



Desenvolvimento de Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM) numa empresa de armazenamento de produtos agroalimentares a granel

ORLANDO FILIPE CARDOSO PINTO

julho de 2022

DESENVOLVIMENTO DE MANUTENÇÃO CENTRADA NA FIABILIDADE (RCM) NUMA EMPRESA DE ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS AGROALIMENTARES A GRANEL

Orlando Filipe Cardoso Pinto

1131188

2022

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica



DESENVOLVIMENTO DE MANUTENÇÃO CENTRADA NA FIABILIDADE (RCM) NUMA EMPRESA DE ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS AGROALIMENTARES A GRANEL

Orlando Filipe Cardoso Pinto

1131188

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação da Doutora Rafaela Carla Barros Casais, docente do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP)

2022

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica



JÚRI

Presidente

Doutor Luís Carlos Ramos Nunes Pinto Ferreira

Professor Coordenador, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Doutora Rafaela Carla Barros Casais

Professora Adjunta, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

Doutora Ana Luísa Ferreira Andrade Ramos

Professora Auxiliar, Universidade de Aveiro

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos meus pais por todo o apoio prestado, não só ao longo do meu percurso académico, mas também ao longo da minha vida.

À empresa Silos de Leixões, pela oportunidade de realizar uma dissertação nas suas instalações.

Ao Joaquim Reis, o meu orientador na empresa, por todo o conhecimento transmitido e apoio prestado ao longo da elaboração deste trabalho.

À equipa de manutenção da Silos de Leixões, por toda a ajuda e colaboração.

À Doutora Rafaela Casais pela orientação e aconselhamento neste trabalho.

A todos os meus amigos e colegas que me acompanharam ao longo do meu percurso académico.

PALAVRAS-CHAVE

RCM, Fiabilidade, FMEA, Manutenção, Manutenção Preventiva

RESUMO

Ao longo dos anos tem-se verificado uma tendência de crescimento e de inovação nos vários ramos da indústria. A manutenção não é exceção, e como tal, há a necessidade de esta se adaptar às exigências impostas pelos departamentos de produção. Neste âmbito, têm surgido novas técnicas e metodologias de manutenção.

Uma delas é o RCM (*Reliability Centered Maintenance*), que tira partido da elaboração de FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*), obtendo-se assim uma melhor perceção dos riscos e criticidade associados a cada máquina/componente e permite posteriormente tomar decisões que maximizem os ativos, promovendo desta forma a fiabilidade.

Este trabalho teve como principal objetivo a elaboração de FMEA dos equipamentos da Silos de Leixões e implementação de ações corretivas, preventivas ou preditivas que minimizem os impactos de uma paragem, aumentando assim a produção total.

O resultado deste trabalho foram cerca de 130 análises FMEA de equipamentos, a implementação de RCM e o desenvolvimento de cerca de duas dezenas de propostas de melhoria para o departamento de manutenção da empresa.

KEYWORDS

RCM, Reliability, FMEA, Maintenance, Preventive Maintenance

ABSTRACT

Throughout the years there has been a trend of growth and innovation in the various branches of the industry. Maintenance is no exception, and as such, there is a need to adapt to the requirements imposed by production departments. In this context, new maintenance techniques and methodologies have emerged.

One of them is RCM (*Reliability Centered Maintenance*), which takes advantage of the elaboration of FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*), allowing a better perception of the risks and criticality associated with each machine/component and subsequently having decision-making that maximize assets, thus promoting reliability.

The main objective of this work is the FMEA elaboration of the equipments of Silos de Leixões and the implementation of corrective, preventive or predictive actions that minimize the impacts of a stoppage, thus increasing the total production.

The result of this work was about 130 FMEA analysis of equipments, the implementation of RCM and the development of about twenty improvement proposals for the company's maintenance department.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

AIAG	Automotive Industry Action Group
CBM	Condition Based Maintenance
DFMEA	Design Failure Modes and Effects Analysis
FAA	Federal Aviation Agency
FMEA	Failure Modes and Effects Analysis
FMECA	Failure Modes, Effects and Criticality Analysis
HACCP	Hazard Analysis and Critical Control Point
IEC	International Electrotechnical Commission
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
MSA	Measurement System Analysis
MSG	Maintenance Steering Group
MTTR	Mean Time to Repair
NASA	National Aeronautics and Space Administration
OEE	Overall Equipment Effectiveness
PFMEA	Process Failure Modes and Effects Analysis
RBM	Risk Based Maintenance
RCM	Reliability Centered Maintenance
RPN	Risk Priority Number
SAE	Society of Automotive Engineers

SdL	Silos de Leixões
SFMEA	System Failure Modes and Effects Analysis
SPC	Statistical Process Control
TPM	Total Productive Maintenance
VDA	Verband der Automobilindustrie

Lista de Unidades

kW	Quilowatt
mm	Milímetros
ton/h	Toneladas por hora

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução histórica das técnicas de manutenção, (adaptado de (Moubray, 1997))	8
Figura 2 - Tipos de manutenção segundo a (Norma NP EN 13306:2017)	10
Figura 3 - Tipos de manutenção, segundo (Mobley, 2008)	11
Figura 4 - Tipos de manutenção, segundo (Cabral, 2006)	11
Figura 5 - Procedimentos usuais para monitorização de máquinas, (retirado de (Bertsche 2008))	14
Figura 6 - Terminologia da manutenção, (retirado de (Filz <i>et al.</i> ,2021)).....	16
Figura 7 - Evolução cronológica dos FMEA, (retirado de (qualitytrainingportal.com))	20
Figura 8 - Fluxograma com os procedimentos sequenciais de uma análise FMEA, (adaptado de (Balaraju <i>et al.</i> , 2019)).....	24
Figura 9 - Processo de implementação do RCM, (retirado de (Márquez, 2012))	29
Figura 10 - Linha cronológica da Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM)	31
Figura 11 - Curvas da banheira, (retirado de (Denson, 2006))	31
Figura 12 - Vários padrões de falhas com exemplos, (retirado de (Bertsche, 2008))	33
Figura 13 - Ações para aumentar a fiabilidade nas diferentes secções da curva da banheira, (retirado de (Bertsche, 2008)).....	34
Figura 14 - Curva de performance de um sistema, (retirado de (NASA, 2008))	35
Figura 15 - Curva PF, (retirado de (Teles, 2019))	36
Figura 16 - Diferentes estratégias de manutenção, (retirado de (Gabbar, <i>et al.</i> , 2003))	40
Figura 17 - Silos de Leixões, em Leça da Palmeira	43
Figura 18 - Esquema Operativo da Galeria Inferior	45
Figura 19 - Esquema Operativo da Galeria Superior	45
Figura 20 - Vantagens do desenvolvimento de RCM na Silos de Leixões	46
Figura 21 - Esquema de Constituintes das Noras	47
Figura 22 - Esquema de trem motor-redutor-nora	48
Figura 23 - Vista exterior de um <i>Redler</i>	49
Figura 24 - Corrente de transmissão e rodas de tração	49
Figura 25 - Corrente de arrasto simples (a) e dupla (b).....	50

Figura 26 - Transportador de banda, localizado no Armazém Horizontal	51
Figura 27 - Modelo de documento de FMEA.....	52
Figura 28 - Capa do Manual de Especificações do Redler R1	54
Figura 29 - Desenho técnico do Redutor Olimar UDH 510	55
Figura 30 - Lista de peças do Redutor Olimar UDH 510	55
Figura 31 - Componentes de um motor SEW	55
Figura 32 - Redutor Olimar CUDH5 com os seus componentes	56
Figura 33 - Falhas funcionais das Noras, de acordo com a sua escala de RPN	61
Figura 34 - Gráfico circular das falhas funcionais das Noras, de acordo com a sua escala de RPN.....	61
Figura 35 - Falhas funcionais dos <i>Redlers</i> , de acordo com a sua escala de RPN	63
Figura 36 - Gráfico circular das falhas funcionais dos redlers, de acordo com a sua escala de RPN.....	64
Figura 37 - Falhas funcionais dos transportadores de banda, de acordo com a sua escala de RPN	65
Figura 38 - Gráfico circular das falhas funcionais dos transportadores de banda, de acordo com a sua escala de RPN.....	65
Figura 39 - FMEA do Redutor da Nora E1, com as falhas funcionais do veio e da chaveta.....	66
Figura 40 - Veio de carreto de 2ª redução fissurado	67
Figura 41 - Chaveta do veio de carreto de 2ª redução, desgastado.....	67
Figura 42 - Análise FMEA de alguns componentes dos motores elétricos e redutores das noras	68
Figura 43 - Análise FMEA de alguns componentes do redutor da nora E2	69
Figura 44 - Folha de Verificação da temperatura dos redutores.....	70
Figura 45 - Ponto de registo da temperatura	71
Figura 46 - Temperaturas do Redutor da Nora E2.....	71
Figura 47 - Temperaturas do Redutor da Nora E3.....	72
Figura 48 - Permutador óleo-ar do Redutor da Nora E3	73
Figura 49 - Gráfico representativo da degradação dos óleos minerais vs. óleos sintéticos conforme o aumento de temperatura, retirado do manual de redutores SEW	74
Figura 50 - Análise FMEA aos atascamentos das noras.....	75
Figura 51 - Folha de registo de atascamentos das noras	76

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Diferentes definições do conceito de manutenção	5
Tabela 2 - Diferentes definições do conceito de manutenção preventiva	12
Tabela 3 - Diferentes definições do conceito de manutenção corretiva	15
Tabela 4 - Níveis de manutenção, segundo (Martínez <i>et al.</i> , 2012)	17
Tabela 5 – Diferentes definições da metodologia FMEA.....	18
Tabela 6 - Critério de avaliação da frequência da ocorrência, (adaptado de (Chin <i>et al.</i> , 2007))	25
Tabela 7 - Critério de avaliação da detetabilidade, (adaptado de (Chin <i>et al.</i> , 2007))	25
Tabela 8 - Critério de avaliação da severidade, (adaptado de (Chin <i>et al.</i> , 2007))	26
Tabela 9 - Diferentes definições da metodologia RCM	28
Tabela 10 - Resumo da Silos de Leixões	44
Tabela 11 - Classificações do índice de ocorrência.....	57
Tabela 12 - Classificações do índice de detecção.....	58
Tabela 13 - Classificações do índice de severidade	59
Tabela 14 - Análise dos objetivos propostos	82
Tabela 15 - Propostas de melhoria e respetivos ganhos	82

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Enquadramento do trabalho.....	1
1.2	Objetivos do trabalho.....	1
1.3	Metodologia do trabalho	1
1.4	Estrutura da dissertação	2
1.5	Local/Empresa de acolhimento.....	2
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1	Manutenção	5
2.1.1	Definição de manutenção	5
2.1.2	Contextualização histórica da manutenção	6
2.1.3	Objetivos e funções da manutenção	9
2.1.4	Tipos de manutenção	10
2.1.4.1	Manutenção Preventiva.....	12
2.1.4.1.1	Preventiva sistemática	13
2.1.4.1.2	Preventiva condicionada	13
2.1.4.2	Manutenção Corretiva	14
2.1.5	Níveis de manutenção	17
2.2	FMEA	18
2.2.1	Conceito e objetivos do FMEA	18
2.2.2	Contextualização histórica do FMEA	19
2.2.3	Tipos de FMEA	20
2.2.3.1	FMEA de Projeto	21
2.2.3.2	FMEA de Processo.....	21
2.2.3.3	FMEA de Sistema	22

2.2.4	Etapas do FMEA.....	23
2.2.5	Risk Priority Number (RPN)	24
2.2.6	Vantagens e desvantagens do FMEA	27
2.3	RCM.....	28
2.3.1	Conceito e introdução ao RCM.....	28
2.3.2	Contextualização histórica do RCM.....	30
2.3.3	Padrões de Falhas.....	31
2.3.4	Funções	34
2.3.5	Falhas Funcionais.....	35
2.3.6	Modos de Falha	36
2.3.7	Efeitos de Falha	37
2.3.8	Consequências da Falha	38
2.3.9	Tarefas Proativas e Ações por Defeito	39
3	DESENVOLVIMENTO	43
3.1	Caso de estudo na Silos de Leixões	43
3.1.1	Apresentação da Silos de Leixões.....	43
3.1.2	Processo Operativo da Silos de Leixões.....	44
3.2	Caracterização do problema	46
3.3	Descrição das máquinas a analisar.....	47
3.3.1	Elevador de Alcatruzes	47
3.3.2	Transportadores de Correntes	48
3.3.3	Transportadores de Banda	50
3.4	Análise FMEA.....	51
3.4.1	Seleção da equipa de trabalho	52
3.4.2	Elaboração da documentação FMEA.....	52
3.4.3	Definição das funções	53
3.4.4	Identificação dos elementos/componentes.....	54

3.4.5	Identificação das falhas funcionais, modos de falha, efeitos de falha e consequências de falha	56
3.4.6	Cálculo do RPN	57
3.5	Resultados da análise FMEA	60
3.5.1	Noras	60
3.5.2	Redlers.....	62
3.5.3	Transportadores de Banda	64
3.6	Propostas de melhoria decorrentes da análise FMEA	66
3.6.1	Aquisição de um novo Redutor para a Nora E1	66
3.6.2	Alinhamento dos acoplamentos motor-redutor e redutor nora.....	68
3.6.3	Análise de vibrações aos Redutores das Noras	69
3.6.4	Verificação da temperatura dos Redutores das Noras e Redlers.....	70
3.6.4.1	Caso do redutor da Nora E3.....	72
3.6.4.2	Mudança para óleo sintético	73
3.6.5	Resolução dos atascamentos das noras	75
3.6.5.1	Criação de um ficheiro de registo de atascamentos.....	75
3.6.5.2	Instalação de um sensor no Redler R6.....	76
4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	81
4.1	Conclusões	81
4.2	Propostas de trabalhos futuros.....	83
5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	87
6	ANEXOS.....	93
6.1	Esquema Operativo da Galeria Inferior	93
6.2	Esquema Operativo da Galeria Superior.....	94
6.3	Análise FMEA Redutor Nora E1.....	95
6.4	Análise FMEA Redutor Novo Nora E1	97

6.5	Análise FMEA Redutor Nora E2.....	100
6.6	Listagem de todas as falhas funcionais com índice RPN superior a 100.....	102
6.7	Análise FMEA Motor Elétrico Nora E1	105
6.8	Análise FMEA Elevador de Alcatruzes Nora E1	106
6.9	Análise FMEA Corpo do Redler R4	108
6.10	Análise FMEA Corpo do Transportador TB1.....	110

INTRODUÇÃO

- 1.1 Enquadramento do trabalho
- 1.2 Objetivos do trabalho
- 1.3 Metodologia do trabalho
- 1.4 Estrutura da dissertação
- 1.5 Local/Empresa de acolhimento

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do trabalho

Numa perspetiva de melhoria contínua, otimização de recursos e diminuição de custos com a manutenção, a empresa Silos de Leixões pretende desenvolver um sistema de Manutenção Centrada na Fiabilidade.

