, caldeira e lança). A estruturação nestes sistemas funcionais permitiu um melhor entendimento daquilo que será analisado procurando incorporar as funções mais importantes do equipamento. Cada sistema funcional foi dividido no seu subsistema de modo identificar os itens físicos que provocam falhas funcionais no sistema. Foi implementado a manutenção centrada na fiabilidade em todos os subsistemas devido a diversos factores: (i) elevada mortalidade infantil e defeitos de fabrico deste equipamento;(ii) a paragem do equipamento compromete a laboração em diversos ramos de actividade (agro-pecuárias, pedreiras, reparação de camiões e betoneiras); (iii) custos das reparações elevados tendo em conta o valor comercial do equipamento; (iv) comercialização incorrecta do equipamento tendo em conta o seu contexto operacional; (v) elevado número de reclamações por parte do cliente. Os dados dos tempos de bom funcionamento (MTBF) e os itens substituídos ou reparados foram retirados do histórico de três anos do programa informático TRJ. Foram definidos as fronteiras do sistema tendo em conta cada sistema funcional, pois basta um dos sistemas não estar a funcionar para condicionar o correcto funcionamento do mesmo, em que podemos de um modo geral identificar que o quadro eléctrico está relacionado com arranque do equipamento, o motor com o funcionamento do mesmo, a bomba para aspiração e criação de pressão e a lança para restringir a saída da água e criar pressão. No que diz respeito às funções do sistema foi identificado o circuito desde a entrada da água até a saída pela lança, em que água é aspirada, é aumentada a sua pressão é regulada de acordo com a utilização do operador e é restringida caso o operador o deseje. Há a existência de também de dispositivos de protecção quer seja o total stop para fazer parar o motor, caso o operador deixe premir no gatilho da lança, válvula de descarga caso exista alguma sobrepressão na bomba. De modo o operador possa controlar a pressão desejada existe um manómetro para esse efeito, tal como um visor de óleo para que operador possa identificar descida abruptas do nível de óleo.

Em relação ao diagrama de blocos funcionais e interfaces de entrada e saída podemos verificar a existência de um contexto operacional não previsto pelo fabricante, água aspirada pelo poço, o que torna necessário efectuar o sangramento do circuito, ou seja eliminar todo o ar existente no circuito que possam interferir com a pressão da lavadora. É necessário garantir que a lavadora apresente a pressão desejada pelo operador (50 a 200 Bar), que os consumos do motor estão correctos, ou seja, amperagem do motor de acordo com o identificado na chapa do equipamento e a saída de detergente com água caso o operador pretenda essa opção. O objectivo da criação do diagrama é dar visibilidade e facilitar o entendimento funcional das lavadoras através da

análise das linhas interligação entre os blocos e as interações entre os subsistemas. Os itens físicos funcionais e de controlo para os diferentes subsistemas foram retirados da lista de peças fornecida pelo fabricante que se encontra disponível no site. O histórico dos itens físicos foi retirado do histórico de três anos garantias e reparações do programa informático TRJ em que foi analisado o modo de falha, ou seja, a avaria ou perda de função correspondente a esse item físico a causa dessa avaria, podendo ser desgaste do item físico ou parâmetros incorrectos relacionados a esse item físico.

Uma das etapas mais importantes da manutenção centrada na fiabilidade é identificação das funções e falhas funcionais para os diferentes subsistemas. Foram identificadas doze funções principais, seis funções secundárias para os diferentes subsistemas e vinte e quatro falhas funcionais.

Um dos objectivos da manutenção centrada na fiabilidade é identificar os itens físicos que são potencialmente críticos em relação às falhas funcionais. As falhas funcionais são aquelas que devem ser evitadas através da manutenção preventiva e a matriz de correlação fornece informações importantes para tomadas dessa decisão. O valor do índice de consequências económicas (C_E) e o grau de dificuldade para realização das actividades de manutenção (D_M) são dois índices que fornecem importante informação acerca os itens físicos críticos que necessitam de ser alvo da manutenção centrada na fiabilidade. Na matriz também é possível ser observado que nenhuma das falhas funcionais apresenta consequência na segurança humana (C_H) e consequências a nível ambiental (C_A). Após a multiplicação do (D_M) com o (C_E) para cada item físico e falha funcional respectiva obtemos o valor do índice de prioridade das condições económicas (I_{CE}) respectivo. Os valores de (I_{CE}) igual ou acima de cinquenta vão ser alvo de manutenção centrada na fiabilidade, os restantes valores é aplicado a manutenção correctiva ou operar até falhar.

Na aplicação da análise dos modos e efeitos da falha (FMEA) foi identificado os modos de falhas dos itens físicos críticos para todos os subsistemas da lavadora. Foi essencial a identificação de diversos modos de falha, causa da falha e consequência da falha, pois os itens físicos apresentam alguns de defeitos de fabrico, tornando-se assim necessário identificar os seus modos de falha para posterior acções pró-activas. Todos os modos de falha serão alvo da utilização da ferramenta da manutenção centrada na fiabilidade diagrama de decisão pois é essencial identificar a tarefa de manutenção mais adequada ao item físico, quer seja de controlo de condição, substituição ou efectuar uma tarefa de rotina. Devido aos itens físicos das lavadoras apresentarem alguns problemas de fabricação, grande parte das tarefas de manutenção focaliza-se nas inspecções e verificações, pois assim poderemos detectar a altura ideal para sua substituição. Outra ferramenta também utilizada foi a árvore lógica de decisão que classifica os modos de falha quer seja “A” riscos ambientais, “S” de segurança, “E” existência de falhas evidentes. As categorias da falha foram definidas como “O” presença de riscos operacionais, “B” paragem do equipamento, “D/B” falha oculta, “R” perda de rendimento e “C” trabalhar até falhar. Apenas não foi utilizado a categoria “C” pois aqui é essencial controlar a condição dos itens físicos devido á existência de mortalidade infantil dos itens. Grande parte das tarefas de substituição são precedidas de inspecção pois essencial consegue-se identificar a altura ideal para substituição dos

componentes e assim eliminar o desperdício da manutenção preventiva sistemática.

O plano de manutenção centrada na fiabilidade final apresenta tarefas de manutenção para todos os itens físicos críticos de modo a aumentar a fiabilidade dos mesmos. Comparando o plano de manutenção centrada na fiabilidade com o plano de manutenção preventiva sistemática do fabricante, verifica-se que a fábrica apresenta períodos mais longos de média de tempos de bom funcionamento (MTBF) dos itens físicos e que na maior parte dos casos não efectua a precedência do controlo de condição aos itens físicos. O plano de manutenção centrada na fiabilidade consegue identificar itens físicos críticos em condições de serviço que a fábrica em condições de laboratório não lhes é possível identificar.

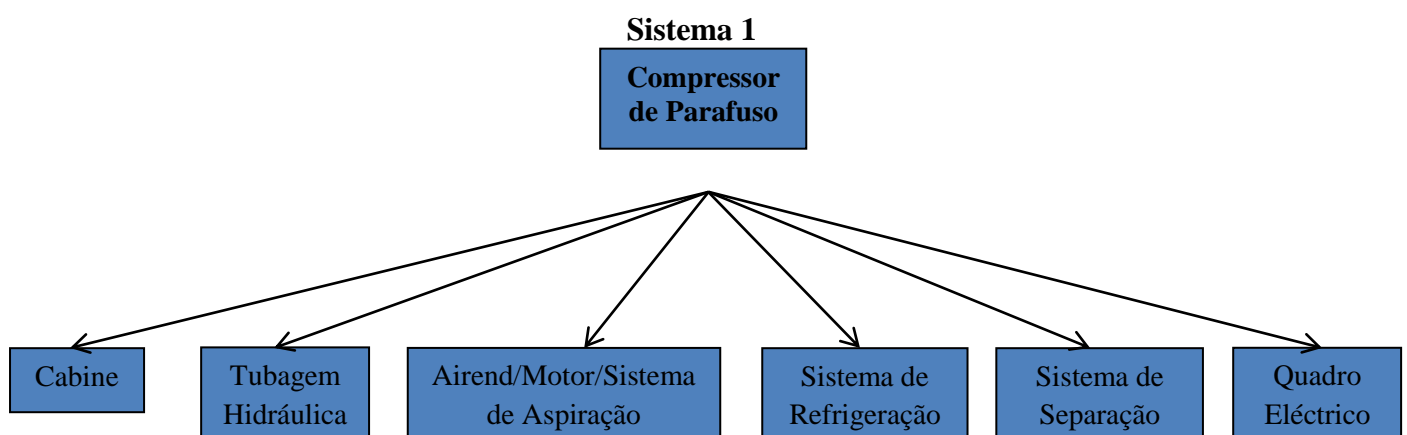
6.4 Modelo Rausand (1998) para os Compressores de Parafuso

6.4.1 - Etapa 1 – Preparação do Estudo (Definição do Grupo de Trabalho para Implementação da MCF e Objectivos do Estudo)

- Colaborador da Área da Manutenção – Técnico da Manutenção Electromecânica
- Colaborador da Área da Produção – Torneiro Mecânico e Assistente de Manutenção Electromecânica
- Especialista na MCF – Engenheiro da Manutenção

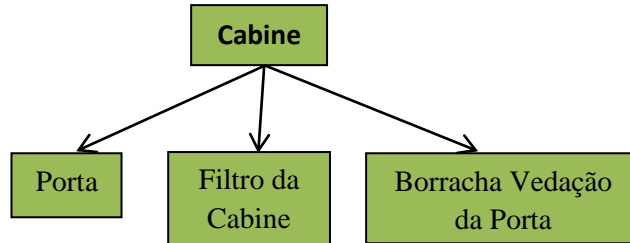
6.4.2 - Etapa 2 – Selecção do Sistema

O equipamento a ser analisado vão ser os compressores de parafuso. Os sistemas funcionais vão ser divididos nas seguintes áreas fundamentais:

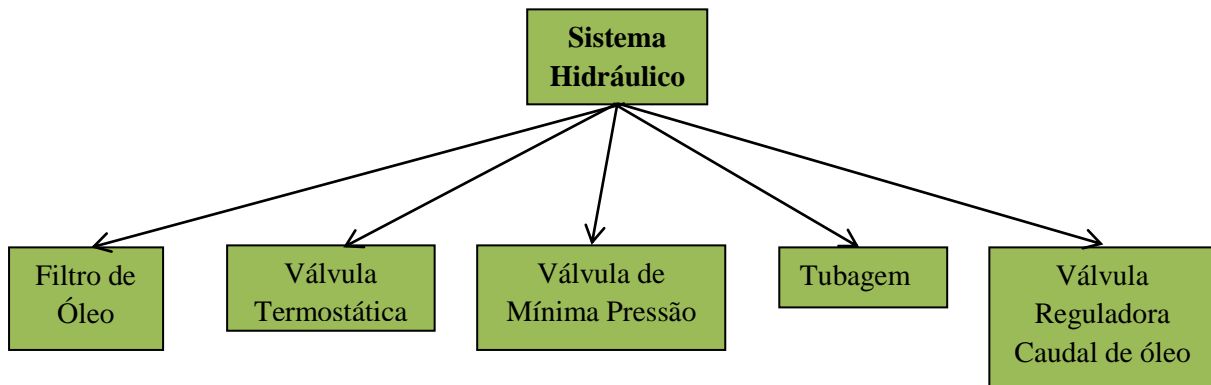


Definição dos subsistemas funcionais para cada área envolvida:

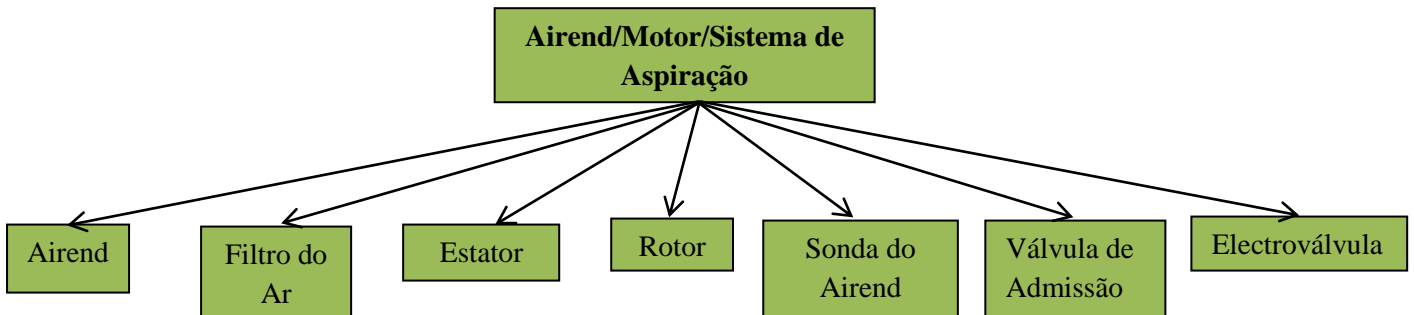
Subsistema 1



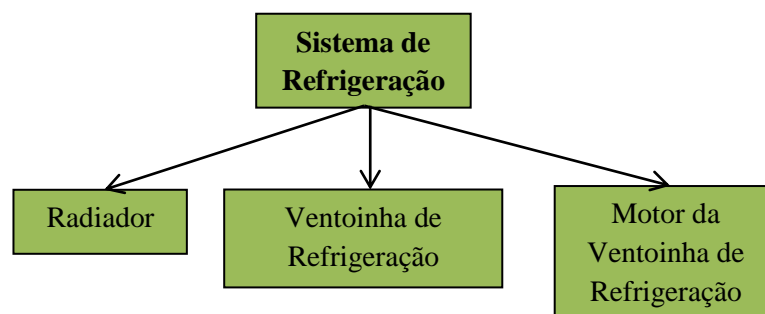
Subsistema 2



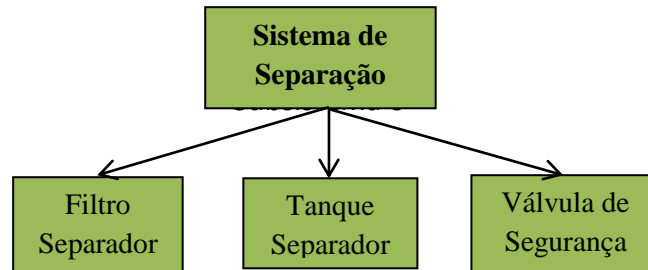
Subsistema 3



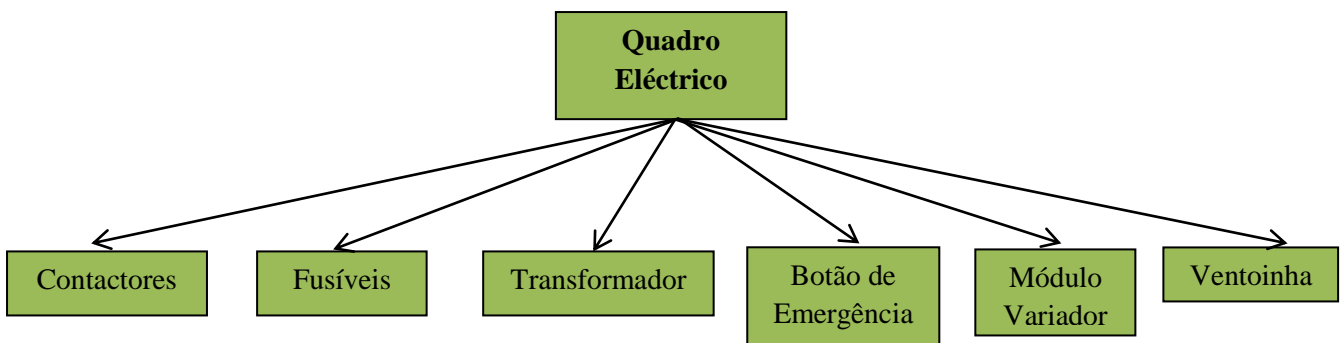
Subsistema 4



Subsistema 5



Subsistema 6



6.4.3 - Etapa 3 – Análise das Funções e Falhas Funcionais

6.4.3.1 Descrição das fronteiras do sistema

Tabela 26 Descrição das Fronteiras do Sistema

MCF	Tabela de Identificação das Fronteiras do Sistema				
	Sistema	SubSistema	Equipa	Data	Folha Nº
	Compressor Parafuso	1.Cabine	CM;CP;EM		
1. Principais Itens Físicos : Porta, Filtro da Cabine, Borracha da Vedação da Porta					
2. Fronteiras do Sistema					
Inicia com:					
Abertura da porta, cabine isenta de sujidades e filtro da cabine limpo					
Termina com:					
Fecho da Porta					
3. Considerações Necessárias					
Verificar regularmente o filtro da cabine e entrada de sujidades no compressor					

	Sistema	SubSistema	Equipa	Data	Folha Nº
	Compressor Parafuso	2.Sistema Hidráulico	CM;CP;EM		
1. Principais Itens Físicos : Filtro de Óleo, Válvula Termostática, Tubagem					
Válvula Reguladora de Caudal de óleo					
2. Fronteiras do Sistema					
Inicia com:					
Óleo sai do depósito entra dentro da tubagem hidráulica, passa pelo filtro de óleo, válvula termostática e válvula reguladora de caudal de óleo					
Termina com:					
Óleo no radiador ou óleo na airend regulada pela a válvula de caudal de óleo					
3. Considerações Necessárias:					
Verificar o estado da válvula termóstatica					
	Sistema	SubSistema	Equipa	Data	Folha Nº
	1.Compressor Parafuso	3.Airend/Motor/Sistema de Aspiração			
1. Principais Itens Físicos: Airend, Filtro de Ar, Estator, Rotor, Sonda do Airend, Válvula de Admissão, Electroválvula					
2. Fronteiras do Sistema					
Inicia com:					
Motor a trabalhar, ar ambiente a entrar dentro do filtro de ar e válvula de admissão, electroválvula no estado de ar para a airend. Ar dentro da airend e pressão de óleo na airend					
Termina com:					
Ciclo de enchimento completo(ar comprimido produzido) e electroválvula no estado de descarga do excesso de ar comprimido para o meio ambiente e compressor em vazio					
3. Considerações Necessárias:					
Verificar permanentemente a temperatura do airend(80°C)					
	Sistema	SubSistema	Equipa	Data	Folha Nº
	1.Compressor Parafuso	4.Refrigeração	CM;CP;EM		
1. Principais Itens Físicos: Radiador, Ventoinha de Refrigeração, Motor da Ventoinha de Refrigeração					
2. Fronteiras do Sistema					
Inicia com:					
Óleo dentro do radiador e inicio de funcionamento da ventoinha					
Termina com:					
Óleo arrefecido no radiador para o airend e ventoinha parada					
3. Considerações Necessárias					
Verificar o estado de sujidade do radiador					
	Sistema	SubSistema	Equipa	Data	Folha Nº
	1.Compressor Parafuso	5.Separação	CM;CP;EM		
1. Principais Itens Físicos: Filtro Separador, Tanque Separador, Válvula de Segurança, Válvula Mínima Pressão					
2. Fronteiras do Sistema					
Inicia com:					
Ar produzido na airend em direcção ao tanque separador					
Termina com:					
Ar e óleo separado no tanque separador através do filtro separador e pressão mínima de circuito					
3. Considerações Necessárias:					
Verificar regularmente a presença de óleo no ar no final do circuito					

	Sistema	SubSistema	Equipa	Data	Folha Nº
	1.Compressor Parafuso	6.Quadro Eléctrico	CM;CP;EM		
1. Principais Itens Físicos: Contactores, Fusíveis, Transformador, Botão de Emergência, Variador Ventoinha					
2. Fronteiras do Sistema					
Inicia com:					
Arranque estrela-triângulo do motor efectuado					
Termina com:					
Motor a trabalhar e corrente transformada					
3. Considerações Necessárias:					
Verificar o estado dos fusíveis					

6.4.3.2 Descrição do Sistema

Tabela 27 Descrição do Sistema

MCF	Tabela de Descrição das Funções do Sistema				
	Sistema		Equipa	Data	Folha Nº
	Compressor Parafuso		CM;CP;EM		
1. Funções e seus parâmetros					
O motor arranca efectuando o estrela triângulo, transmite movimento ao airen através do rotor oco acoplado ao veio do airen, o ar ambiente entra dentro da válvula admissão do ar e o ar é direccionado para a airen através da electroválvula. O ar é comprimido na airen ao mesmo tempo entra pressão de óleo na airen para lubrificação constante. No caso da temperatura do óleo exceder os 70°C (detectado pela a válvula termostática) é enviado para o radiador para ser arrefecido e ser colocado novamente no airen já arrefecido. Após atingir a pressão regulada pelo operador (regulação de pressão efectuada no painel de controlo) a a electroválvula muda de estado para enviar o excesso de ar produzido para o ar ambiente. Seguidamente o compressor entra em vazio (não produz ar mantendo apenas a pressão de óleo no circuito) até que a pressão do ar caia para o valor mínimo regulado no painel de controlo. O compressor arranca novamente de modo a efectuar novamente a produção de ar na airen.					
2. Redundâncias					
(Não há)					
3. Dispositivos de Protecção					
Fusíveis, Termóstato, Válvula de Segurança, Válvula Anti-Retorno					
4. Instrumentação e Controlo					
Válvula Reguladora de Caudal de Óleo, Válvula Termostática, Sonda de Temperatura do Airen, Electroválvula de Carga/Descarga, Válvula de Mínima Pressão					