Para além das vantagens acima referidas este trabalho vai permitir à empresa ter relatórios FMEA de todos os equipamentos e ações corretivas para as falhas mais severas, permitindo assim uma melhor tomada de decisão relativamente aos ativos críticos e promovendo uma manutenção com base na fiabilidade dos componentes.

1.2 Objetivos do trabalho

Esta dissertação tem como objetivos os seguintes pontos:

- Desenvolvimento de análises FMEA aos equipamentos da empresa;
- Desenvolvimento de um sistema de Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM);
- Desenvolvimento de soluções que visem prolongar o tempo de vida útil dos equipamentos;
- Desenvolvimento de propostas de melhoria da gestão da manutenção;
- Carregamento das análises FMEA no sistema de manutenção da empresa.

1.3 Metodologia do trabalho

Este trabalho foi realizado seguindo a seguinte metodologia:

1. Revisão da literatura técnico-científica dos principais temas abordados;
2. Análise e estudo dos equipamentos e suas funções;
3. Elaboração de FMEA aos equipamentos propostos (modos de falha, causas de falha e efeitos de falha);
4. Determinação do RPN (*Risk Priority Number*);

5. Determinação de tarefas proativas e intervalos de tempo ou determinação de ações por defeito, conforme o caso;
6. Carregamento no sistema das análises FMEA;
7. Elaboração de um relatório com toda a informação do trabalho desenvolvido e alinhado com a metodologia RCM;
8. Formulação de conclusões e descrição de possíveis trabalhos futuros.

1.4 Estrutura da dissertação

Esta dissertação subdivide-se em quatro capítulos.

No primeiro capítulo foi feita uma breve introdução dos tópicos a desenvolver. É referenciado o enquadramento do trabalho, os seus objetivos, a sua metodologia, a sua estrutura e o local onde foi realizada a dissertação.

De seguida, no segundo capítulo, foi elaborada uma revisão bibliográfica sobre os temas de Manutenção, FMEA e RCM, por esta ordem.

No terceiro capítulo, procede-se ao Desenvolvimento do trabalho. Inicialmente, é feita uma apresentação da empresa onde a dissertação foi realizada. De seguida é feita uma descrição dos problemas existentes na empresa. No subcapítulo seguinte é realizada uma descrição pormenorizada das máquinas que vão constar do trabalho. Posteriormente está indicado todos os passos efetuados durante a elaboração da análise FMEA. No quinto subcapítulo fala-se dos resultados da referida análise FMEA. Por fim, encontram-se as propostas de melhoria decorrentes da análise anteriormente referida.

No quarto capítulo faz-se a conclusão do trabalho com a apresentação de propostas de trabalhos futuros.

O quinto capítulo é referente à bibliografia e no sexto capítulo encontram-se os anexos que serviram de suporte a este trabalho.

1.5 Local/Empresa de acolhimento

Esta dissertação irá ter lugar na Silos de Leixões, Unipessoal Lda., uma empresa de armazenamento de produtos agroalimentares a granel situada em Leça da Palmeira.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Manutenção

2.2 FMEA

2.3 RCM

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Manutenção

2.1.1 Definição de manutenção

O conceito de manutenção não é algo padronizado. É vulgarmente definido como um conjunto de reparações e inspeções periódicas, podendo ser estas rotinas preventivas, limpezas, lubrificações e/ou correção de defeitos.

Um conceito relevante, é dado pela Norma NP EN 13306:2017 (“Norma NP EN 13306,” 2017) que define a manutenção como “a combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão aplicadas durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou repô-lo num estado em que pode desempenhar a função requerida. Sendo esta a definição de uma norma europeia, acaba por ser a mais utilizada e amplamente reconhecida pelos especialistas.

A Tabela 1 mostra as diferentes definições, de vários autores, sobre o conceito de manutenção.

Tabela 1 - Diferentes definições do conceito de manutenção

Autor	Definição
(Smith & Mobley, 2008)	Manutenção, é o ato de manter. E para manter, é necessário cuidar, preservar e proteger. Ou seja, manter o equipamento no estado existente ou preservá-lo de avarias ou declínio.
(British Standards Institution (BSI), 2010)	A manutenção é a combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão aplicadas durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou repô-lo num estado em que pode desempenhar a função requerida.
(Erkoyuncu <i>et al.</i> , 2017)	A manutenção pode ser explicada como sendo o setor de uma organização responsável pela melhoria da disponibilidade e fiabilidade dos equipamentos, por forma a maximizar a produtividade, a qualidade do produto e as condições de segurança ao menor custo possível.

(Nabilah *et al.*,
2021)

Manutenção é a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo ações de supervisão, destinadas a manter ou restaurar um item de forma que este possa realizar uma dada função.

2.1.2 Contextualização histórica da manutenção

Ao longo dos anos, as indústrias tiveram de enfrentar vários problemas no que concerne à manutenção. À medida que os equipamentos foram ficando mais complexos, as exigências da manutenção foram também aumentando. Deste modo, foi necessário encontrar novas técnicas que conseguissem fazer face aos desafios encontrados.

Segundo Moubray (Moubray, 1997), a evolução da manutenção agrupa-se em três gerações distintas:

- Primeira Geração:

Nos primeiros anos após a Revolução Industrial as indústrias tinham poucas máquinas, sendo que as mesmas eram bastante simples, robustas e sobredimensionadas. Deste modo, não só as paragens da produção tinham pouco impacto, como as avarias eram relativamente simples de serem solucionadas. Significa isto que a prevenção de falhas dos equipamentos não era uma prioridade e, conseqüentemente, não havia práticas preventivas de manutenção, nem rotinas de limpeza e de lubrificação dos componentes. O foco era na reparação após a avaria.

Este tipo de manutenção foi utilizado até à 2ª Guerra Mundial, tendo este acontecimento histórico marcado o fim da Primeira Geração (Moubray, 1997).

- Segunda Geração:

A 2ª Guerra Mundial foi um marco importante na sociedade a vários níveis. O caso da manutenção industrial não foi uma exceção, tendo-se verificado claramente uma mudança de paradigma. Devido à Guerra, a procura de bens de todos os tipos aumentou significativamente. Por outro lado, ocorreu uma diminuição considerável de mão de obra para se produzir esses mesmos bens. Ambos os fatores foram fundamentais para o que se verificou de seguida, um aumento da mecanização. Assim sendo as máquinas tornaram-se cada vez mais numerosas e complexas levando a que as indústrias se tornassem altamente dependentes destas.

Com este aumento da dependência, a diminuição dos tempos de paragem dos equipamentos tornou-se um foco importante e até mesmo uma meta, de forma a maximizar a produção. Isto levou à ideia de que as falhas dos equipamentos poderiam e deveriam ser prevenidas, o que subseqüentemente levou à criação do conceito de Manutenção Preventiva. As primeiras ações de Manutenção Preventiva verificaram-se em meados da década de sessenta, em que as revisões eram feitas seguindo intervalos de paragem fixos.

Os custos de manutenção aumentaram significativamente quando comparados com os custos operacionais, levando ao aparecimento da Gestão da Manutenção. Assim, o planeamento e controlo da manutenção tornaram-se práticas cada vez mais comuns, conseguindo então um domínio mais aperfeiçoado das ações de manutenção.

Noutra perspetiva, como a complexidade das máquinas cresceu, o capital investido nas mesmas também aumentou. Desta forma tornou-se fulcral maximizar a vida útil destes ativos, algo que apenas seria possível com a correta manutenção dos equipamentos (Moubray, 1997).

- Terceira Geração:

Em meados da década de setenta, novos desafios foram aparecendo nas indústrias. Um dos mais significativos foi a capacidade de minimizar as paragens dos equipamentos. O *downtime* foi um fenómeno que começou a aparecer na década de sessenta, contudo apenas na década de setenta é que este problema se tornou verdadeiramente preocupante. Devido à crescente dependência nas máquinas, a capacidade produtiva das fábricas foi afetada negativamente, por consequência da reduzida disponibilidade dos equipamentos. Em paralelo, ocorreu também o aparecimento dos sistemas *Just in Time*, caracterizados por baixos níveis de stock de matérias-primas e dependentes da fiabilidade dos fornecedores. Isto causou um efeito de estrangulamento, em que cada avaria aumentava a probabilidade de paragem de um equipamento (por falta de stock) provocando assim a paragem de todo o sistema produtivo.

Dado o exposto, conceitos como fiabilidade e disponibilidade das máquinas assumiram-se com uma importância cada vez superior, tornando-se fundamentais e até indispensáveis aos dias de hoje.

Com toda esta evolução, os custos da manutenção aumentaram, não só em termos absolutos como em percentagem da despesa total das indústrias. Isto levou a que a gestão da manutenção se tornasse um pilar no bom funcionamento das empresas, tendo surgido novas técnicas de gestão como o TPM (*Total Productive Maintenance*) e o RCM. Estes métodos colocaram o foco na manutenção preditiva e na fiabilidade dos equipamentos, por forma a prolongar a vida útil dos mesmos, trazendo assim uma maior eficiência e maximizando o retorno do investimento (Moubray, 1997).

Na Figura 1 está descrita a evolução histórica das técnicas de manutenção, segundo Moubray:

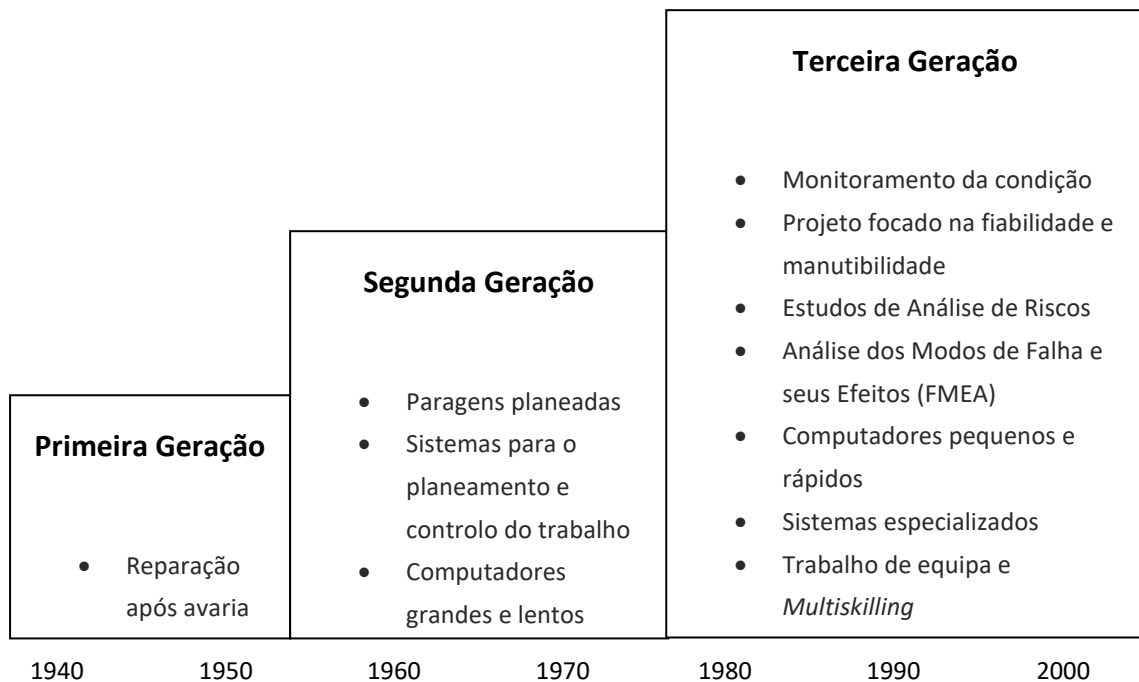


Figura 1 - Evolução histórica das técnicas de manutenção, (adaptado de (Moubray, 1997))

Nos anos mais recentes tem-se assistido ao desenvolvimento e implementação da Indústria 4.0. Como tal, a manutenção tem evoluindo de acordo com as necessidades existentes e, alguns autores, falam mesmo duma Quarta Geração da Manutenção, ou Manutenção 4.0. As estratégias de gestão da manutenção passaram de ser reativas e preventivas para serem proativas e preditivas com a ajuda de sistemas inteligentes de manutenção. Estes sistemas tiram partido da leitura da condição dos ativos através de tecnologias sensoriais, permitindo assim reduzir custos e implementar uma manutenção baseada na condição (Kans *et al.*, 2020).