6.4.3.3 Diagrama de Blocos Funcionais

Tabela 28 Diagrama de Blocos Funcionais

MCF	Diagrama de Blocos Funcionais				
	Sistema		Equipa	Data	Folha Nº
	Compressor		CM;CP;EM		
a) Ar ambiente	→ Filtro de Ar →	Válvula de Admissão →	Electroválvula Aberta →	Airend →	Ar Comprimido (Pressão regulada) no Painel 7-10 Bar
			Ler 24 V		
b) Ar Comprimido	→ Válvula Anti-Retorno →	Depósito →	Filtro Separador →		Ar na Linha Ciclo de Enchimento completo
c) Óleo no depósito	→ Óleo na Tubagem →	Óleo no Radiador →	Óleo na Airend →		Óleo na Tubagem (Retorno a depósito)
		70°C			
d) Compressor em Vazio	→ Electroválvula Fechada →	Pressão de óleo na tubagem →	Diferencial de Pressão Pressão Mínima Regulada →	Electroválvula Aberta →	Airend
				Ler 24 V	
e) Energia Eléctrica	→ Painel de Controlo (Opções de Utilizador) →	Ligar →	Actuam Contactores Transformação de Corrente →	Motor Arranca →	Transmissão de Movimento á Airend
				Ler 18 A entre Fases	

6.4.3.4 Interfaces de Entrada e Saída

Tabela 29 Tabela de Interfaces de Entrada e Saída

MCF	Tabela de Interfaces de Entrada e Saída				
	Sistema		Equipa	Data	Folha Nº
	Compressor de Parafuso		CM;CP;EM		
1. Interfaces de Entrada:					
a) Ar Ambiente					
b) Ar Comprimido					
c) Óleo no depósito					
d) Compressor em Vazio					
e) Energia Eléctrica					
2. Interfaces de Saída:					
- Ar Comprimido (Pressão Regulada no painel 7-10 Bar)					
- Ar na linha (Ciclo de Enchimento Correcto)					
- Óleo na tubagem (Retorno a depósito)					
- Airend					
- Transmissão de movimento á Airend					

3. Interfaces Internas de Entrada e Saída				
a) Entrada de ar no filtro de ar, abertura da válvula de admissão através do vácuostato, abertura da electroválvula de carga, ar no airend				
b) Saída do ar pelo o Airend, passagem do ar pela válvula anti-retorno, ar no depósito, ar e óleo separados através do filtro separador				
c) Electroválvula fechada, ar em excesso enviada para o meio ambiente, pressão mínima no circuito para garantir o óleo na tubagem, existência de diferencial de pressão (Pressão mínima regulada), motor arranca, válvula de admissão abre,electroválvula abre.				
d) Painel de Controlo com as opções de funcionamento, ligar o compressor, actuar os contactores com o arranque estrela-triângulo, transformação da corrente através do transformador, Motor arranca				

6.4.3.5 Descrição dos Itens Físicos

Tabela 30 Descrição dos Itens Físicos

MCF	Tabela de Descrição dos Itens Físicos				
	Sistema	Subsistema 1	Equipa	Data	Folha Nº
	Compressor Parafuso	Cabine	CM;CP;EM		
1. Itens Físicos(IF) e Instrumentação e Controle(IC)					
Nº	Descrição	Quant.	Características Técnicas		
IF-01	Painel	8			
IF-02	Dobradiça	12			
IF-03	Borracha Vedação Porta	10M			
IF-04	Filtro da Cabine	1			
	Sistema	Subsistema 2	Equipa	Data	Folha Nº
	Compressor Parafuso	Sistema Hidráulico	CM;CP;EM		
1. Itens Físicos					
Nº	Descrição	Quant.	Características Técnicas		
IF-05	Tubagem do óleo do radiador	3			
IF-06	Filtro de Óleo	1			
IF-07	Válvula Termostática	1			
IF-08	Válvula Reguladora do Caudal de óleo	1			
IF-09	Válvula da Mínima Pressão	1			
IF-10	Óleo	20 Litros	Sintético Ultra Coolant SSR		

	Sistema	Subsistema 3	Equipa	Data	Folha Nº
	Compressor Parafuso	Airend/Motor/SAsp.	CM;CP;EM		
1. Itens Físicos					
Nº	Descrição	Quant.	Características Técnicas		
IF-11	Airend	1			
IF-12	Estator	1			
IF-13	Rotor	1			
IF-14	Válvula de Admissão	1			
IF-15	Filtro de Ar	1			
IF-16	Tubagem do Ar	2			
IF-17	Electroválvula	1			
IF-18	Retentor do Motor	1			
IF-19	Purga de Condensados	1			
IC-01	Sonda do Airend	1			
IC-02	Transdutor	3			
IC-03	Sensor de temperatura excessiva do ar	1			
	Sistema	Subsistema 4	Equipa	Data	Folha Nº
	Compressor Parafuso	Sistema de Refrigeração			
1. Itens Físicos					
Nº	Descrição	Quant.	Características Técnicas		
IF-20	Radiador	1			
IF-21	Ventoinha de Refrigeração	1			
IF-22	Motor da Ventoinha de Refrigeração	1			
	Sistema	Subsistema 5	Equipa	Data	Folha Nº
	Compressor Parafuso	Sistema de Separação			
1. Itens Físicos					
Nº	Descrição	Quant.	Características Técnicas		
IF-23	Filtro Separador	1			
IF-24	Tanque Separador	1			
IF-25	Bujon do Tanque	1			
IF-26	Visor do Óleo	1			
IF-27	O´ring do Filtro Separador	2			
IC-04	Válvula de Segurança	1			
	Sistema	Subsistema 5	Equipa	Data	Folha Nº
	Compressor Parafuso	Quadro Eléctrico	CM;CP;EM		
1. Itens Físicos					
Nº	Descrição	Quant.	Características		
IF-28	Contactora Estrela-Triângulo	3	KM1(200-230V),KM1(380-575V),KM5		
IF-29	Contactora	2	K1,K2		
IF-30	Contactora	1	KM4		
IF-31	Disjuntor	1	MCB1		
IF-32	Fusíveis	3			
IF-33	Ventilador do Motor	2	400V,200V		
IF-34	Transformador	2	200-230V,380-575V		
IF-35	Unidade de Alimentação	1			
IF-36	Painel de Controlo	1			
IF-37	Módulo Variador	1			
IF-38	Condensadores	3			
IF-39	Ventoinha	1			
IC-05	Botão de Emergência	1			
IC-06	Termóstato	1			

6.4.3.6 Identificação do Histórico dos Itens Físicos

Tabela 31 Identificação do Histórico dos Itens Físicos

MCF	Tabela para Identificação do Histórico dos Itens Físicos				
	Sistema	Subsistema 1	Equipa	Data	Folha Nº
	Compressor Parafuso	Cabine	CM;CP;EM		
Item Físico	Modo de Falha		Causa da Falha		
IF- Borracha Vedação Porta	Falta de isolamento da porta		Exposição ao calor, chuva, vento		
IF Filtro da Cabine	Aquecimento dos condensadores		Filtro Sujo		
	Sistema	Subsistema 2	Equipa	Data	Folha Nº
	Compressor Parafuso	Sistema Hidráulico	CM;CP;EM		
Item Físico	Modo de Falha		Causa da Falha		
IF Tubagem do óleo do radiador	Tubagem do óleo rota ou ressequida		Excesso de pressão do óleo na tubagem		
IF-Filtro do óleo	Lubrificação insuficiente e temperatura do Airend excessiva		Presença de sujidades no filtro		
IF-Válvula Termostática	Temperatura da Airend excessiva (100-120°C)		Abertura da válvula acima dos 70°C		
IF- Válvula Reguladora do Caudal de Óleo	Temperatura da Airend excessiva		para condução do óleo para radiador		
	Temperatura da Airend excessiva		Descalibração da válvula do caudal de óleo		
	Temperatura da Airend excessiva		Baixo nível do óleo		
IF-Óleo	Desgaste do óleo/perda de propriedades de lubrificação		Contaminação do óleo através da presença de partículas sólidas		
	Sistema	Subsistema 3	Equipa	Data	Folha Nº
	Compressor Parafuso	Airend/Motor/Sistema de Aspiração	CM;CP;EM		
Item Físico	Modo de Falha		Causa da Falha		
IF-Airend	Temperatura da Airend excessiva		Rolamentos Gripados/Desgaste dos retentores		
IF Estator	Temperatura excessiva do motor		Filamentos do estator queimados		
IF Rotor	Temperatura excessiva do motor		Barramentos com fendas		
IF Válvula de Admissão	Tempo de ciclo de enchimento lento		Insuficiente abertura da válvula		
IF Filtro do Ar	Temperatura do ar excessiva/insuficiente entrada de ar		Sujidade do Filtro do Ar		
IF Electroválvula	Ausência de mudança de estado (Aberta/Fechada)		Bobine Queimada		
IF- Retentor do Motor	Fuga de óleo para o motor		Desgaste do retentor		
IF Purga dos Condensados	Excesso de condensados no compressor		Desgaste da Purga		
IF Sonda do Airend	Leitura incorrecta da temperatura da Airend		Descalibração da Sonda		
	Sistema	Subsistema 4	Equipa	Data	Folha Nº
	Compressor Parafuso	Sistema de Refrigeração	CM;CP;EM		
Item Físico	Modo de Falha		Causa da Falha		
IF Radiador	Insuficiente arrefecimento do óleo		Sujidade do Radiador		
IF Ventoinha de Refrigeração	Motor queimado		Sobreaquecimento do motor		
	Sistema	Subsistema 5	Equipa	Data	Folha Nº
	Compressor Parafuso	Sistema de Separação	CM;CP;EM		
Item Físico	Modo de Falha		Causa da Falha		
IF Filtro Separador Ar/Óleo	Insuficiente separação do óleo do ar		Desgaste do filtro		
IF Bujon do Tanque	Fuga de óleo pelo bujon		Desaperto do Bujon		
IF- O´rings do filtro separador	Insuficiente separação do óleo do ar		Desgaste dos O´rings		
IF- Válvula de Segurança	Não abrir á pressão calibrada		Desgaste da válvula		
	Sistema	Subsistema 6	Equipa	Data	Folha Nº
	Compressor Parafuso	Quadro Eléctrico	CM;CP;EM		
Item Físico	Modo de Falha		Causa da Falha		
IF Contactora Estrela Triângulo	Contactos dos contactores danificados		Excessivos arranques do compressor		
IF Disjuntor	Disjuntor queimado		Pico de corrente no quadro eléctrico		
IF Fusíveis	Fusíveis queimados		Pico de corrente no quadro eléctrico		
IF Ventilador do Motor	Motor do ventilador queimado		Pico de corrente no quadro eléctrico		
IF Transformador	Transformador queimado		Pico de Corrente		
IF Módulo do Variador	Parâmetros do compressor incorrectos		Descalibração dos valores		
IF Termóstato	Indicação incorrecta dos valores da temperatura do motor		Descalibração do termóstato		

6.4.3.7 Identificação das Funções e Falhas Funcionais

Tabela 32 Identificação das Funções e Falhas Funcionais

MCF	Tabela para Identificação das Funções e Falhas Funcionais				
	Sistema	Subsistema 1	Equipa	Data	Folha Nº
	Compressor Parafuso	Cabine	CM;CP;EM		
Nº	Função	Nº	Falha Funcional		
FP-01	Isolar Cabine	FF-01	Não Isolar a Cabine		
FP-02	Arrefecer condensadores	FF-02	Aquecimento excessivo dos condensadores		
	Sistema	Subsistema 2	Equipa	Data	Folha Nº
	Compressor Parafuso	Sistema Hidráulico	CM;CP;EM		
Nº	Função	Nº	Falha Funcional		
FP-03	Tubagem de óleo sem fugas	FF-03	Fuga de óleo na tubagem		
FP-04	Airend lubrificada	FF-04	Temperatura da Airend Excessiva(100-120ºC)		
	Sistema	Subsistema 3	Equipa	Data	Folha Nº
	Compressor Parafuso	Airend/Motor/Sistema de Aspiração	CM;CP;EM		
Nº	Função	Nº	Falha Funcional		
FP-05	Motor a trabalhar	FF-05	Aquecimento excessivo do motor		
FP-06	Ciclo de enchimento correcto	FF-06	Ciclo de enchimento lento		
FP-07	Abertura e Fecho de Electroválvula	FF-07	Não abrir a electroválvula		
FP-08	Leitura da temperatura do Airend	FF-08	Temperatura do Airend Excessiva(100-120ºC)		
	Sistema	Subsistema 4	Equipa	Data	Folha Nº
	Compressor Parafuso	Sistema Refrigeração	CM;CP;EM		
Nº	Função	Nº	Falha Funcional		
FP-09	Arrefecimento do óleo	FF-09	Óleo não arrefecido		
FP-10	Arrefecimento do compressor	FF-10	Ventoinha avariada		
	Sistema	Subsistema 5	Equipa	Data	Folha Nº
	Compressor Parafuso	Sistema de Separação	CM;CP;EM		
Nº	Função	Nº	Falha Funcional		
FP-11	Separar ar do óleo	FF-11	Ar misturado com óleo na linha		
	Sistema	Subsistema 6	Equipa	Data	Folha Nº
	Compressor Parafuso	Quadro Eléctrico	CM;CP;EM		
Nº	Função	Nº	Falha Funcional		
FP-12	Arranque suave do Motor	FF-12	Arranque não suave do compressor		
FP-13	Protecção de sobrecargas eléctricas	FF-13	Fusíveis queimados		
FP-14	Parâmetros do compressor correctos	FF-14	Parâmetros do compressor incorrectos		

6.4.4 - Etapa 4 – Selecção dos Itens Físicos Críticos

6.4.4.1 Descrição das Falhas Funcionais e Itens Físicos

Tabela 33 Descrição das Falhas Funcionais e Itens Físicos

MCF	Tabela de Descrição da Falha funcional e Itens físicos															
	Sistema	Equipa			Data:					Folha Nº						
	Compressor Parafuso	CM;CP;EM														
		Falha Funcional														
		FF-01	FF-02	FF-03	FF-04	FF-08	FF-05	FF-06	FF-07	FF-09	FF-10	FF-11	FF-12	FF-13	FF-14	
		CH	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
		CA	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
		CE	3	4	3	4	5	3	3	4	4	4	3	1	4	
Itens Físicos		DM														ICE
Nº	Descrição	DM														ICE
IF-01	Borracha Vedação da Porta	1	3													9
IF-02	Filtro da Cabine	2	4	5												64
IF-03	Tubagem do óleo do Radiador	3			5											45
IF-04	Filtro de Óleo	2				3										24
IF-05	Válvula Termostática	2				5										40
IF-06	Válvula Reguladora do Caudal de Óleo	3				4										48
IF-07	Válvula Mínima de Pressão	2				3										24
IF-08	Óleo	3				5										60
IF-09	Airend	5				5										100
IF-10	Estator do Motor	4					4									80
IF-11	Rotor do Motor	4					4									80
IF-12	Válvula de Admissão	3						4								36
IF-13	Filtro de Ar	2						3								18
IF-14	Eléctroválvula	3							5							45
IF-15	Retentor do Motor	4					3									60
IF-16	Sonda do Airend	2				4										32
IF-17	Radiador	3								5						60
IF-18	Ventoinha de Refrigeração	3								4						48
IF-19	Filtro Separador Ar/Óleo	3									5					60
IF-20	Bujon do Tanque	2				2										16
IF-21	O' rings do Filtro Separador	3										3				36
IF-22	Válvula de Segurança	2							2							12
IF-23	Contactora Estrela-Triângulo	3											4			36
IF-24	Disjuntor	3												3		9
IF-25	Fusíveis	2												4		8
IF-26	Ventilador do Motor	2													3	24
IF-27	Transformador	3													4	48
IF-28	Módulo do Variador	5													5	100
IF-29	Térmotato	3													4	48
DM	Dificuldades para executar a manutenção															
CH	Consequências na segurança humana															
CA	Consequências a nível ambiental															
CE	Consequências a nível económico															
ICE	Índice Criticidade Económica															

6.4.5 - Etapa 5 – Recolha e Análise da Documentação

Informações necessárias nas outras etapas do processo de implementação da manutenção centrada na fiabilidade podem ser obtidas nos seguintes documentos:

- Diagramas de Instrumentação;
- Diagramas de bloco ou esquemas do sistema;
- Manuais de venda dos equipamentos;
- Arquivos históricos do equipamento;
- Manuais de operação do sistema;
- Especificações e dados descritivos do projecto do sistema;

6.4.6 - Etapa 6 – Análise dos Modos e Efeitos da Falha (FMEA)

6.4.6.1 Análise dos Modos e Efeitos da Falha (FMEA)

Tabela 34 Análise dos Modos e Efeitos da Falha (FMEA)

MCF	Tabela de Análise de Modos e Efeitos de Falha				
	Sistema	Subsistema 1	Equipa	Data	Folha Nº
	Compressor Parafuso	Cabine	CM;CP;EM		
Nº	Função	Nº	Falha Funcional		
FP-01	Arrefecer os condensadores	FF-02	Aquecimento excessivo dos condensadores		
Item Físico	Modo de Falha	Causa da Falha	Efeito e Consequência da Falha	D.D.	
IF-02 Filtro da Cabine	MF-01 Filtro entupido, não entrada de ar limpo	Ambiente de poeiras envolvendo o compressor	Erro VSD 33 no painel de controlo, sobreaquecimento dos condensadores	S	
MCF	Sistema	Subsistema 2	Equipa	Data	Folha Nº
	Compressor Parafuso	Sistema Hidráulico	CM;CP;EM		
	Nº	Função	Nº	Falha Funcional	
FP-02	Tubagem de óleo sem fugas	FF-03	Fuga de óleo na tubagem		
Item Físico	Modo de Falha	Causa da Falha	Efeito e Consequência da Falha	D.D.	
IF-03 Tubagem do óleo do radiador	MF-01 Tubagem rota	Excessiva pressão de óleo na tubagem	Insuficiente lubrificação e aquecimento da Airend	S	
Nº	Função	Nº	Falha Funcional		
FP-03	Airend Lubrificada	FF-04 e FF-08	Temperatura do Airend Excessiva(100-120°C)		
Item Físico	Modo de Falha	Causa da Falha	Efeito e Consequência da Falha	D.D.	
IF-05 Válvula Termostática	MF-01 Abertura acima dos 70°C da Válvula termostática	Desgaste do êmbolo	Óleo acima dos 70°C não enviado para o radiador, aquecimento da Airend	S	
IF-08 Óleo	MF-02 Desgaste do óleo perda de propriedades de lubrificação	Contaminação do óleo através da presença de partículas sólidas	Aquecimento e gripagem da Airend	S	
IF-06 Válvula Reguladora do Caudal de óleo	MF-03 Descalibração da válvula reguladora do caudal de óleo	Bobine queimada	Aquecimento da Airend	S	