No fundo, a Manutenção 4.0 passa pela combinação de técnicas tradicionais de manutenção com outras técnicas contendo avanços tecnológicos disruptivos. Para este tipo de manutenção ser viável, as organizações devem redefinir as políticas de manutenção, bem como o papel dos técnicos, analistas e operadores por forma a suportarem as inovações tecnológicas. Apesar dos vários benefícios da Manutenção 4.0, as empresas ainda têm muita dificuldade em implementar na prática este tipo de manutenção (Tortorella *et al.*, 2021).

A Manutenção 4.0 trata então da análise preditiva e sugere soluções viáveis, com maior aplicação na Indústria 4.0 e especialmente direcionada para os aspetos da manutenção que lidam com a recolha de dados e respetiva análise de maneira a tomar decisões referentes ao ativo (Bokrantz *et al.*, 2020).

2.1.3 *Objetivos e funções da manutenção*

Os objetivos da manutenção são definidos de acordo com a estratégia do negócio, podendo deste modo variar consoante as organizações. Contudo, estes podem ser agrupados em três grupos (Márquez, 2012):

- Objetivos técnicos

Estão associados ao setor operacional da empresa, e avaliam a disponibilidade do equipamento, atualização tecnológica, segurança das pessoas e do ambiente, etc.

- Objetivos legais

É um objetivo da manutenção assegurar que todos os equipamentos cumprem todas as normas e legislações vigentes, podendo ser estas de proteção, eletricidade, ruídos, emissões, entre muitos outros.

- Objetivos financeiros

Dado que os objetivos da manutenção têm de estar alinhados com os objetivos da empresa, e o objetivo da empresa, normalmente, é a geração de lucro, então pode-se afirmar que é fundamental a minimização do custo ao longo do ciclo de vida de um equipamento, por forma a maximizar os proveitos.

Tal como os objetivos, as funções da manutenção também estão dependentes da estratégia do negócio. No entanto, e de uma forma geral, pode-se agrupar estas responsabilidades em dois grupos distintos. As funções primárias, que requerem trabalho diário por parte das equipas de manutenção, e as funções secundárias, que requerem algum *know-how* e servem de apoio às funções primárias (Mobley, 2008).

Funções Primárias:

- Manutenção dos equipamentos da fábrica, instalação e desmantelamento;
- Manutenção dos edifícios e infraestruturas circundantes;
- Lubrificação e inspeção dos equipamentos;
- Geração e distribuição de utilidades;
- Alterações a edifícios e equipamentos;
- Realização de novas instalações.

Funções Secundárias:

- Gestão de armazéns;
- Proteção de fábricas e instalações;
- Gestão de resíduos;

- Gestão de equipamentos obsoletos e sucatas;
- Administração de incidentes e de participações ao seguro;
- Outros serviços, ex.: apoio a realização de eventos, cumprimento de requisitos legais e regulamentares, contratação e gestão de energia, etc.

2.1.4 Tipos de manutenção

A norma NP EN 13306:2017 (Norma NP EN 13306, 2017) diz que existem dois grandes tipos de manutenção, preventiva e corretiva. A Figura 2 ilustra a arborescência dos tipos de manutenção.

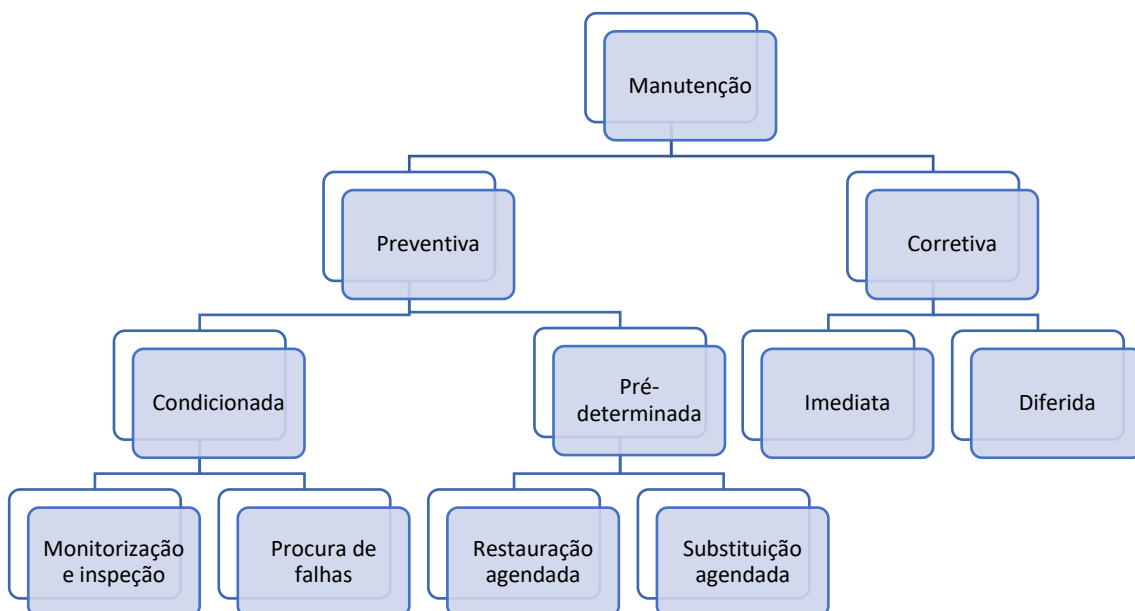


Figura 2 - Tipos de manutenção segundo a (Norma NP EN 13306:2017)

As ações de manutenção preventiva são executadas antes de um problema ser evidente, com o intuito de reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento do equipamento, enquanto que as ações de manutenção corretiva são efetuadas no sentido de resolver problemas específicos, identificados anteriormente de forma a colocar o equipamento a executar a função requerida ao mesmo (Márquez, 2012).

Este conceito não é universal, havendo autores que fazem referência a um terceiro tipo de manutenção. Tal como indica a Figura 3, Mobley (Mobley, 2008) refere que para além da manutenção preventiva e corretiva existe ainda a manutenção de avaria. A diferença entre estas ocorre no ponto onde a reparação é efetuada. Na manutenção de avaria, a reparação não ocorre até que a máquina pare de funcionar. A manutenção preventiva

é efetuada antes de ocorrer qualquer problema e a manutenção corretiva é efetuada quando ocorre algum problema específico identificado anteriormente.

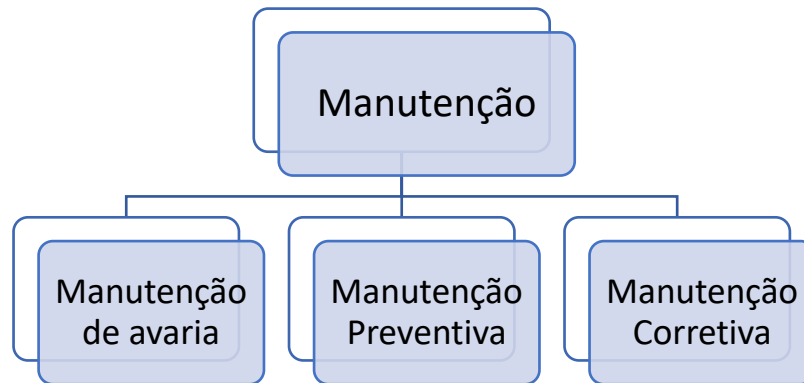


Figura 3 - Tipos de manutenção, segundo (Mobley, 2008)

Outros autores fazem uma abordagem ligeiramente diferente à de Mobley. Cabral, (Cabral, 2006) considera que há três grandes tipos de manutenção (Figura 4): a preventiva, a corretiva e a de melhoria.



Figura 4 - Tipos de manutenção, segundo (Cabral, 2006)

Este autor coloca a manutenção de melhoria como um tipo de manutenção, e define-a como “todas as modificações ou alterações destinadas a melhorar o desempenho do equipamento, ajustá-lo a novas condições de funcionamento, melhorar ou reabilitar as suas características operacionais” (Cabral, 2006).

Neste trabalho, vai ser dado um maior foco à manutenção preventiva e corretiva, e as respetivas ramificações que ambas possuem.

2.1.4.1 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva pode-se definir como todas as ações planeadas de manutenção de forma a aumentar o tempo de vida do equipamento e evitar qualquer tipo de manutenção não planeada (Wireman, 2015).

Na Tabela 2 estão explícitas várias definições de diferentes autores acerca de manutenção preventiva.

Tabela 2 - Diferentes definições do conceito de manutenção preventiva

Autor	Definição
(Wireman, 2015)	A manutenção preventiva pode-se definir como todas as ações planeadas de manutenção de forma a aumentar o tempo de vida do equipamento e evitar qualquer tipo de manutenção não planeada.
(Zhu <i>et al.</i> , 2021)	Manutenção preventiva é o conjunto de ações destinadas a melhorar a performance de um item, antes que uma falha ocorra.
(Cao, 2021)	A manutenção preventiva é proativa e geralmente contempla tarefas como ajustes, limpeza, lubrificação, reparação e substituição de elementos antes de ocorrer uma falha.

Os métodos de manutenção preventiva permitem a determinação e avaliação do estado corrente das infraestruturas, máquinas e componentes, bem como a sua preservação.

Estes métodos são os seguintes (Bertsche, 2008):

- Serviço: Métodos para a preservação do estado normal dos equipamentos, p.e. limpeza, recargas de lubrificação e meios de refrigeração, ajustes, calibrações, etc.;
- Inspeção: Métodos para a determinação e julgamento do estado corrente dos equipamentos, p.e. inspeção do desgaste, corrosão, fugas, conexões com folga, medições e análises periódicas, etc.;
- Revisão: Desmontagem de certos componentes, grupos de componentes ou elementos e, se necessário, a sua substituição.

Existem três subgrupos associados à manutenção preventiva: preventiva sistemática, condicionada e preditiva.

2.1.4.1.1 Preventiva sistemática

Este tipo de manutenção é realizado de acordo com intervalos fixos de tempo ou pelo número de unidades de uso (quilómetros percorridos, ciclos de utilização, horas de trabalho, etc.), sem investigação da condição do item (Márquez, 2012).

Quando executada de forma correta, estudos mostram que esta operação tem um custo de aproximadamente 15 €/kW por ano (Osarenren, 2015).

Esta abordagem traz vantagens quando efetuada em equipamentos que não trabalham de forma contínua e em que os técnicos tenham conhecimento, destreza e tempo para efetuar as ações de manutenção preventiva.

A desvantagem deste processo é que estas intervenções de manutenção fixas podem ser executadas demasiado cedo ou tarde.

Em muitos casos, peças em bom estado são desmontadas e substituídas por outras, sendo montadas de forma incorreta. Isto poderá provocar redução da produção, como consequência de manutenção desnecessária (Osarenren, 2015).

2.1.4.1.2 Preventiva condicionada

A manutenção preventiva condicionada ou CBM (*Condition Based Maintenance*) baseia-se na recolha de informações relativas à performance dos equipamentos, através de monitorizações, por forma a tomar decisões em tempo real sobre o seu estado e possível substituição (Zheng & Zhou, 2021).

Estas monitorizações podem ser realizadas de várias formas. Alguns exemplos são (Wireman, 2015):

- Análise de vibrações;
- Análise de óleo;
- Análise de infravermelhos;
- Ensaios não destrutivos de materiais.

Na Figura 5, pode-se verificar as diferentes monitorizações efetuadas em máquinas e o seu peso relativo de frequência.

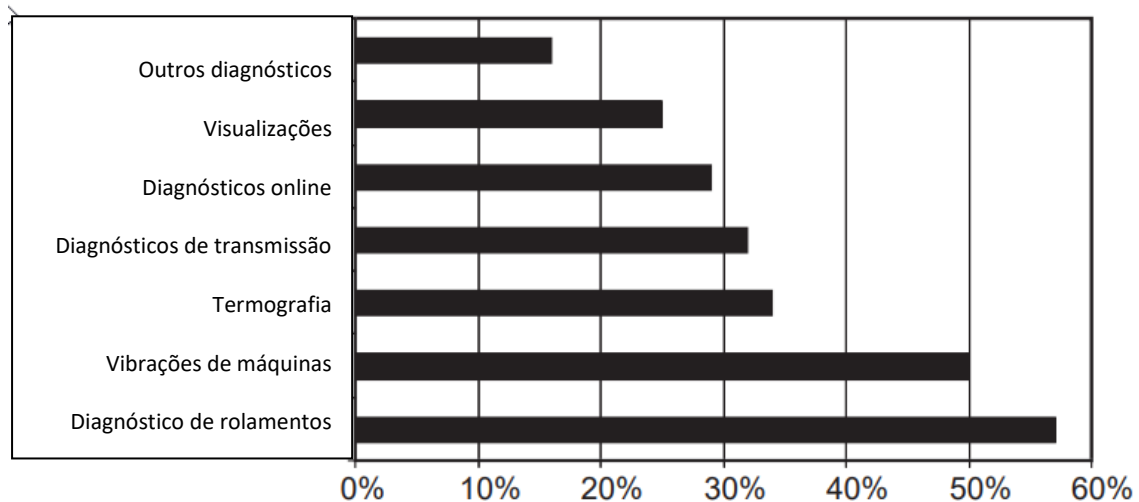


Figura 5 - Procedimentos usuais para monitorização de máquinas, (retirado de (Bertsche 2008))

Vários autores descrevem este tipo de manutenção como manutenção preditiva. Osarenren (Osarenren, 2015) é um desses autores, e afirma que quando efetuada de forma correta, estudos mostram que esta operação tem um custo de aproximadamente 10 € por kW por ano.