Sistema		Subsistema 3		Equipa	Data	Folha Nº
Compressor Parafuso		Airend/Motor/Sistema de Aspiração		CM;CP;EM		
Nº	Função	Nº		Falha Funcional		
FP-04	Leitura da Temperatura da Airend	FF-04 e FF-08		Temperatura do Airend Excessiva(100-120°C)		
Item Físico	Modo de Falha	Causa da Falha		Efeito e Consequência da Falha		D.D.
IF-08 Airend	MF-01 Rolamentos gripados	Excesso de trabalho do compressor em carga		Aquecimento da Airend,ciclo de enchimento mais lento		S
Nº	Função	Nº		Falha Funcional		
FP-05	Motor a trabalhar	FF-05		Aquecimento excessivo do motor		
Item Físico	Modo de Falha	Causa da Falha		Efeito e Consequência da Falha		D.D.
IF-09 Estator do Motor	MF-01 Filamentos do estator queimados	Picos de corrente,falta de fases		Motor não trabalha,dispara o o térmico		S
IF-10 Rotor do Motor	MF-02-Barramentos com fendas,empeno do rotor	Vibrações excessivas no rotor		Aquecimento do motor		S
IF-14 Retentor do Motor	MF-03 Óleo no motor	Desgaste do retentor		Disparar o térmico		S
FP-06	Ciclo de enchimento correcto	FF-06		Ciclo de enchimento lento		
Item Físico	Modo de Falha	Causa da Falha		Efeito e Consequência da Falha		D.D.
IF-13 Electroválvula	MF-01 Não abertura da electroválvula	Bobine queimada		Ciclo de enchimento lento/inexistente		S
Sistema		Subsistema 4		Equipa	Data	Folha Nº
Compressor Parafuso		Sistema de Refrigeração		CM;CP;EM		
Nº	Função	Nº		Falha Funcional		
FP-07	Arrefecimento do óleo	FF-07		Óleo não arrefecido		
Item Físico	Modo de Falha	Causa da Falha		Efeito e Consequência da Falha		D.D.
IF-16 Radiador	MF-01 Sujidades no radiador	Ambiente de poeiras envolvendo o compressor		Óleo não arrefecido correctamente. Temperatura do Airend Excessiva		S
Nº	Função	Nº		Falha Funcional		
FP-08	Arrefecimento do compressor	FF-10		Ventoinha avariada		
Item Físico	Modo de Falha	Causa da Falha		Efeito e Consequência da Falha		D.D.
IF-17 Ventoinha de Refrigeração	Motor da ventoinha queimado	Picos de corrente,falta de fases		Aquecimento excessivo do compressor		S
Sistema		Subsistema 5		Equipa	Data	Folha Nº
Compressor Parafuso		Sistema de Separação		CM;CP;EM		
Nº	Função	Nº		Falha Funcional		
FP-09	Separar ar do óleo	FF-11		Ar misturado no óleo na linha		
Item Físico	Modo de Falha	Causa da Falha		Efeito e Consequência da Falha		D.D.
IF-18 Filtro Separador Ar/Óleo	MF-01 Óleo não retido no filtro separador	Desgaste do filtro		Perda de pressão e contaminação de óleo na linha		S
Sistema		Subsistema 6		Equipa	Data	Folha Nº
Compressor Parafuso		Quadro Eléctrico		CM;CP;EM		
Nº	Função	Nº		Falha Funcional		
FP-10	Protecção de sobrecargas eléctricas	FF-13		Fusíveis queimados		
Item Físico	Modo de Falha	Causa da Falha		Efeito e Consequência da Falha		D.D.
IF-26 Transformador	MF-01 Transformador queimado	Picos de corrente,falta de fases		Falta de passagem de corrente para os componentes eléctricos		S
FP-11	Parâmetros do compressor correctos	FF-14		Parâmetros dos compressor incorrectos		
Item Físico	Modo de Falha	Causa da Falha		Efeito e Consequência da Falha		D.D.
IF-27 Módulo Variador	MF-01 Descalibração dos parâmetros	Sujidades,humidades e placa electrónica danificada		Funcionamento condicionado do compressor		S
IF-28 Termóstato	MF-02 Termóstato descalibrado	Sujidades,humidades		Leitura incorrecta da temperatura do motor		S

6.4.7 - Etapa 7 – Selecção de Tarefas Preventivas

6.4.7.1 Selecção das Tarefas de Manutenção

6.4.7.1.1 Determinação do intervalo óptimo para realizar as tarefas de manutenção

- 1) Periodicidade de tarefas de recuperação ou substituição (PTRS) baseadas no tempo

Neste caso assumir PTRS igual ao MTBF pois este equipamento apresenta uma taxa muito reduzida de mortalidade infantil.

$$MTBF = PTRS = 1317 \text{ Horas}$$

2) Periodicidade das tarefas de verificação funcional;

È determinada conhecendo-se a indisponibilidade e a fiabilidade do item:

PTVF – Periodicidade da tarefa de verificação funcional

I – Indisponibilidade do dispositivo de protecção

MTBF – Média de tempos de bom funcionamento

$$PTVF = I \times MTBF$$

$$= 0,4 \times 1317$$

$$= 526,8 \text{ Horas}$$

Tabela 35 Selecção das Tarefas de Manutenção

MCF	Tabela de Selecção das Tarefas de Manutenção																	
	Sistema	Subsistema	Equipa	Folha Nº														
	Compressor de Parafuso		CM;CP;EM															
Falha Funcional	Modo de Falha	Árvore Lógica de Decisão					Diagrama de Decisão para Selecção de Tarefas									Freq.		
		E	S	A	O	Cat	1	2	3	4	5	6	7	8	9		Tarefa	Acção
FF-02	Aquecimento excessivo dos condensadores	MF-01 - Filtro entupido, não entrada de ar limpo	N	N	N	S	R	S	N	N	S	N	N	S	N	N	1-Inspeção visual ao filtro	100 Horas
			N	N	N	S	R	S	N	N	S	N	N	S	N	N	2- Limpeza do filtro	300 Horas
FF-03	Fuga de óleo na tubagem	MF-01 - Tubagem rota	S	N	S	S	R	S	N	S	N	N	N	S	N	N	1-Inspeção visual da tubagem	300 Horas
			S	N	S	S	R	S	N	S	N	N	N	S	N	N	2- Substituição da tubagem	1000 Horas
FF-04 e FF-08	Temperatura do Airend Excessiva (100-120°C)	MF-01 Abertura acima dos 70°C da válvula termostática	N	N	N	S	D/B	N	N	N	S	S	S	S	N	1- Verificação da temperatura do Airend em ciclo de enchimento	Diária	
			N	N	N	S	R	N	N	S	S	N	S	S	N	2- Verificação da temperatura de abertura da válvula num recipiente com água aquecida	500 Horas	
	MF-02 Desgaste do óleo/perda de propriedades de lubrificação	N	N	N	S	R	N	N	S	S	N	N	S	N	N	1- Inspeção ao estado do óleo	300 Horas	
		N	N	N	S	R	N	N	S	S	N	N	S	N	N	2- Substituição do óleo	1000 Horas	
	MF-03 Rolamentos gripados	N	N	N	S	R	N	N	N	S	S	N	S	S	N	1- Inspeção sonora á airend	300 Horas	
		N	N	N	S	R	N	N	N	S	S	N	S	S	N	2- Substituição dos rolamentos	1000 Horas	

FF-05	Aquecimento excessivo do motor	MF-01 Filamentos do estator queimados	N	N	N	S	B	S	N	N	S	N	S	N	N	1- Verificação da temperatura do motor	300	
			N	N	N	S	B	S	N	N	S	N	S	N	N	2- Verificação dos filamentos estator	500	
		MF-02 Barramentos com fendas, empeno do rotor	N	N	N	S	B	S	N	N	S	N	S	N	N	1- Verificação da temperatura do motor	500	
			N	N	N	S	B	S	N	N	S	N	S	N	N	2- Inspeção ao rotor	1000	
		MF-03 Óleo no motor	N	N	S	S	B	N	N	N	S	N	S	N	N	1- Verificação do estado retentor	500	
		N	N	S	S	B	N	N	N	S	N	S	N	N	N			
FF-06	Ciclo de enchimento lento	MF-01 Não abertura da electroválvula	N	N	N	S	R	S	N	N	S	N	S	N	N	1-Leitura do sinal de entrada da electroválvula	300	
FF-07	Óleo não arrefecido	MF-01 Sujidades no radiador	N	N	N	S	R	S	N	N	S	N	S	N	N	1- Verificação do estado do radiador	300	
FF-10	Ventoinha avariada	MF-01 Motor da ventoinha queimado	S	N	N	S	R	N	N	N	S	N	S	N	N	1-Leitura da temperatura do motor da ventoinha	300	
			S	N	N	S	R	N	N	N	S	N	S	N	N	2-Verificação do correcto funcionamento do motor da ventoinha	300	
FF-11	Ar misturado no óleo na linha	MF-01 Óleo não retido no filtro separador	S	N	N	S	R	S	N	S	N	S	N	S	N	N	1- Verificação do ar á saída do compressor	300
			S	N	N	S	R	S	N	S	N	S	N	S	N	N	2- Verificação do estado do filtro separador	500
			S	N	N	S	R	S	N	S	N	S	N	S	N	N	3- Substituição do filtro separador	1000
FF-13	Fusíveis queimados	MF-01 Transformador queimado	S	N	N	S	B	S	N	N	S	N	S	N	N	1-Verificação do estado dos fusíveis	300	
			S	N	N	S	B	S	N	N	S	N	S	N	N	2- Leitura da tensão de saída do transformador	500	
FF-14	Parâmetros do compressor incorrectos	MF-01 Descalibração dos parâmetros	N	N	N	S	D/B	S	N	N	N	S	N	S	N	N	1- Verificação dos parâmetros no painel de controlo	Diária
			N	N	N	S	D/B	S	N	N	N	S	N	S	N	N	2- Controlo das temperaturas e tensões nos componentes descalibrados	500
		MF-02 Termostato descalibrado	N	N	N	S	R	N	N	N	S	N	S	N	N	1- Verificação da temperatura de actuação do termostato através da mudança do sinal de tensão	500	

E - Existência de falhas evidentes

S - Riscos de Segurança

A - Riscos Ambientais

O - Presença de Riscos e Consequências Operacionais

Categoria da Falha tipo "B" - Paragem do Equipamento

Categoria da Falha tipo "D/B" - Falha Oculta e Paragem do Equipamento

Categoria da Falha tipo R - Perca de Rendimento no Equipamento

Categoria da Falha tipo C - Trabalhar até falhar

1- Há alguma tarefa de rotina aplicável para adiar ou evitar a degradação?

2- A relação entre idade e fiabilidade para esta falha é conhecida?

3- Há alguma tarefa de restauração ou substituição baseada no tempo aplicável?

4- Há alguma tarefa de monitorização baseada nas condições aplicáveis?

5- O modo de falha está associado á categoria "D" falha oculta?

6- Há alguma tarefa de verificação funcional aplicável?

7- A tarefa seleccionada é eficaz?

8- O modo de falha está associado á categoria "C" ou "D/C"?

9-O reprojecto pode eliminar o modo de falha ou seus efeitos?

6.4.8 - Etapa 8 – Definição das Tarefas da Manutenção

6.4.8.1 Plano de Manutenção Centrada na Fiabilidade

Tabela 36 Plano de Manutenção Centrada na Fiabilidade

MCF	Tabela de Descrição do Plano de Manutenção Centrada na Fiabilidade		
	Sistema	Equipa: CM;CP;EM	Folha Nº
	Compressor de Parafuso	Gestor:EM	Data:
Nº	Item Físico	Tarefa de manutenção	Frequência
IF-02	Filtro da Cabine	1-Inspeção visual ao filtro	100 horas
		2- Limpeza do Filtro	300 Horas
IF-03	Tubagem do óleo do radiador	1-Inspeção visual da tubagem	300 horas
		2-Substituição da tubagem	1000 Horas
IF-05	Válvula Termostática	1- Verificação da temperatura de abertura da válvula num recipiente aquecido	500 Horas
IF-08	Óleo	1- Inspeção ao estado do óleo	300 Horas
		2- Substituição do óleo	1000 Horas
IF-09	Airend	1-Verificação da temperatura da Airend em ciclo de enchimento	Diariamente
		2-Inspeção sonora á Airend	300 Horas
		3-Substituição dos rolamentos	1000 Horas
IF-10	Estator do Motor	1-Verificação da temperatura do motor	300 Horas
		2- Verificação dos filamentos do estator	500 Horas
IF-11	Rotor do Motor	1-Verificação da temperatura do motor	300 Horas
		2- Inspeção ao rotor	500 Horas
IF-14	Eléctroválvula	1-Leitura do sinal de entrada da eléctroválvula	300 Horas
IF-15	Retentor do Motor	1-Verificação do estado do retentor	500 Horas
IF-18	Radiador	1-Verificação do estado do radiador	300 Horas
IF-19	Ventoinha de Refrigeração	1-Leitura da temperatura do motor da ventoinha	300 Horas
IF-20	Filtro Separador Ar/Óleo	1-Verificação do ar á saída do compressor	300 Horas
		2- Verificação do estado filtro separador	500 Horas
		3- Substituição do filtro separador	1000 Horas
IF-25	Fusíveis	1-Verificação do estado dos fusíveis	300 Horas
IF-28	Transformador	2-Leitura da tensão de saída do transformador	500 Horas
IF-29	Módulo Variador	1-Verificação dos parâmetros no painel de controlo	Diariamente
		2- Controlo de temperatura e tensões nos componentes descalibrados	500 Horas
IF-30	Termóstato	1-Verificação da temperatura de actuação do termostato através da mudança de sinal de tensão	500 Horas

6.5 Avaliação do Modelo Rausand (1998) para os Compressores de Parafuso

O compressor de parafuso foi dividido em cinco subsistemas: cabine, tubagem hidráulica, airend/motor/sistema de aspiração, sistema de refrigeração, sistema de separação e quadro eléctrico. A estruturação nestes sistemas funcionais permitiu um melhor entendimento daquilo que serão as funções mais importantes do equipamento. Cada sistema funcional foi dividido no seu subsistema de modo a identificar os itens físicos que provocam falhas funcionais no sistema. Foi implementada a manutenção centrada na fiabilidade em todos os subsistemas devido a diversos factores: (i) média de tempos de bom funcionamento (MTBF) reduzida, quando da aplicação de manutenção correctiva; (ii) elevado número de sensores que necessitam de ser controlados a sua condição de modo a prevenir descalibrações e desgastes; (iii) paragem do equipamento implica a paragem de linha produtiva da empresa em questão; (iv) custos das revisões elevado tendo em conta a carteira de clientes; (v) reclamações dos clientes devido a excessivas paragens do equipamento. Os dados dos tempos de bom funcionamento (MTBF) e os itens substituídos ou reparados foram retirados do histórico de três anos de reparações do programa informático TRJ. Foram definidas as fronteiras do sistema de todos os subsistemas do compressor de modo a análise ser mais completa e simples. O subsistema da cabine foi dado ênfase ao estado do filtro e das borrachas de vedação da porta; o subsistema da tubagem hidráulica foi indicado todo o circuito do óleo até chegar à airend; o subsistema airend/motor/sistema de aspiração em que se inicia com o motor a trabalhar e o ar a entrar dentro do compressor, finaliza com o ciclo de enchimento correcto e compressor em vazio. O subsistema da refrigeração em que se inicia com o óleo dentro do radiador e termina com óleo arrefecido no radiador; o subsistema de separação em que o óleo é separado do ar e por fim o subsistema quadro eléctrico em que se inicia com o arranque estrela-triângulo do motor e termina com o motor a trabalhar e corrente transformada. Em relação às funções do sistema foi identificado três etapas fundamentais: o arranque do motor, a produção de ar na airend, controlo da temperatura do óleo na lubrificação da airend e o estado em vazio do compressor. Foram identificados os dispositivos de protecção da parte eléctrica (fusíveis, termóstato) e da tubagem hidráulica (válvula de segurança e válvula anti-retorno). Há a existência de vários dispositivos de controlo da airend a sonda de temperatura, a válvula reguladora de caudal de óleo que permite regular o caudal de óleo a entrar na airend, válvula termostática para definir a temperatura para a qual o óleo vai para o radiador (70°C), electroválvula de carga/descarga que define o início e o fim do ciclo de enchimento e de entrada em vazio e a válvula de mínima pressão para garantir a pressão de óleo no circuito. Para definição das interfaces de entrada foram definidas cinco interfaces: ar ambiente que vai originar como interface de saída o ar comprimido, essa interface de saída vai originar uma outra interface de entrada que tem como saída o ar na linha. Outra interface de entrada é o óleo no depósito que originar a interface de todo

o percurso do óleo até chegar novamente ao depósito. A interface de entrada do compressor em vazio vai se manter até um decréscimo de pressão onde a válvula muda de estado e a airend começa a trabalhar. Por fim a interface de entrada energia eléctrica tem como saída aquando da existência de movimento da airend. O histórico dos itens físicos foi retirado dos modos de falha e causas das falhas retiradas do histórico de três anos de reparações do programa informático TRJ. Os itens físicos foram retirados da lista de peças do compressor Ingersoll Rand Nirvana IRN37K-CC que foi fornecido pelo fabricante. Na etapa de identificação das funções e falhas funcionais foram identificados catorze funções principais e catorze falhas funcionais, em relação á matriz de correlação das funções para identificação dos itens físicos críticos, é possível ser observado que não foi considerado por simplificação de aplicação do modelo, que as falhas funcionais apresentam-se consequência ao nível da segurança humana (C_H) e consequências a nível ambiental (C_A). Num estudo mais aprofundado de aplicação do modelo deveria ser analisado os impactos de uma fuga de óleo para o solo, uma fuga de ar que implicaria um consumo excessivo em quilowatts do compressor devido a estar sempre em ciclo de enchimento, o nível de ruído do compressor em (db) e os impactos que advém para o ser humano. Os valores de (I_{CE}) igual ou acima de quarenta e cinco vão ser alvo de manutenção centrada na fiabilidade, os restantes valores é aplicado a manutenção correctiva ou operar até falhar.

Na aplicação da análise dos modos e efeitos da falha (FMEA) foi identificado os modos de falhas dos itens físicos críticos para todos os subsistemas do compressor. Foi essencial a identificação de diversos modos de falha, causa da falha e consequência da falha pois os itens físicos críticos apresentavam baixo média de tempos bom funcionamento (MTBF) por maus diagnósticos, falta de formação do operador, manutenção preventiva sistemática não tendo em conta o contexto operacional do mesmo e assim com aplicação da FMEA foi possível identificar os seus modos de falha aumentando a média de tempos de bom funcionamento (MTBF). Todos os modos de falha serão alvo da utilização da ferramenta da manutenção centrada na fiabilidade diagrama de decisão pois é essencial identificar a tarefa de manutenção mais adequada ao item físico, quer seja de controlo de condição, substituição ou efectuar uma tarefa de rotina. Devido aos itens físicos do compressor apresentarem elevado número de avarias, grande parte das tarefas de manutenção focaliza-se nas inspecções e verificações, pois assim poderemos detectar a altura ideal para efectuar a manutenção. Outra ferramenta também utilizada foi a árvore lógica de decisão que classifica os modos de falha quer seja “A” riscos ambientais, “S” de segurança, “E” existência de falhas evidentes. As categorias da falha foram definidas como “O” presença de riscos operacionais, “B” paragem do equipamento, “D/B” falha oculta, “R” perda de rendimento e “C” trabalhar até falhar. Apenas não foi utilizado a categoria “C” pois aqui é essencial controlar a condição dos itens físicos de modo a aumentar a média de tempos de bom funcionamento (MTBF).

O plano de manutenção centrada na fiabilidade final apresenta tarefas de manutenção para todos os itens físicos críticos de modo a aumentar a fiabilidade dos mesmos. Comparando o plano de manutenção centrada na fiabilidade com o plano de manutenção preventiva sistemática do fabricante, verifica-se que a fábrica não apresenta

para todos itens físicos a precedência do controlo de condição antes da sua substituição, sendo esse factor essencial para identificar a altura ideal de substituição do item físico. Os tempos de substituição dos itens físicos na manutenção centrada da fiabilidade são mais reduzidos, nas mil horas de funcionamento, em relação ao plano de manutenção da fábrica. Existe a necessidade de melhorar conhecimento do comportamento dos itens físicos ao longo do tempo, de modo a que os tempos de substituição dos itens físicos possam ser aumentados e assim se possa ser efectuada uma revisão a este plano. Já no primeiro semestre de 2013 foi analisado a existência de compressores com seis meses de funcionamento sem a existência de nenhuma avaria, o que indica a validade de aplicação deste modelo.

Capítulo 7

Conclusões e Trabalhos Futuros

Cada vez mais as indústrias esforçam-se por maximizar os resultados com o mínimo de recursos, uma vez que para se manterem competitivas numa era globalizada, tem a necessidade de criar valor acrescentado, para garantir a sua sustentabilidade. Logo será essencial focalizarem-se na gestão dos itens físicos dos seus equipamentos como forma de aumentar a fiabilidade, contribuindo para a redução de custos. Políticas de manutenção com a manutenção centrada na fiabilidade é o exemplo da necessidade das indústrias tentarem atingir a excelência operacional dos seus equipamentos.