As reparações dos equipamentos podem, deste modo, ser agendadas antecipadamente, permitindo assim ter tempo para adquirir os materiais necessários para a reparação, reduzindo também a necessidade de ter elevados níveis de stock, quer em termos de tipo de peças como em quantidades. A principal desvantagem é que o trabalho de manutenção pode aumentar. Isto ocorre se os técnicos não conseguirem interpretar devidamente o nível de degradação do equipamento/componente. É necessário também a compra de equipamento adequado para se efetuar as monitorizações, bem como formação para os técnicos de manutenção, o que irá incorrer em custos adicionais para a organização (Osarenren, 2015).

2.1.4.2 *Manutenção Corretiva*

A principal diferença entre manutenção preventiva e corretiva é que um problema deve existir antes de serem tomadas ações corretivas. As ações preventivas servem para prevenir a ocorrência de um problema. As corretivas servem para corrigir esses mesmos problemas (Moblely, 2008).

A Tabela 3 mostra as diferentes definições do conceito de manutenção corretiva.

Tabela 3 - Diferentes definições do conceito de manutenção corretiva

Autor	Definição
(Mobley, 2008)	A principal diferença entre manutenção preventiva e corretiva é que um problema deve existir antes de serem tomadas ações corretivas. As ações preventivas servem para prevenir a ocorrência de um problema. As corretivas servem para corrigir esses mesmos problemas.
(Bertsche, 2008)	A manutenção corretiva é realizada quando ocorrem falhas parciais ou totais de equipamentos e/ou componentes.
(Zhang <i>et al.</i> , 2021)	A manutenção corretiva acontece quando ocorre uma falha inesperada. Esta atividade ajuda a restaurar as máquinas com avarias de forma a ficarem novamente operacionais.

Se na empresa existir apenas um nível de manutenção, a manutenção corretiva pode apresentar, de forma sequencial, os seguintes métodos (Bertsche, 2008):

1. Determinação da falha;
2. Notificação ao responsável da manutenção;
3. Técnicos da manutenção vão ao local da falha;
4. Preparação de ferramentas e unidades de teste e controlo;
5. Localização da falha ao nível do componente ou equipamento;
6. Desmontagem do componente defeituoso;
7. Preparação das peças de substituição necessárias;
8. Substituição do componente defeituoso;
9. Ajuste, calibração e teste do componente novo;
10. Montagem do componente novo;
11. Teste de funcionamento da fábrica completa.

Segundo Márquez, a manutenção corretiva pode ser imediata ou diferida (Márquez, 2012):

- Imediata: manutenção é efetuada logo após a avaria ter sido detetada, sem atrasos, e de forma a evitar consequências inaceitáveis;
- Diferida: não é efetuada logo após a avaria ter sido detetada, mas sim atrasada, de acordo com o plano de manutenção.

De uma forma resumida, pode-se dividir a terminologia da manutenção em quatro níveis diferentes. Conceitos, Estratégias, Atividades e Operações. Como ilustra a Figura 6 o nível mais elevado, o dos conceitos, é o que tem uma maior complexidade, sendo que esta decresce até atingir o nível mais baixo (Filz *et al.*, 2021).

Dentro dos Conceitos, temos o RCM e o RBM (*Risk Based Maintenance*), que por sua vez estão intimamente ligados com a estratégia de manutenção preventiva. As atividades desta estratégia são o serviço e a inspeção e as operações são a limpeza, a lubrificação, os ajustes, a verificação e a análise.

Por outro lado, o TPM está ligado à manutenção corretiva, que tem como atividade a reparação e que tem como operações a substituição e a restauração.

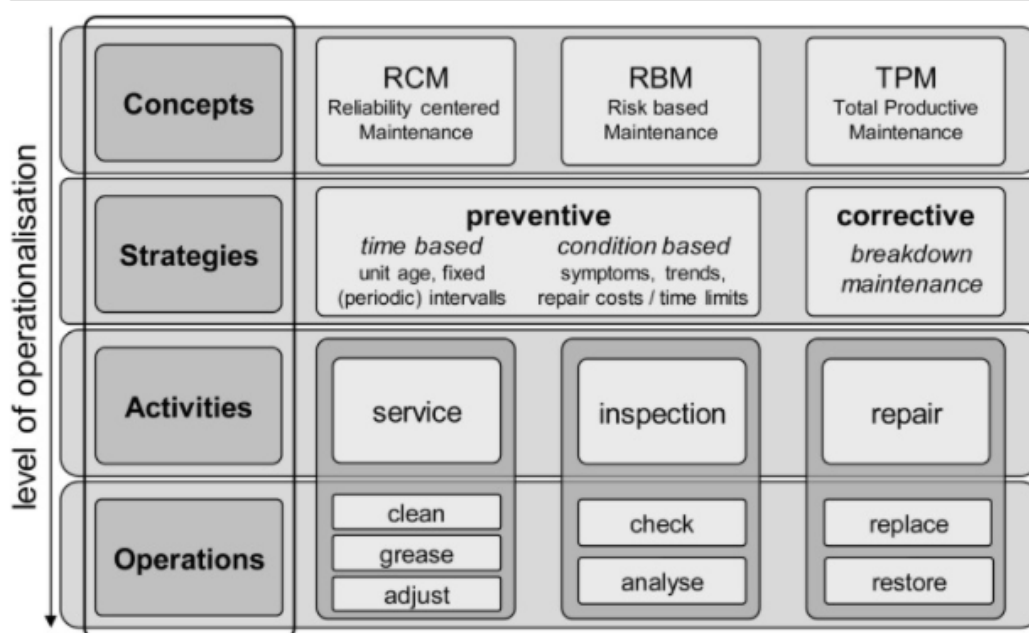


Figura 6 - Terminologia da manutenção, (retirado de (Filz *et al.*,2021))

2.1.5 Níveis de manutenção

Para a avaliação da manutibilidade de um equipamento, Martínez (Martínez et al., 2012) refere que são estabelecidos cinco níveis de manutenção baseados na complexidade da tarefa e dos recursos usados, humanos e técnicos.

Na Tabela 4 estão representados os níveis de manutenção, as suas ações e os responsáveis por cada nível.

Tabela 4 - Níveis de manutenção, segundo (Martínez et al., 2012)

Nível	Ações	Responsável
Nível I	Ações de manutenção simples executadas com o equipamento disponível (<i>uptime</i>). As atividades podem ser de caráter preventivo ou corretivo e não requerem indisponibilidade do equipamento (<i>downtime</i>). São exemplos deste nível os ajustes simples de uma máquina ou a substituição de um componente facilmente acessível, sem haver a necessidade de realizar qualquer tipo de montagem ou desmontagem do equipamento	Operador
Nível II	Ações de manutenção que requerem a substituição de componentes funcionais do equipamento. Estas ações são realizadas em <i>downtime</i> e podem ser preventivas ou corretivas	Operador ou Técnico
Nível III	Identificação e diagnóstico de avarias. Nestas ações, o técnico, após colocar o equipamento em <i>downtime</i> identifica, localiza e diagnostica as causas da falha	Técnico
Nível IV	Inspeções. Conjunto extenso de teste/ensaios e desmontagens do equipamento com o fim de manter o nível requerido de disponibilidade e de segurança realizado em intervalos de tempo ou ciclos de funcionamento estabelecidos	Técnico Especializado
Nível V	Atualização tecnológica, reconstrução ou revisão de um equipamento. Estas operações podem ser da responsabilidade dos serviços de manutenção da fábrica, ou do fornecedor. São executadas de forma a aumentar o ciclo de vida do equipamento original, podendo incluir modificações e/ou melhorias	Técnico Especializado ou Fabricantes

2.2 FMEA

2.2.1 Conceito e objetivos do FMEA

FMEA (em português Modos de Falha e Análise dos seus Efeitos) é uma técnica de Engenharia usada para definir, identificar e eliminar conhecidas e/ou potenciais falhas, problemas e erros de sistemas, projetos, processos e/ou serviços (Liu, 2016).

A Tabela 5 demonstra as diferentes definições da metodologia FMEA, consoante os diferentes autores.

Tabela 5 – Diferentes definições da metodologia FMEA

Autor	Definição
(Yang, 2007)	O FMEA é um processo crescente que consiste numa série de passos. Começa por identificar os modos de falha no nível mais baixo, (p.e. componente) e vai subindo de forma a identificar os efeitos no nível mais elevado (p.e. cliente). De um modo particular, esta ferramenta ajuda a identificar quais os modos potenciais de falha que podem resultar em efeitos mais severos, e que devem ser afastados do produto final, os que podem ser resolvidos com ações corretivas ou de mitigação e os que podem ser ignorados de forma segura
(Norma SAE J1739, 2021)	FMEA é uma metodologia analítica utilizada para assegurar que os problemas potenciais tenham sido considerados e abordados, ao longo de todo o processo de desenvolvimento de produtos e processos
(Liu, 2016)	FMEA é uma técnica de Engenharia usada para definir, identificar e eliminar conhecidas e/ou potenciais falhas, problemas e erros de sistemas, projetos, processos e/ou serviços
(Hodkiewicz <i>et al.</i> , 2021)	O processo FMEA consiste na identificação de riscos e no consequente processo de avaliação. É amplamente utilizado em sistemas de engenharia e gestão de ativos. A aplicação do FMEA é precedida por uma decomposição hierárquica dos sistemas do ativo em subsistemas funcionais
(Qin <i>et al.</i> , 2020)	O FMEA é usado para identificar e remover potenciais e reconhecidos riscos. Ao contrário de outras ferramentas para aferir o risco que encontram soluções após uma falha ocorrer, o FMEA tenta encontrar soluções antes da falha acontecer

Parte da avaliação é a estimativa de risco. O ponto importante é que seja realizada uma discussão em relação ao projeto (produto ou processo), à revisão das funções e de quaisquer alterações na aplicação, e aos consequentes riscos de falha potencial (Chrysler LLC *et al.*, 2008).

O principal objetivo de um FMEA é a melhoria contínua de um projeto. No entanto existem muitas outras finalidades para além desta, como por exemplo (Carlson, 2012):

- Identificar e prevenir perigos de segurança;
- Minimizar perdas ou degradações de performance de um produto;
- Melhoria de testes e planos de verificação;
- Melhoria dos Planos de Controlo de Processo;
- Considerar mudanças no projeto do produto ou nas características do processo;
- Desenvolver Planos de Manutenção Preventiva para máquinas e equipamentos;
- Desenvolver técnicas de diagnóstico online.

2.2.2 Contextualização histórica do FMEA

Os primeiros FMEA apareceram pela primeira vez em 1949 no Exército Militar Norte-Americano. O objetivo foi o de desenvolver uma técnica que reduzisse potenciais modos de falhas na produção de munições.

Em meados da década de sessenta, e após ter sido reconhecida a sua efetividade na redução de potenciais riscos no Exército Americano, a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) decidiu implementar esta metodologia, com o foco nos problemas de segurança das aeronaves (McDermott *et al.*, 2009).

Rapidamente os FMEA tornaram-se vitais para o sucesso da missão *Apollo* e das subsequentes missões da NASA. Desde então que esta ferramenta é amplamente utilizada na indústria da aviação civil de modo a verificar as condições de segurança dos aviões.

Na década de setenta, e após o sucesso obtido na NASA, a indústria automóvel decidiu adotar esta metodologia. Os pioneiros foram a *Ford Motor Company*, no seu modelo Ford Pinto. Quando ocorriam colisões traseiras nestes veículos, o tanque de combustível rompia, provocando incêndios que, nos casos mais graves, acabariam por causar a morte dos ocupantes dos veículos. Isto levou a que a Ford redesenhasse o tanque de combustível, evitando desta forma a perda de vidas humanas. Uma vez mais a eficácia dos FMEA ficou comprovada.

Foi então uma questão de tempo até que outros construtores nos Estados Unidos, Europa e Reino Unido seguissem o exemplo da Ford.

Em 1982 foi fundada a AIAG (*Automotive Industry Action Group*) que permitiu uniformizar ferramentas de melhoria de qualidade como os FMEA, SPC (*Statistical*

Process Control), MSA (*Measurement System Analysis*) entre outras (Qualitytrainingportal.com, n.d.).

Na Figura 7 pode-se observar a evolução cronológica dos FMEA.

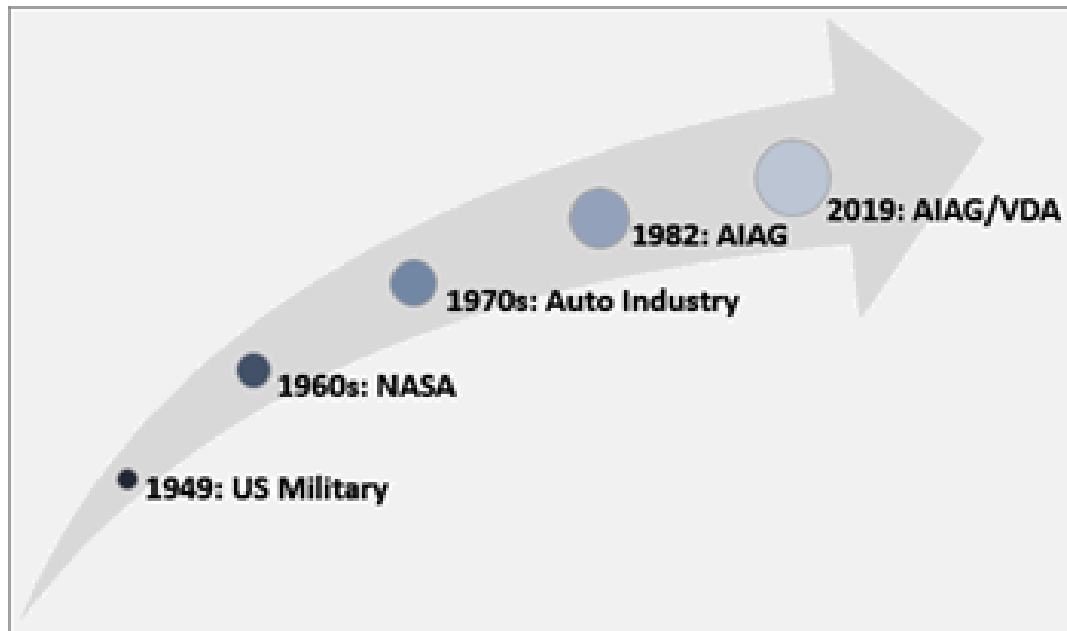


Figura 7 - Evolução cronológica dos FMEA, (retirado de (qualitytrainingportal.com))

Por fim em 2019 a AIAG e a VDA (*Verband der Automobilindustrie*) juntaram-se e lançaram um manual de harmonização da metodologia FMEA para a indústria automóvel (*Failure Mode and Effect Analysis – FMEA Handbook*).

De referir que este manual não define requisitos, foi elaborado no sentido de clarificar os passos, atividades e ferramentas relacionadas com o desenvolvimento técnico dos FMEA. Foram feitos esforços de forma a alinhar os manuais da AIAG e da VDA com a norma SAE J1739 (AIAG & VDA, 2019).

2.2.3 Tipos de FMEA

Existem vários tipos de FMEA, cada um relacionado com as causas de falha da indústria em questão. No entanto, fundamentalmente, eles são todos iguais, pois todos eles têm como funcionalidade a prevenção da ocorrência de falhas ou a minimização dos seus efeitos, caso estas aconteçam.

Assim sendo, devido à similaridade das várias análises, podemos categorizar os diferentes tipos de FMEA em:

- FMEA de Projeto;
- FMEA de Processo;
- FMEA de Sistema.

Apesar de ter sido referido que existem vários tipos de FMEA, apenas foram referidos três. Isto deve-se ao fato de todos os outros tipos se poderem enquadrar quer no FMEA de Projeto, quer no FMEA de Processo (Stamatis, 2019).

2.2.3.1 FMEA de Projeto

O FMEA de Projeto, também conhecido por DFMEA (*Design Failure Mode and Effects Analysis*) é uma técnica analítica utilizada, sobretudo, por equipas/engenheiros de projeto, por forma a assegurar que, na medida do possível, potenciais modos de falha e respetivas causas ou mecanismos de falha tenham sido consideradas e tratadas, antes do lançamento da peça para produção (AIAG & VDA, 2019).

O maior benefício deste tipo de FMEA é o de reduzir o risco de falha. Isto é conseguido identificando e tratando, numa fase inicial do projeto, os potenciais modos de falha, que podem ter efeitos adversos no meio ambiente, na segurança, ou que não estejam em concordância com as normas governamentais. No fundo serve como uma ferramenta de prevenção de erros (Yang, 2007).

O FMEA de projeto é uma ferramenta que facilita as seguintes ações (Stamatis, 2015):

- Planeamento preventivo;
- Mudança de requisitos;
- Redução de custos;
- Aumento de rendimento;
- Diminuição de desperdícios;
- Diminuição de custos relacionados com a garantia.

2.2.3.2 FMEA de Processo

Contrariamente ao FMEA de Projeto, que se foca na análise de falhas durante a fase de projeto, o FMEA de Processo ou PFMEA (*Process Failure Mode and Effects Analysis*) analisa o potencial de falhas do processo de fabrico da peça, da sua montagem e dos processos logísticos para produzir os produtos, conforme o projeto (AIAG & VDA, 2019).

O PMFEA tem como benefícios (Stamatis, 2019):

- Identificar potenciais modos de falha relacionados com o processo do produto;
- Descrever aos potenciais clientes os efeitos das falhas;
- Identificar potenciais causas de falha e variáveis do processo, podendo desta forma controlá-los ou monitorizá-los;

- Desenvolver uma lista de potenciais modos de falha, estabelecendo um sistema de prioridades de ações corretivas;
- Documentar os resultados do processo de fabrico ou de montagem;
- Identificar deficiências do processo.

2.2.3.3 FMEA de Sistema

O FMEA de Sistema, ou em inglês SFMEA (*System Failure Modes and Effects Analysis*) trata da análise de sistemas, subsistemas e na sua interação. O foco está nas funções ou relações que são únicas para o sistema como um todo. O FMEA de Sistema inclui modos de falha associados com interfaces e interações, e considera falhas únicas (onde a falha de um simples componente pode resultar na falha completa de um sistema inteiro) (Carlson, 2012).

Este tipo de FMEA deve ser realizado mal termine o projeto do sistema. Desta forma, é possível validar que o projeto do sistema minimiza o risco de falhas funcionais durante a operação. Quando executado corretamente, o FMEA de Sistema é economicamente muito eficiente pois quaisquer mudanças no projeto do sistema podem ser executadas a um custo bastante inferior que seriam nas etapas subsequentes (AIAG & VDA, 2019).

Os principais benefícios são os seguintes (Stamatis, 2015):

- Identificar o sucesso do potencial da engenharia, bem como viabilidade económica;
- Identificar a necessidade de sistemas redundantes no projeto;
- Identificar a potencial interação e efeitos adversos entre sistemas/subsistemas/componentes;
- Auxiliar a seleção de alternativas otimizadas para um dado projeto;
- Auxiliar a identificação o mais cedo possível de todos os potenciais efeitos de um dado sistema;
- Auxiliar a determinação de falhas catastróficas e/ou severas de um dado sistema/subsistema/componente.

Tal como referido anteriormente, existem muitos mais tipos de FMEA. Um deles é o RCM (Reliability-Centered Maintenance). Este é um processo analítico usado para determinar requisitos de intervenções de manutenção preventivas e identificar a necessidade de executar outras ações que podem ser necessárias, de forma a assegurar a segurança e o custo efetivo das operações de um sistema.

O foco do RCM é realizar FMEA a um ou vários equipamentos e de seguida criar ações de forma a assegurar que o equipamento é seguro e fiável na operação (Carlson, 2012).

Dado que esta dissertação vai ter como foco o RCM, este tema irá ser mais aprofundado no capítulo seguinte.

2.2.4 Etapas do FMEA

O procedimento do FMEA tem início aquando da seleção da uma ou mais máquinas que mereçam ser analisadas. A relação entre máquina e ambiente operacional deve ser claramente entendida, por forma a decidir quais os efeitos e razões de potenciais falhas. Após este passo inicial, tipicamente as etapas para a elaboração de um FMEA são as seguintes (Balaraju *et al.*, 2019):

1. Categorizar os subsistemas das máquinas selecionadas, baseado nos tipos de falhas;
2. Analisar a função da máquina e identificar os seus componentes;
3. Identificar as falhas funcionais de cada componente;
4. Desenvolver controlos que reconheçam e identifiquem modos de falha, efeitos de falha e consequências da falha;
5. Avaliar os perigos de cada modo de falha. Isto é feito através da determinação do índice RPN. Quanto maior for este índice, maior são os perigos de uma falha;
6. Elaboração de um relatório FMEA.

Na Figura 8 está representado um fluxograma com as etapas a ter em consideração para se elaborar uma análise FMEA.

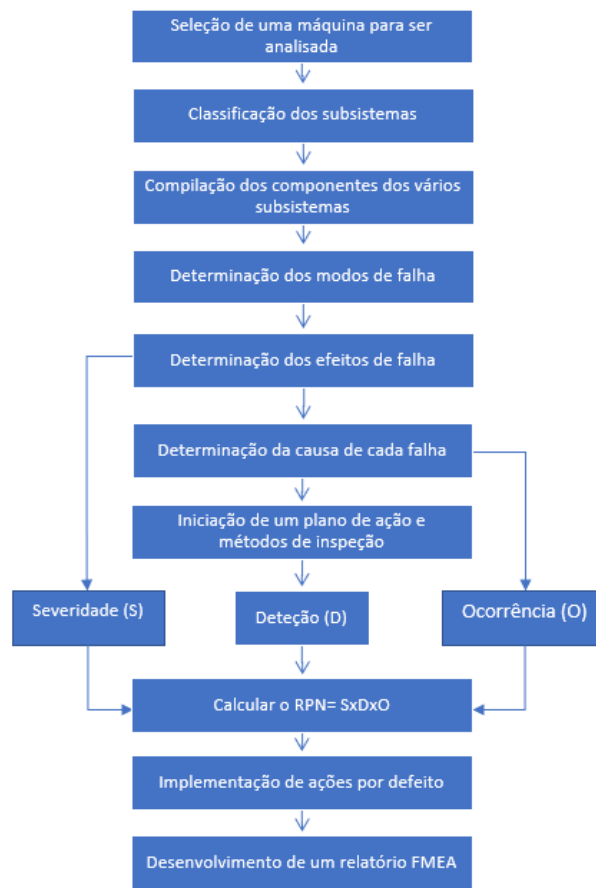


Figura 8 - Fluxograma com os procedimentos sequenciais de uma análise FMEA, (adaptado de (Balaraju *et al.*, 2019))

2.2.5 Risk Priority Number (RPN)

De forma a medir o grau de risco dos modos de falha, o FMEA define uma métrica denominada *Risk Priority Number* (RPN) que resulta do produto entre os índices de ocorrência (O), deteção (D) e severidade (S). Estes índices normalmente seguem uma escala de 1 a 10 (sendo 1 o melhor e 10 o pior dos casos). Um valor elevado de RPN implica um nível elevado de risco e como tal, um foco no correspondente modo de falha (Jianxing *et al.*, 2021).

Assim, o RPN resulta de:

$$RPN = O * D * S \quad (1)$$

Onde,

O – Índice de ocorrência

D – Índice de detecção

S – Índice de severidade

Os critérios de avaliação dos índices acima descritos são bastante subjetivos e variam consoante as diferentes aplicações. A Tabela 6, Tabela 7 e Tabela 8 demonstram um exemplo e uma base daquilo que podem ser considerados critérios de avaliação dos diferentes índices (Chin *et al.*, 2007):

Tabela 6 - Critério de avaliação da frequência da ocorrência, (adaptado de (Chin *et al.*, 2007))

Índice	Ocorrência	Significado
9-10	Muito elevada	Falha é quase inevitável
7-8	Elevada	Falhas repetitivas
4-6	Moderada	Falhas ocasionais
3	Baixa	Poucas falhas
2	Muito baixa	Relativamente poucas falhas
1	Remota	Falha é improvável

Tabela 7 - Critério de avaliação da detetabilidade, (adaptado de (Chin *et al.*, 2007))

Índice	Detetabilidade	Significado
10	Nenhuma	Sistema de controlo não vai ou não consegue detetar possível modo de falha e subsequente falha funcional
8-9	Rara	Rara chance de o sistema de controlo detetar possível modo de falha e subsequente falha funcional
6-7	Baixa	Baixa chance de o sistema de controlo detetar possível modo de falha e subsequente falha funcional

5	Média	Média chance de o sistema de controlo detetar possível modo de falha e subsequente falha funcional
4	Moderada	Moderada chance de o sistema de controlo detetar possível modo de falha e subsequente falha funcional
3	Alta	Alta chance de o sistema de controlo detetar possível modo de falha e subsequente falha funcional
2	Muita alta	Muito alta chance de o sistema de controlo detetar possível modo de falha e subsequente falha funcional
1	Certa	Sistema de controlo vai de certeza detetar possível modo de falha e subsequente falha funcional

Tabela 8 - Critério de avaliação da severidade, (adaptado de (Chin *et al.*, 2007))

Índice	Efeito da severidade	Significado
9-10	Perigosa	Efeitos perigosos, colocando em causa a segurança dos operadores, e/ou causando danos ao meio ambiente
8	Muito alta	Efeitos muito altos, paragem do equipamento e do processo produtivo
7	Alta	Efeitos altos, paragem do equipamento
5-6	Moderada	Efeitos moderados, possível paragem do equipamento
4	Baixa	Efeitos baixos, perda de performance
3	Muito baixa	Efeitos muito baixos, possível perda de performance
2	Menor	Efeitos mínimos
1	Nenhuma	Sem efeitos

2.2.6 Vantagens e desvantagens do FMEA

Uma das grandes vantagens deste método é a sua versatilidade, pois este tem inúmeras aplicações. Apesar de ser uma ferramenta da qualidade, pode ser aplicada na indústria, organizações de administração pública ou privada, organizações culturais, desportivas, etc. (Kardos *et al.*, 2021).

As restantes vantagens já foram apresentadas nos capítulos anteriores deste trabalho e vão desde a avaliação do risco de falha potencial, até à implementação de medidas que reduzam esse mesmo risco potencial.

Por outro lado, o índice RPN apresenta uma limitação relevante pois falha em indicar ações corretivas em situações onde o desempenho de dois parâmetros estão em polos opostos. Por exemplo, uma falha com baixa probabilidade de ocorrência, baixa deteção e uma severidade muito elevada, resulta num índice RPN baixo, quando comparado com uma falha alternativa em que estes três parâmetros tenham classificações moderadas (Ribas *et al.*, 2021).