Após análise dos cálculos da fiabilidade através das três distribuições probabilísticas Weibull, Normal e Normal Logarítmica para as lavadoras de alta pressão verificou-se que distribuição que mais se adequa é a distribuição Normal pois é aquela apresenta uma fiabilidade mais adequada para as primeiras cinquenta horas de funcionamento (ou período de rodagem) de cerca de 81,86 %, tanto a distribuição de Weibull com a Normal Logarítmica apresentam valores elevados de cerca de 95,50% e 99,95% respectivamente. O objectivo foi identificar a existência de falhas no período de rodagem de modo a concluir a existência de defeitos de fabrico neste equipamento. Para o cálculo dos contextos operacionais das lavadoras de alta pressão optou-se pela distribuição de Weibull devido a sua versatilidade em padrões de avaria decrescentes, crescente e constantes, tendo-se verificado que este equipamento é adequado para o ramo das pedreiras, metalomecânica e serralharia e não adequado para o ramo da agropecuária e reparações de camiões e betoneiras.

Este trabalho apresentou a uma metodologia da manutenção centrada na fiabilidade segundo o modelo Rausand (1998) para dois equipamentos em concreto as lavadoras de alta pressão em que apresentavam elevada mortalidade infantil (defeitos de fabrico) e para os compressores de parafuso que apresentavam baixas médias de tempos de bom funcionamento (MTBF) devido aos maus diagnósticos. Tanto no caso como no outro este modelo verificou-se válido, no caso das lavadoras foi controlado os defeitos de fabrico dos equipamentos e aumentado o controlo de condição e no caso dos compressores foi aumentado os tempos de bom funcionamento do equipamento e dada formação contínua aos técnicos de manutenção. Pode-se concluir que a manutenção centrada na fiabilidade permite identificar e avaliar os modos de falha chegando assim as tarefas de manutenção eficazes, no entanto é uma metodologia que requer um grupo de trabalho qualificado e tendo em conta o contexto operacional do equipamento. Ao contrário da metodologia da manutenção tradicional que considera todas falhas problemáticas a manutenção centrada na fiabilidade define as falhas que afectam as funções.

Para implementação do modelo de Rausand (1998) foi utilizado o software Microsoft Excel, para criação dos impressos em formatos de tabelas e seu preenchimento respectivo. Numa primeira fase de implementação da manutenção centrada na fiabilidade é essencial a criação dos impressos tabelados em formato Microsoft Excel de modo a compreender-se a implementação desta metodologia e todas as suas etapas. No mercado actual existem softwares específicos de manutenção centrada na fiabilidade, mas devido ao seu custo inicial, aconselha-se numa implementação jovem da manutenção centrada da fiabilidade que a empresa utilize o software Microsoft Excel.

Em relação às etapas implementadas foi essencial a compilação da informação do histórico de três anos de reparações das lavadoras e dos compressores de parafuso. Uma das etapas que recorreu algum tempo de aplicação foi a definição das fronteiras do sistema, ou seja, entender num sistema o seu input e o seu output, pois assim podemos compreender a localização da falha, caso essas fronteiras não tivessem sido bem definidas não tínhamos em linha conta o equilíbrio de cada sistema em separado mas sim o equipamento como um todo o que levaria a substituição de itens desnecessários por tentativa erro.

Os modos de falha e causas da falha do histórico dos itens físicos foi etapa de implementação mais acessível devido a existir um histórico de três anos de reparações dos dois equipamentos no programa informático TRJ, caso esse histórico não existisse a implementação desta etapa tornar-se-ia difícil devido a necessidade de contactos permanentes com especialistas da manutenção centrada na fiabilidade, podendo assim inviabilizar este estudo devido aos contextos operacionais dos equipamentos ser bastantes distintos. Para identificação das funções e falhas funcionais foi essencial o trabalho no terreno efectuado com estes equipamentos, ou seja foi estudado o comportamento dos equipamentos com teste em carga máxima, desempenho do mesmo aquando da substituição de um item físico específico, consulta dos manuais técnicos dos

equipamentos em causa de modo a entender a tecnologia envolvente, formação contínua aos dois técnicos manutenção envolvidos neste estudo, contactos com a fábrica para tirar dúvidas pontuais acerca dos equipamentos. Como se pode verificar esta etapa recorreu um esforço adicional por parte das agentes envolvidos, mas teve um resultado positivo, pois criou um bem-estar nos técnicos que começaram a sentir o domínio sobre os equipamentos, a gerência sentiu uma diminuição das reclamações por parte do cliente e uma alavancagem nas vendas. Os clientes por sua vez intensificaram as manutenções de rotina aos equipamentos e foi estabelecida uma relação de confiança entre a empresa e os clientes no que diz respeito aos equipamentos.

Na definição dos itens físicos críticos foi tido em conta o índice criticidade económica (I_{CE}), o trabalho de terreno nos equipamentos conseguindo-se identificar quais os itens físicos mais críticos, existindo uma ponderação entre o critério económico e a falha do item físico, pois nalguns itens poderemos trabalhar até falhar. A etapa de implementação da ferramenta da manutenção centrada na fiabilidade análise dos modos e efeitos das falhas (FMEA) foi implementada pela primeira existindo alguma análise para o seu entendimento, foi efectuada do modo mais simples possível, de modo a não tornar esta implementação muito longa e detectar constrangimentos que poderiam por em causa a implementação desta ferramenta. Houve a necessidade de refinar os modos de falha e causas da falha do histórico dos itens físicos pois essa informação estava demasiado dispersa o que levaria a duplicação dos modos e causas das falhas.

Em todos os modos e efeitos das falhas foi utilizada outra ferramenta auxiliar da manutenção centrada na fiabilidade o diagrama de decisão, esta ferramenta obriga a responder a nove perguntas para cada modo e efeito da falha. Assim poderemos ficar com uma noção mais clara sobre o enquadramento da falha e caso seja necessário, efectuar reprojecto em itens físicos com elevada mortalidade infantil, ou mudanças nos contextos operacionais dos equipamentos. Dá também ênfase às avarias ocultas mas no estudo em causa, não apresenta grande relevância pois este tipo de avaria está relacionado com os itens electrónicos, sistemas linhas de produção ou de equipamentos em série.

Outra ferramenta utilizada nesta metodologia foi a árvore lógica de decisão onde aqui o objectivo é efectuar uma análise qualitativa dos modos das falhas e classifica-los em categorias. Da análise qualitativa podemos realçar a existência de apenas uma pequena percentagem de falhas evidentes, pois estas enquadram-se nas falhas que são detectadas visualmente numa operação de rotina. As falhas causadoras de riscos de segurança não foram aqui desenvolvidas devido a diversos factores tais como: as lavadoras de alta pressão não apresentam riscos graves de segurança para operador a não ser o gatilho da lavadora não deve estar direccionado para o mesmo, de modo a pressão de água não ir contacto com o corpo assim poder efectuar alguns ferimentos ligeiros. Já no caso dos compressores não existe problemas de segurança para o operador graves a realçar, a não ser aconselhável a utilização de um depósito com uma válvula de segurança para delimitar a pressão da rede do ar já comprimido.

Em relação aos riscos ambientais este não foram tidos em linha de conta, pois as

lavadoras não apresentam riscos a nível ambiental consideráveis sendo equipamento de utilização doméstica, já no caso dos compressores apesar de não terem sido tidos em linha de conta nesta metodologia, dois riscos se realçam na primeira análise as fugas de óleo das tubagens hidráulicas que vão contaminar o solo, outro risco é o nível de ruído que deve ser controlado a este equipamento pois mesmo deverá estar uma certa distância dos operadores de modos não causar lesões auditivas progressivas. Todos os modos de falha foram classificados como presença de riscos operacionais podendo ser classificados em várias categorias tais como: levar equipamento á paragem, existência de uma falha oculta ainda não identificada, perda do rendimento do equipamento, trabalhar até falha total.

Podemos realçar que grande percentagem das categorias da falha se focaliza nas perdas de rendimento ou paragem de equipamento, estando os itens físicos mecânicos mais ligados á perda de rendimento e os itens físicos eléctricos/electrónicos mais ligados á paragem do equipamento. Com o desenvolvimento desta metodologia ao longo do tempo seria essencial reduzir a categoria de falha do tipo paragem do equipamento, pois assim melhoráramos a disponibilidade e redução de reclamações do cliente. Esse objectivo poderá ser atingido aumentando o controlo de condição e optimizando os tempos para efectuar as tarefas de manutenção.

Em relação aos tempos para efectuar as tarefas de manutenção verifica-se que no caso das lavadoras os tempos para as tarefas de substituição enquadram-se nas quinhentas horas e as tarefas de inspecção trezentas, cem e cinquenta horas consoante a mortalidade infantil de cada item físico, ou seja itens físicos com elevada taxa de mortalidade infantil apresentam tempos de inspecção ou controlo de condição menores.

Em relação aos compressores de parafuso verificamos que os tempos para efectuar as tarefas de manutenção de substituição se focalizam nas mil horas, pois este equipamento apresenta uma maior fiabilidade e uma reduzida taxa de mortalidade infantil. Aqui as tarefas de inspecção/controlo de condição também apresentam periodicidades diferentes cem, trezentos e quinhentas horas, estando estas tarefas relacionadas com limpeza inspecções visuais e leituras de valores de tensão dos itens físicos. As tarefas de substituição no caso dos compressores ainda não apresentam um elevado grau de maturidade, estando ainda muito relacionadas com manutenção preventiva sistemática do fabricante, logo um dos desenvolvimentos desta metodologia ao longo do tempo para os compressores seria melhorar a altura ideal para efectuar as tarefas de substituição.

As normas utilizadas para o desenvolvimento desta metodologia foram SAE JA 1011:1999 Critérios de Avaliação da Manutenção Centrada na Fiabilidade e a SAE JA 1012:211 Guia Standard da Manutenção Centrada na Fiabilidade. O modelo Rausand (1998) busca responder às perguntas efectuadas pela norma SAE JA 1011:1999, através da implementação de oito etapas a um sistema em concreto e assim conseguir obter os critérios mínimos para que o processo seja considerado de manutenção centrada na fiabilidade. Verifica-se que esse objectivo foi atingido pois conseguiu-se aumentar os tempos de bom funcionamento (MTBF) para os dois equipamentos em questão, eliminar o desperdício de manutenção preventiva sistemática, aumentar o controlo de

condição em vez da política de substituição. No entanto esse processo carece ainda de algum refinamento no estudo do intervalo PF, onde se procura determinar com boa precisão o intervalo do início da detecção da falha potencial (Ponto P) e a falha funcional (Ponto F), ou seja o tempo de evolução da falha. A conclusão que podemos chegar é que a periodicidade das tarefas de manutenção vai sofrer alterações com melhor conhecimento do intervalo PF.