Outra das desvantagens frequentemente apontada aos FMEA é que muitas vezes pode ser difícil encontrar e avaliar potenciais riscos e causas raiz, e definir escalas de prioridade. Para além disso o FMEA é baseado numa abordagem subjetiva para estabelecer a importância dos parâmetros analisados (Subriadi & Najwa, 2021).

2.3 RCM

2.3.1 Conceito e introdução ao RCM

A norma SAE JA1012 que regulamenta os critérios de avaliação para processos de RCM define-o como um “processo específico usado para identificar as políticas que devem ser implementadas de forma a gerir os modos de falha que podem causar uma falha funcional de um ativo físico num determinado contexto” (*Norma SAE JA1012, 2011*).

A Tabela 9 mostra diferentes definições da metodologia RCM.

Tabela 9 - Diferentes definições da metodologia RCM

Autor	Definição
(<i>Norma SAE JA1012, 2011</i>)	Processo específico usado para identificar as políticas que devem ser implementadas de forma a gerir os modos de falha que podem causar uma falha funcional de um ativo físico num determinado contexto.
(Márquez, 2012)	O RCM não é uma fórmula matemática. Deve sim servir como um guia para identificar frequências de atividades de manutenção, nos elementos mais importantes do contexto operativo. O seu sucesso é baseado na análise funcional de uma equipa, dentro de um determinado contexto operativo.
(Enjavimadar & Rastegar, 2021)	RCM é uma técnica que tenta implementar a manutenção de uma forma económica, por forma a restaurar e preservar a capacidade operacional dos equipamentos e componentes. De facto, o RCM com o foco na gestão de ativos e na redução de custos traz benefícios tanto para a manutenção preventiva como corretiva.
(Jaramillo <i>et al.</i> , 2020)	RCM é um conceito que pode ser descrito como uma mistura de manutenção preventiva, corretiva e preditiva. É baseado num processo sistemático de forma a determinar ações de manutenção para um sistema manter a sua fiabilidade, sendo um dos seus objetivos encontrar as causas raiz das falhas.
(Zakikhani <i>et al.</i> , 2020)	RCM é uma metodologia na área da manutenção que providencia duas informações muito importantes: a criticidade de um equipamento e a operação de manutenção mais apropriada a aplicar.
(Pinto <i>et al.</i> , 2021)	RCM é uma metodologia baseada nos modos de falha de um equipamento e da severidade das suas consequências.

Fundamentalmente, o processo do RCM implica colocar sete questões sobre a ativo ou o sistema em análise (Campbell & Reyes-Picknell, 2016):

1. Quais são as funções e padrões de desempenho de um ativo no seu contexto presente de operação (funções)?
2. De que forma ele falha em cumprir as suas funções (falha funcional)?
3. O que causa cada falha funcional (modos de falha)?
4. O que acontece quando ocorre cada falha (efeitos de falha)?
5. De que forma cada falha importa (consequências da falha)?
6. O que pode ser feito para prever ou prevenir cada falha (tarefas proativas e intervalos da tarefa)?
7. O que deve ser feito se não for encontrada uma tarefa proativa apropriada (ações por defeito)?

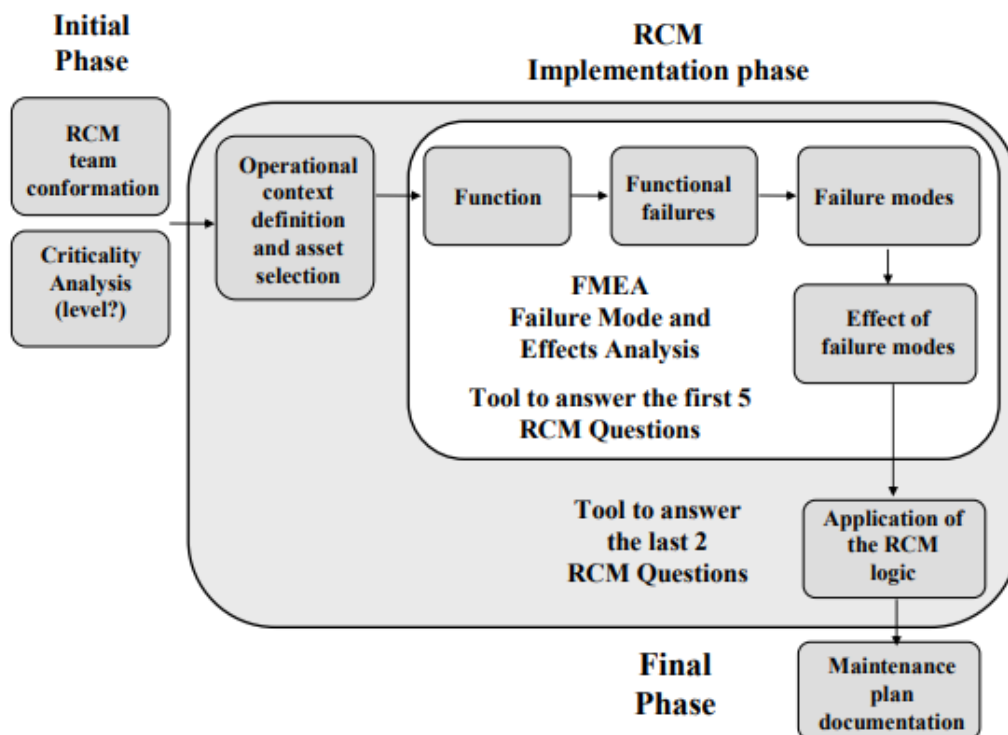


Figura 9 - Processo de implementação do RCM, (retirado de (Márquez, 2012))

Como se pode verificar na Figura 9, as cinco primeiras perguntas do processo RCM podem ser respondidas através de uma análise FMEA, enquanto as duas últimas são respondidas através da aplicação da lógica RCM.

Todas estas questões serão abordadas e aprofundadas a partir do subcapítulo 2.3.4.

2.3.2 Contextualização histórica do RCM

O RCM não é propriamente uma metodologia recente. Em meados dos anos sessenta já havia um predecessor do RCM de nome MSG (*Airline Maintenance Steering Group*).

Em 1964 os projetos de fuselagem do Boeing 747 foram apresentados. Fabricada nos Estados Unidos, a versão original do 747 tinha duas vezes e meia mais capacidade de passageiros que o Boeing 707, um dos grandes aviões comerciais dos anos sessenta.

Em 1968 foi criado o MSG, que era composto por membros da FAA (*Federal Aviation Agency*) juntamente com representantes das companhias aéreas. O resultado do MSG-1 foi o relatório ATA MSG-1, após uma revisão serviu como base para obter a certificação da FAA (Teles, 2019).

No entanto, em 1978, *Stanley Nowlan & Howard Heap* da empresa *United Airlines* apresentaram aquele que seria considerado o primeiro manual de RCM, aplicado na indústria da aviação comercial. A manutenção preventiva e a fiabilidade que ainda hoje estão presentes nesta indústria, são baseados neste manual, sendo, portanto, *Nowlan e Heap* considerados os “pais” do RCM (Bloom, 2006).

O objetivo do referido manual foi o de “explicar conceitos básicos, princípios, definições e aplicações de uma disciplina lógica, com vista ao desenvolvimento de um planeamento de manutenção preventiva eficiente de equipamentos complexos, e para a gestão do dia-a-dia destes mesmos planos de manutenção.

Isto tudo tem o nome de Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM) pois está focado em atingir um custo mínimo de manutenção, nunca descurando a segurança do equipamento e a sua fiabilidade” (Nowlan & Heap, 1978).

Em 1999 um comité suíço denominado IEC (*International Electrotechnical Commission*) elaborou a primeira norma referente ao tema do RCM.

A IEC 60300-3-11:1999: fornecia diretrizes para o desenvolvimento de políticas de gerenciamento de falhas para equipamentos e estruturas usando técnicas de análise de manutenção centrada na fiabilidade. Esta norma foi revista e atualizada em 2009 com a IEC 60300-3-11:2009.

Em 2002 foi promulgada a norma SAE JA 1012, que trata principalmente de padrões de falhas ligadas ao mercado automóvel servindo, no entanto, como uma referência normativa para outros setores. Esta norma foi revista e atualizada em 2011 (Teles, 2019).

Na Figura 10 está apresentado um pequeno resumo da evolução histórica do RCM.

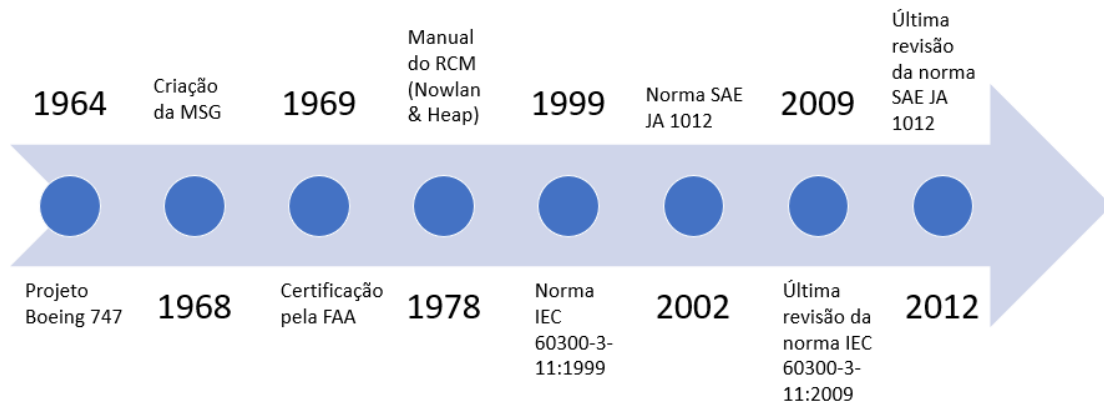


Figura 10 - Linha cronológica da Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM)

2.3.3 Padrões de Falhas

A curva da banheira é um modelo geral de fiabilidade que representa a taxa de falhas em peças ou equipamentos em função do tempo. Esta curva é muitas vezes mal interpretada, pois ela deve ser vista como um conceito e não como uma taxa de falhas literal.

Na Figura 11 observam-se dois exemplos de curvas da banheira, com a distinção entre três períodos: mortalidade infantil, vida útil e desgaste (Denson, 2006).

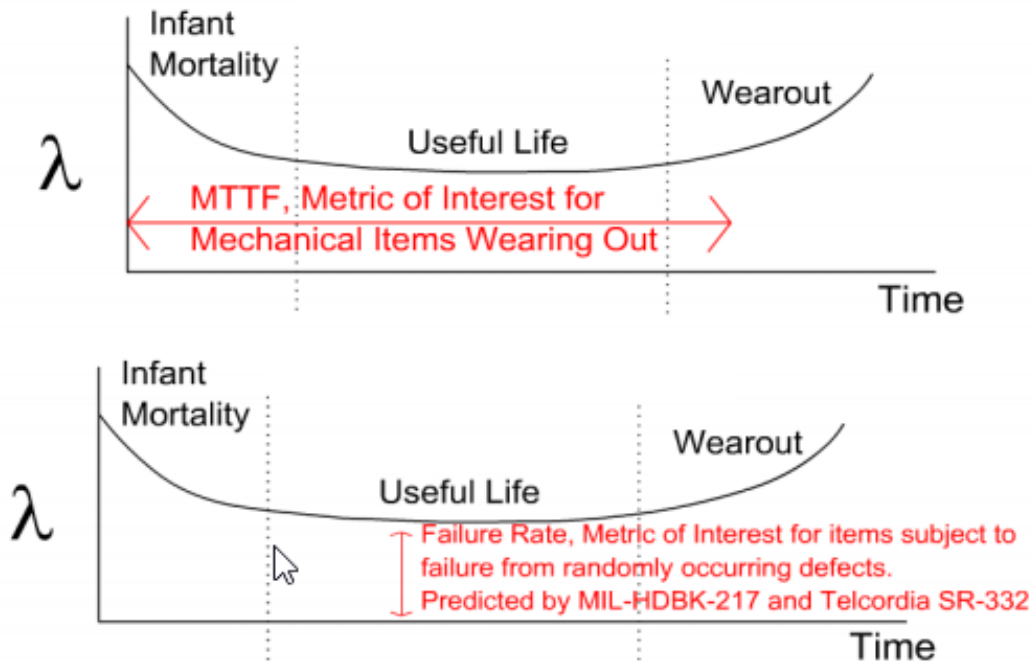


Figura 11 - Curvas da banheira, (retirado de (Denson, 2006))

Mortalidade Infantil: Na primeira porção da curva da banheira a taxa de falha é relativamente alta pois existem muitas peças que têm defeitos de fabrico. A curva da taxa de falhas nesta fase é decrescente, sendo o declive da curva dependente da qualidade do projeto e do processo de fabrico.

Vida Útil: A segunda porção da curva da banheira é conhecida como vida útil e é caracterizada por uma taxa de falha relativamente constante, causada por falhas aleatórias. De referir que a taxa de falha apenas está relacionada com a altura da curva e não com a extensão da mesma, que é uma representação da vida do sistema.

Desgaste: A última porção da curva-se diz respeito ao desgaste do sistema. Aqui é quando o componente se deteriora a um nível que ou está a aproximar-se, ou já atingiu o seu fim de vida útil. Isto é muito visível, não só em peças mecânicas como em qualquer outra peça que apresente comportamentos de desgaste.

Na Figura 12 observam-se vários tipos de comportamentos de falha. Estas podem ser divididas entre falhas de desgaste (A, B e C) e falhas aleatórias (D, E e F).

Na falha “A” está presente uma curva da banheira típica, com as três secções anteriormente referidas bem visíveis. Na falha “B” não são visíveis sinais de mortalidade infantil. A probabilidade de falha mantém-se constante até que ocorra desgaste. Este comportamento é bastante recorrente em peças simples ou máquinas complexas mal projetadas. A falha “C” é caracterizada por a probabilidade de falha estar continuamente a aumentar. Falhas de desgaste não são perceptíveis. Como exemplos deste comportamento são a carroceria de um carro e os pneus dos automóveis.

Um sistema com o comportamento de falha “D” tem baixa probabilidade de falha no início de operação, seguido de um forte aumento de falha até atingir um nível constante. Bastante típico em válvulas de alta pressão. Um mecanismo de acordo com a falha “E” tem uma probabilidade de falha constante ao longo do período inteiro de utilização (falha aleatória). O comportamento de falha “F” é caracterizado por uma alta taxa de falha na primeira secção sendo que depois decresce para um valor constante durante o resto do seu ciclo de vida útil. Esta falha é bastante comum em equipamentos eletrónicos (Bertsche, 2008).

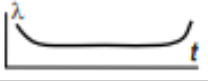


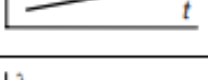


	Failure behaviour	General characteristics	Typical examples
wearout failures	A 	<ul style="list-style-type: none"> • abnormal curve 	<ul style="list-style-type: none"> • old steam engine (late 18th to early 19th century)
	B 	<ul style="list-style-type: none"> • simple devices • complex machines with bad design (one single dominating type of failure) 	<ul style="list-style-type: none"> • car water pump • shoelace • 1974 Vega engine
	C 	<ul style="list-style-type: none"> • structures • wearout element 	<ul style="list-style-type: none"> • car bodies • airplane and automobile tires
random failures	D 	<ul style="list-style-type: none"> • complex machines with high-stress trials after start of operation 	<ul style="list-style-type: none"> • high pressure relief valves
	E 	<ul style="list-style-type: none"> • well designed complex machines 	<ul style="list-style-type: none"> • gyro compass • multiple sealing high pressure centrifugal pump
	F 	<ul style="list-style-type: none"> • electronic components • complex components after corrective maintenance 	<ul style="list-style-type: none"> • computer "mother boards" • programmable controls

Figura 12 - Vários padrões de falhas com exemplos, (retirado de (Bertsche, 2008))

Para cada uma das diferentes secções da curva da banheira, existem ações que podem ser tomadas de forma a aumentar a fiabilidade do componente e, desta forma, aumentar o tempo de vida útil do item. A Figura 13 ilustra essas ações. Para a mortalidade infantil, testes práticos e séries piloto são recomendadas. Na secção da vida útil, a correta operação e manutenção devem ser consideradas e estabelecidas, de forma a estender o máximo possível esta secção. As ações da secção de desgaste requerem cálculos muito precisos e testes práticos.

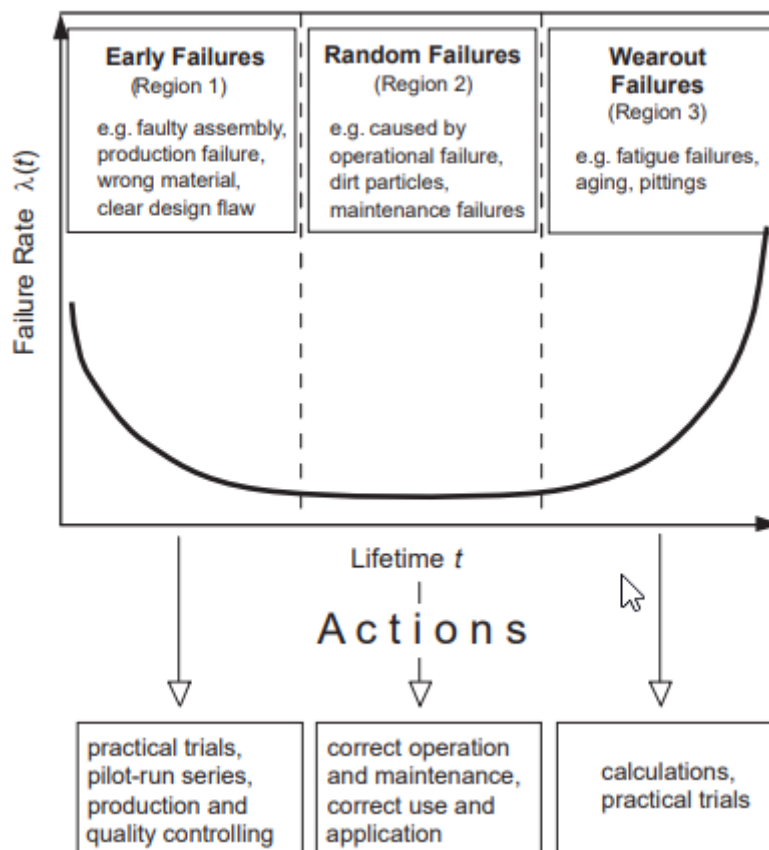


Figura 13 - Ações para aumentar a fiabilidade nas diferentes secções da curva da banheira, (retirado de (Bertsche, 2008))

2.3.4 Funções

Tal como foi referido no subcapítulo 2.3.1, o RCM procura responder a sete questões. Neste subcapítulo será abordada a primeira questão: Quais são as funções e padrões de desempenho de um ativo no seu contexto presente de operação (funções)?

Segundo Moubray (Moubray, 1997) a definição de uma função deve consistir de um verbo, um objeto e o padrão de desempenho desejado. Por exemplo, a função primária de uma bomba é a de bombear água do tanque X para o tanque Y a não menos que oitocentos litros por segundo.

As funções devem então seguir os seguintes critérios:

- Definir o contexto operativo;
- Identificar todas as funções do ativo (sejam elas primárias, secundárias ou de proteção;
- Conter um verbo, um objeto e um padrão de desempenho desejado.

O mesmo equipamento com funções diferentes pode apresentar modos de falha também diferentes, daí a importância na definição da função (Mobley, 2008).

2.3.5 Falhas Funcionais

Uma falha funcional é encontrada quando um sistema falha em executar a sua função, e isto acontece quando a carga a que o sistema está sujeito excede a sua capacidade (Cepin & Bris, 2017).

As falhas funcionais podem ser totais ou parciais. Isto significa que um ativo pode não estar habilitado a executar uma função particular, ou que vai executar essa função a um nível inferior ao desejado (Sifonte & Reyes-Picknell, 2017).

A Figura 14 representa um ciclo de vida de um sistema, desde os requisitos de projeto (*Minimum Required Performance + Design Safety Margin*) passando pela degradação, até à falha funcional e subsequente restauração.

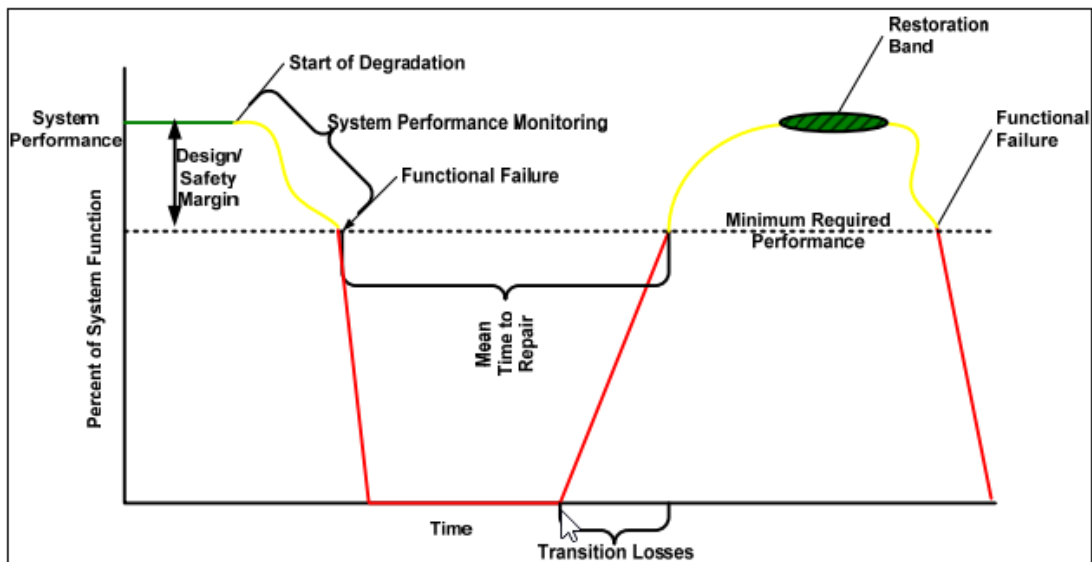


Figura 14 - Curva de performance de um sistema, (retirado de (NASA, 2008))

Como se pode verificar, a falha ocorre quando a performance do sistema está abaixo do ponto de Performance Mínima Requerida (*Minimum Required Performance*). O papel da manutenção é o de reconhecer a margem até à falha, estimar o tempo até a essa mesma falha, e planear as reparações por forma a minimizar o MTTR (*Mean Time to Repair*) e o *downtime* associado. Desta forma, consegue-se atingir o máximo OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) dentro dos constrangimentos orçamentais (NASA, 2008).

A curva PF (*Potential Failure*) é uma ferramenta analítica essencial para um plano de manutenção que seja baseado em fiabilidade e que siga os padrões do RCM.

No eixo horizontal da Figura 15, está representado o tempo de operação do equipamento ou componente. O eixo vertical representa o desempenho ou

performance do mesmo equipamento/componente. O objetivo passa por determinar o exato momento em que a ação de manutenção pode ser realizada e identificar as ações mais apropriadas para a resolução dessa mesma falha. A curva PF representa então a evolução da performance de um ativo desde o momento em que é identificada uma falha potencial (P) até ao momento em que a falha funcional (F) ocorre (Teixeira *et al.*, 2020).



Figura 15 - Curva PF, (retirado de (Teles, 2019))

Assim, o tempo disponível para realizar uma ação de manutenção está limitada ao intervalo PF. No entanto deve ser considerado que a evolução do modo de falha é influenciada por mudanças na operação, ações de manutenção ou por ocorrência de outros modos de falha (Sikorska *et al.*, 2011).

Torna-se então importante definir o conceito de Falha Potencial, para que se consiga distinguir claramente da Falha Funcional. Assim, falha potencial é o momento em que a falha nasce no equipamento e falha funcional é quando uma falha de um sistema a torna incapaz de atender a um padrão de desempenho (Teles, 2019).

2.3.6 Modos de Falha

O que causa cada falha funcional (modos de falha)? Esta é a terceira pergunta que o RCM procura responder. Na metodologia do RCM, modo de falha diz respeito ao evento que causa a falha funcional. Assim, os critérios para identificar os modos de falha são os seguintes (Mobley, 2008):

- Todos os modos de falha, razoavelmente prováveis, que podem causar uma falha funcional devem ser identificados;
- O método usado para decidir o que constitui um modo de falha, razoavelmente provável, deve ser aceite pelo dono ou utilizador do ativo;

- Os modos de falha devem ser identificados de forma que se torne possível identificar políticas apropriadas de gestão de falhas;
- A listagem dos modos de falha deve incluir modos de falha que aconteceram anteriormente, modos de falha que estão a ser prevenidos atualmente por programas de manutenção e modos de falha que ainda não existiram, mas que são razoavelmente prováveis de acontecer no contexto operativo;
- A listagem dos modos de falha deve incluir qualquer evento ou processo provável de causar uma falha funcional, incluindo deterioração, erro humano causado por operadores ou em operações de manutenção e defeitos de fabrico/projeto.

Os modos de falha assumem tipicamente os seguintes exemplos (Teles, 2019):

- Porosidade;
- Sujidade;
- Fissura;
- Dano;
- Deformação;
- Partido;
- Travado;
- Saída defeituosa;
- Folga;
- Desgaste.

2.3.7 Efeitos de Falha

Após definir a função do ativo, como o mesmo falha e o que causou exatamente essa falha, torna-se importante definir os efeitos de falha.

Efeito de falha quantifica o dano que cada particular evento de falha pode causar ou organização. É normalmente descrito como “o que acontece quando o modo de falha ocorre” (Sifonte & Reyes-Picknell, 2017).

Os critérios para identificar os efeitos de falha são os seguintes (Mobley, 2008):

- Efeitos de falha devem descrever o que aconteceria se nenhuma tarefa específica fosse feita de forma a antecipar, prevenir ou detetar a falha;
- Efeitos de falha incluem toda a informação necessária de forma a suportar a avaliação das consequências de falha, tais como:
 - Qual a evidência (se existir) que a falha ocorreu?
 - Qual o potencial impacto que a falha apresenta para a segurança das pessoas?
 - Qual o potencial impacto que a falha apresenta para o meio ambiente?
 - De que forma a produção ou as operações são afetadas?
 - Existe algum dano físico causado pela falha?
 - Existe algo que possa restaurar a função do sistema após a falha?

É muito importante fazer a distinção entre sintoma de falha e efeito de falha, para que estas não se confundam. Sintoma de falha é um surgimento aparente, indicando que uma falha potencial existe. Uma vez que aconteça a falha funcional, seja qual for o indício da sua presença não será mais um sintoma, mas sim um efeito de falha.

O efeito de falha por sua vez é a descrição do que o “cliente” sofre, partindo do pressuposto que a falha já ocorreu (Teles, 2019).