Outra melhoria a ser efectuada na implementação da Análise dos Modos e Efeitos da Falha (FMEA) é definição dos tempos de reparação (TTR) nos efeitos e consequência das falhas, sendo essencial a definição desses tempos para a definição da periodicidade ideal para as tarefas de manutenção. A análise de criticidade dos modos e efeitos da falha (FMECA) não foi utilizado neste trabalho pois aqui o grau de severidade dos efeitos da falha através do cálculo índice de risco, não se mostrou essencial a estes dois equipamentos devido a não colocar em causa a integridade humana nem ter impactos ambientais graves. Será uma hipótese viável no futuro utilizar a análise da criticidade dos modos e efeitos da falha (FMECA) pois assim poderemos ter uma informação mais completa sobre os dois equipamentos e assim minimizar riscos inerentes.

Outro estudo não efectuado mas deveras importante seria a análise dos custos das garantias ao longo de implementação deste processo para as lavadoras, pois este equipamento apresenta elevada mortalidade infantil. Seria essencial sensibilizar o fornecedor para esses custos de modo a que fábrica efectue melhorias contínuas na fabricação dos seus itens tendo em conta o contexto operacional do equipamento.

Sendo a minha empresa um distribuidor variadíssimas marcas de equipamentos foi essencial a implementação da manutenção centrada na fiabilidade, pois assim pode-se melhorar as necessidades e expectativas dos clientes, onde a redução de custos mostrou-se um dos factores de fidelização dos clientes.

Como propostas de trabalhos futuros seria essencial a consulta da norma OHSAS 18001/NP4397 Sistema de Higiene e Segurança no Trabalho e a norma 14001:2004 Sistemas de Gestão Ambiental de modo a ser identificado alguns riscos inerentes aos equipamentos e assim poder ser utilizado a Análise de Criticidade dos Modos e Efeitos da Falha (FMECA). Necessidade de aplicação de reprojecto em alguns itens físicos que apresentam elevada taxa de mortalidade infantil seria uma proposta de trabalho futuro, sendo este um processo interactivo com o fornecedor de modo a contribuir para diminuição das reclamações e potenciar o aumento das vendas. Devido á planta industrial da minha empresa apresentar boa disponibilidade, não foi considerado essencial aplicar a manutenção centrada na fiabilidade, pois sendo a uma oficina de pedido de cliente são reduzidos os equipamentos que se encontram em oito horas de laboração. No entanto a empresa em que os equipamentos se encontram em laboração contínua o estudo da manutenção centrada na fiabilidade da planta industrial torna-se deveras importante. Outros trabalhos futuros que poderão ser efectuados serão em áreas em que manutenção preventiva sistemática se apresenta até como um factor estratégia comercial tendo como exemplo a área automóvel onde a criação da metodologia da manutenção centrada na fiabilidade em versão protótipo poderia conseguir a longo

prazo a reduzir as reclamações dos clientes e o aumentar do número de vendas. Será essencial cada vez mais no futuro próximo sensibilizar os técnicos da manutenção para o uso do controlo de condição em vez da substituição programada, pois com isso conseguirão o melhor domínio sobre o equipamento e melhorar a sua produtividade.

Outra área deveras importante no futuro seria a consultadoria em empresas da manutenção centrada na fiabilidade utilizando as normas SAE JA 1011:1999 e a SAE 1012:2002, pois é essencial apoiar o nosso tecido empresarial com políticas de manutenção que possam reduzir custos e assim a médio e longo prazo garantir a sustentabilidade num mercado tão competitivo como de hoje. Em suma a manutenção centrada na fiabilidade tem em enorme potencial de desenvolvimento no nosso país e pode contribuir para transmitir uma maior relação de confiança de todos agentes envolvidos.

Referências Bibliográficas

[1] Ahire P.Chandrajit, Relkar S.Anand, *Correlation Failure Mode Effect Analysis (FMEA) & Overall Equipment Effectiveness (OEE)*, 2012;

[2] Ahuja,I.P.S.,Khamba,J.S., *Total Productive Maintenance: Literature Review and Review and Directions*, *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol.25 N°7, Págs 709-756, 2008;

[3] Allison,P.D,*Survival Analysis using SAS: A Practical Guide North Carolina: SAS Institute Inc.*, 2010;

[4] Aven, T., *Risk Analysis : Assessing Uncertainties Beyond Expected Values and Probabilities*, Wiley, Londres, 2009;

[5] Bahrami,Mahdi, Bazzaz Danial Hadizadeh, Sajjadi,S.Mojtaba; *Innovation and Improvements in Project Implementation and Management using FMEA Technique*, 2012;

[6] Barbosa, A.C.; *Aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade na Função Transmissão a Fim de Reduzir o Tempo de Indisponibilidade. TCC (Graduação em Engenharia Elétrica)*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2009;

[7] Cabral, José, P.S.; *Gestão da Manutenção de Equipamentos, Instalações e Edifícios*, Lidel-Edições Técnicas, 2009;

- [8] Candel,O.,Karim,R. and Soderholm,P; *Maintenance – Information Logistics for Maintenance Support, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 25,págs 937-944, 2009;
- [9] Fitch, James C., *Manutenção Pró-Activa pode economizar 10 vezes mais do que práticas de manutenção preditivas/preventivas convencionais*, 2008;
- [10] Fogliatto,F.S;Ribeiro,J.L.D; *Confiabilidade e Manutenção Industrial*,São Paulo,Pág.198, 2009;
- [11] Johannesson, Par; Bergman, Bo; Svensson, Thomas; Arvidsson, Martin; Lonnqvist, Ake; Barone, Stefano; Maré de Jacques; *A Robustness Approach to Reliability*, Quality and Reliability Engineering International, 2012;
- [12] Kardec,Alan, *Manutenção: Função Estratégica*,3ª Edição, Rio de Janeiro,Qualitymark,Petrobras, 2009;
- [13] Lima,Walter da Costa;Sales ,José António Arantes, *Manutenção Preditiva Caminho para a Excelência e Vantagem Competitiva*; 2008;
- [14] Marcorin,W.R;Lima,C.R.C. *Análise dos Custos de Manutenção e Não-Manutenção de Equipamentos Produtivos*, *Revista de Ciência e Tecnologia*,Volume 11,Nº22, 2003 ;
- [15] Márquez, A. C., *The Maintenance Management Framework: Models and Methods*. London: Springer-Verlang, 2007;
- [16] Márquez, A. C., León, P. M., & Fernández, J. F., *The maintenance management framework: A practical view to maintenance management*. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* , pp. 167-178, 2009;
- [17] Mortelari,D.; Siqueira, K.; Pizzati, N.; *O RCM na Quarta Geração da Manutenção de Activos*, 1ª Edição, RG Editores,2011
- [18] Moubray,J.;*Manutenção Centrada em Confiabilidade (Reliability-Centered Maintenance-RCM)*,Trad.Kleber Siqueira, São Paulo:Aladon,2000;
- [19] Murthy, D. N., Xie, M., & Jiang, R., *Weibull models*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2004;
- [20]Nakagawa, T., *Advanced Reliability Models and Maintenance Policies*,London: Springer-Verlag,2008;

- [21] Nelson, W., *Applied life data analysis*. New York: John Wiley & Sons, 2004;
- [22] Ni, Jun and Jin,X.; *Decision Support systems for Effective Maintenance Operations, CIRP Annals – Manufacturing Technology 61*, págs.411-414, 2012;
- [23] Ranteshwar Singh, Ashish M Gohil, Dhaval B Shah, Sanjay Desai; *Total Productive Maintenance (TPM) in a Machine Shop: A case of Study*, 2012
- [24] Salgado, M. F. P. *Aplicação de Técnicas de Otimização à Engenharia de Confiabilidade. Dissertação de Mestrado (Departamento de Engenharia Elétrica) - UFMG, Belo Horizonte, 2008.*
- [25] Saltorato, Patrícia; Cintra, Caio Tellini, *Implantação de um programa de Manutenção Produtiva Total em Uma indústria Calçadista em Franca*, 2008;
- [26] Santos R.C.,Barreto B.A., Cugnasca, J.R., Almeida J.R., Camargo J.B Jr, *Um método baseado em árvore de falhas e simulação de Monte Carlo para a análise de Confiabilidade/Disponibilidade de Sistemas Eléctricos de Potência*, 2009;
- [27] Sellito,Miguel,Afonso; *Análise Estratégica da Manutenção de uma linha de fabricação metal-mecânica baseada em cálculos de confiabilidade de equipamentos*,Volume 15 nº1,2005;
- [28] Sharma, R.K; Kumar,S.; *Performance Modeling in Critical Systems Using RAM Analysis;*”*Reliability Engineering and System Safety*93,págs 913-919, 2008;
- [29] Sikorska,J.Z., Hodkiewicz,M.,Ma,L., *Prognostic Modeling Options for Useful Life Estimation by Industry, Mechanical Systems & Signal Processing*,15, pág.1803, 2011;
- [30] Siqueira,I.P; *Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação*, 1ª Reimpressão, Qualitymark, Rio de Janeiro,RJ, 2009
- [31] Smith, D.J., *Reliability Maintainability and Risk: Practical Methods for Engineers*, Oxford, Elsevier Ltd, 2011;
- [32] Soares,C.Guedes, Duarte,J.Caldeira, Garbatov,Y., Zio,E and Sorensen,J.D. *Framework for maintenance planning in “Safety and Reliability of Industrial Products, Systems and Structures”* Carlos Guedes Soares, Editor Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-66392-2, 2010;

[33] Souza,S.S.;Lima,C.R.C.C; *Manutenção Centrada em Confiabilidade como ferramenta estratégica*.Anais do XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Ouro Preto (MG),2003;

[34] Souza, Valdir Cardoso de; *Organização e Gerenciamento da Manutenção: Programa e Controle de Manutenção*,4ª Edição, All Printe Editora, São Paulo,2011;

[35] Stephens, M. P. *Productivity and Reliability-Based Maintenance Management*,. Purdue University Press, 2010;

[36]Veldman, J., Wortmann, H., & Klingenberg, W., *Typology of condition based maintenance. Journal of Quality in Maintenance Engineering* , págs. 183-202, 2011;

[37] Xavier, Carlos Magno da Silva, *Gerenciamento de Projectos: Como Definir e Controlar o Escopo do Projecto*,2ª Edição, São Paulo,2009;

[38] Xavier,J.N;Pinto,A.K, *Manutenção:Função Estratégica*, 2ªEdição, Qualitymark, Rio de Janeiro, 2003;

[39] Yingkui,Gu, Jing Li, *Multi-State System Reliability: A New and Systematic Review*, 2012;