2.3.8 Consequências da Falha

Quando uma falha ocorre, o resultado depende das possibilidades das tarefas de manutenção corretiva e, portanto, as consequências da falha podem ser diferentes consoante a organização a que os ativos pertençam (Eriksen *et al.*, 2021).

As consequências da falha podem ser classificadas em quatro grupos distintos (Nowlan & Heap, 1978):

- Consequências ao nível da segurança, que envolvem possível perda do equipamento e dos seus ocupantes/utilizadores;
- Consequências operacionais, que envolvem uma perda económica indireta bem como o custo direto de reparação;
- Consequências não operacionais, que envolvem apenas o custo direto de reparação;

- Consequências de falhas ocultas, que não têm um impacto direto, mas aumentam a probabilidade de falhas múltiplas.

Mobley (Mobley, 2008), mais recentemente, faz também referência às consequências ambientais e agrupa estas na categoria das consequências ao nível da segurança.

Este autor refere também que o julgamento das consequências da falha deve ser efetuado como se nenhuma tarefa específica estiver a ser realizada de forma a antecipar, prevenir ou detetar a falha (Mobley, 2008).

Apenas uma destas quatro categorias deve ser escolhida, e deve ser a que for mais severa para o processo produtivo. Falhas evidentes e ocultas devem ser claramente separadas e distinguidas. O mesmo acontece com falhas ao nível da segurança e do meio ambiente com as falhas com impacto económico (operacionais e não operacionais) (Sifonte & Reyes-Picknell, 2017).

2.3.9 Tarefas Proativas e Ações por Defeito

O que pode ser feito para prever ou prevenir cada falha (tarefas proativas e intervalos da tarefa)? Este é um tópico complexo pois existem inúmeras tarefas que podem ser realizadas e que irão depender da estratégia de manutenção que cada organização pretenda implementar. A Figura 16 mostra as diferentes estratégias de manutenção, com todas as suas ramificações (Gabbar *et al.*, 2003).

Por outro lado, o que deve ser feito se não for encontrada uma tarefa proativa apropriada (ações por defeito)? Mobley (Mobley, 2008) refere que há duas decisões possíveis: a de deixar o componente operar até atingir a falha (*run to failure*) ou a de mudar algo no seu contexto operativo (projeto ou modo de operação).

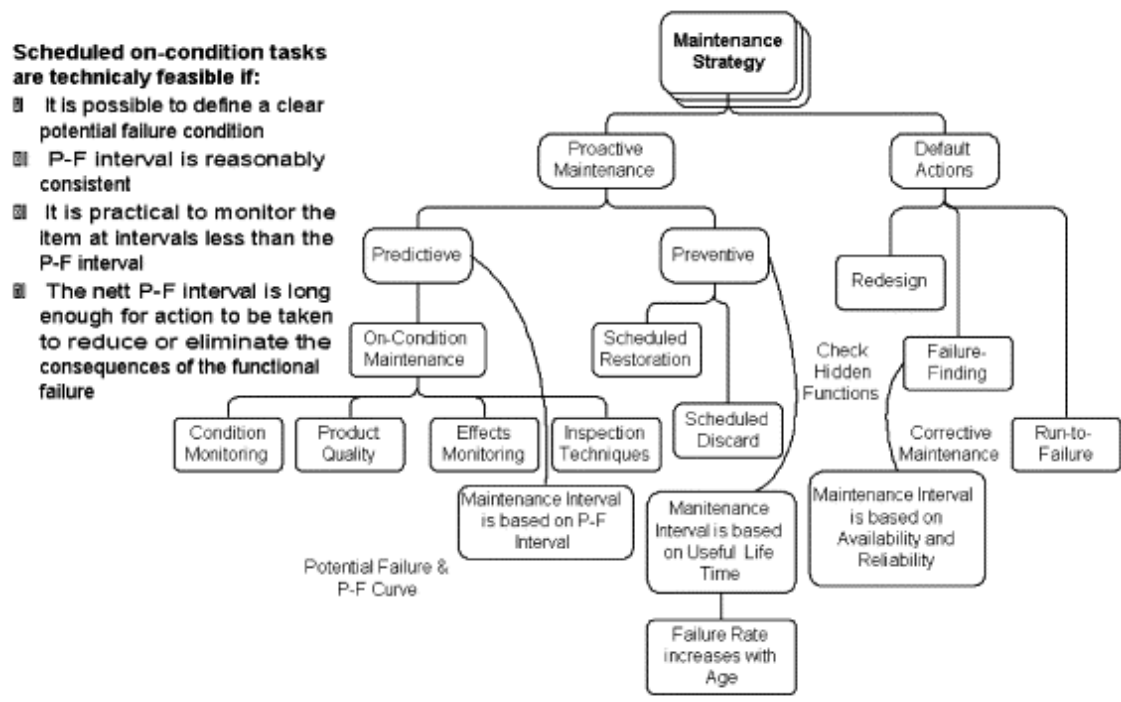


Figura 16 - Diferentes estratégias de manutenção, (retirado de (Gabbar, *et al.*, 2003))

DESENVOLVIMENTO

- 3.1 Caso de estudo na Silos de Leixões
- 3.2 Caracterização do problema
- 3.3 Descrição das máquinas a analisar
 - 3.4 Análise FMEA
 - 3.5 Resultados da análise FMEA
- 3.6 Propostas de melhoria decorrentes da análise FMEA

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Caso de estudo na Silos de Leixões

3.1.1 Apresentação da Silos de Leixões

Esta dissertação teve lugar na Silos de Leixões, Unipessoal Lda., uma sociedade comercial detida a 100% pelo Grupo Manuel Champalimaud, que celebrou em 5 de janeiro de 2007 um contrato de concessão com o governo português por um período de vinte e cinco anos. A concessão tem por objeto a exploração, em regime de serviço público, da receção, movimentação, armazenagem, expedição e transporte de matérias-primas alimentares e produtos conexos. Localizada na margem norte do rio Leça em Leça da Palmeira, é a maior unidade de armazenagem de produtos agroalimentares a granel no norte do país, com uma área de concessão de cerca de 25.000 m². É um dos maiores *players* nacionais em movimentação e armazenagem de agroalimentares, fazendo movimentação de cerca de 800 000 tons/ano. Esta empresa recebe mercadorias provenientes de mais de vinte e cinco regiões situadas na Europa, Mar Negro, África, América do Norte e Sul.

Na Figura 17 pode-se observar as instalações da Silos de Leixões.



Figura 17 - Silos de Leixões, em Leça da Palmeira

A Silos de Leixões tem serviços de movimentação e armazenagem e tem uma capacidade máxima de 120 000 toneladas em silos verticais e armazéns horizontais mecanizados. É de notar que todos estes locais de armazenamento estão adaptados a todos os tipos de granéis, farinhas ou *pellets*. Estes possuem equipamentos para efetuar a circulação simples de grãos à tara ou homogeneização de lotes, desinfestação de produtos de acordo com as normas de segurança alimentar (Sistema de HACCP), arejamento e recirculação de produtos. Com o objetivo de melhorar continuamente os seus serviços e satisfazer os requisitos dos seus clientes, em 2009, a SdL (Silos de Leixões) implementou um Sistema de HACCP (*Hazard Analysis and Critical Control Point*). A aplicação desta norma promove a sistematização e registo das boas práticas na movimentação e armazenagem dos granéis agroalimentares, assim como das boas condições de operação das instalações. Na Tabela 10 encontra-se uma tabela que resume a Silos de Leixões.

Tabela 10 - Resumo da Silos de Leixões

Ano de Inauguração	1978
Localização	Leça da Palmeira, Matosinhos
Nº Funcionários	22
Capacidade Armazenamento	120 000 toneladas
Capacidade Movimentação	1 000 000 toneladas/ano
Capacidade Receção	1 000 toneladas/hora
Faturação	7 000 000 €
Produtos	Granéis agroalimentares em Grão, Farinha, Sementes e <i>Pellets</i>

3.1.2 Processo Operativo da Silos de Leixões

Tal como referido no capítulo anterior, a atividade da Silos de Leixões é a de movimentação e armazenamento de produtos agroalimentares a granel. Para o efeito, a empresa dispõe de alguns tipos de máquinas, tais como, transportadores de corrente tipo “*Redler*”, elevadores de alcatruzes (ou noras), transportadores de banda, entre outros.

A Figura 18 resume de forma muito sucinta o processo operativo das máquinas presentes na galeria inferior (Piso 0). O produto entra pelos Tegões, é encaminhado para os *Redlers* e pode ter dois destinos diferentes, o Armazém Horizontal ou os Silos de Armazenagem. Caso se siga a primeira opção, o produto é direcionado para as noras EA1 e/ou EA2 e descarregado nos transportadores de banda TB1 e/ou TB2.

Se a opção for armazenar nos silos, o produto é conduzido para as noras E1, E2, E3, e/ou E4A e E4B, e aí é elevado até à galeria superior.

Para se efetuar a expedição de produto dos silos, para os clientes, são utilizados os *Redlers* de Expedição.

Outra atividade que se pode realizar é a movimentação ou transferência de produto entre silos. Para tal, o produto deve cair nos *Redlers* R5/R5A, R6/R6A e/ou R7/R7A e ser transportado para as noras E1, E2, E3, e/ou E4A e E4B, onde será também elevado até à galeria superior.

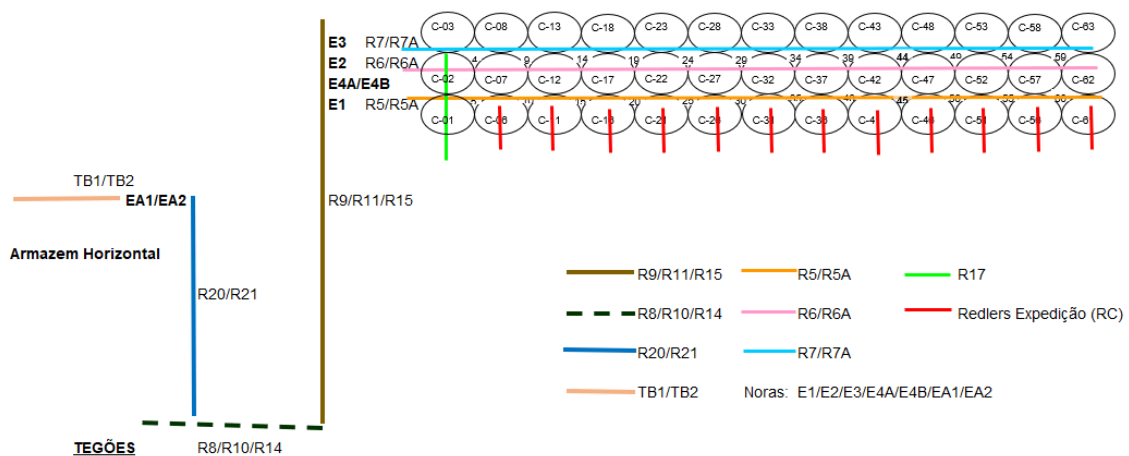


Figura 18 - Esquema Operativo da Galeria Inferior

Quando o produto é elevado até à galeria superior (piso 12) este pode seguir dois caminhos: Ir para os silos de armazenamento ou ir para os silos de expedição. Se a escolha for os silos de armazenamento, as noras descarregam nos *Redlers* R1, R2 e/ou R3 e o produto cai, por gravidade no silo pretendido.

Por outro lado, se a intenção for colocar o produto nos silos de expedição, a nora descarrega no *Redler* R4, que por sua vez transporta o grão até à torre de expedição, onde o produto cai por gravidade no silo pretendido.

A Figura 19 ilustra o processo acima descrito.

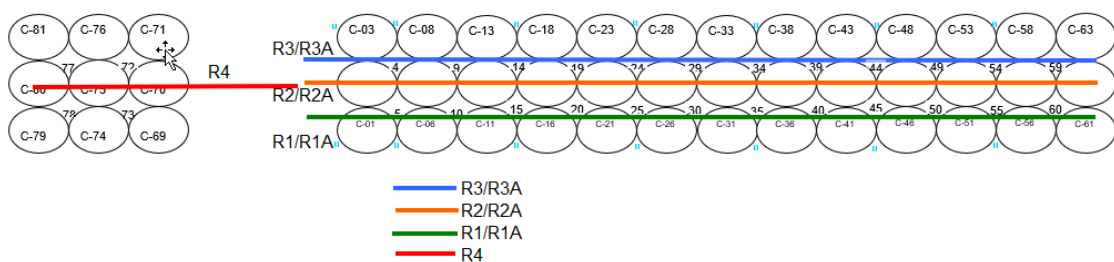


Figura 19 - Esquema Operativo da Galeria Superior

Ambas as figuras anteriores podem ser consultadas com maior detalhe no capítulo dos Anexos, subcapítulos 6.1 e 6.2.

3.2 Caracterização do problema

Tal como foi abordado no subcapítulo 1.3, após a revisão da literatura técnico-científica, o passo seguinte seria a de análise e estudo dos equipamentos e suas funções. Este trabalho está descrito no subcapítulo seguinte e, todos os seguintes estão conforme mencionado na metodologia do trabalho.

No entanto torna-se importante descrever a situação atual, e quais os pontos que a empresa pretende melhorar e atingir.

Assim, numa perspetiva de maximização de recursos, otimização de processos e redução de custos relacionados com atividades de manutenção, entre outros, a Silos de Leixões sentiu a necessidade de desenvolver um sistema de manutenção que se baseasse na real condição dos componentes ao invés da substituição periódica dos mesmos e, desta forma, promover a fiabilidade e responder da melhor forma aos problemas acima descritos.

A Figura 20 mostra algumas das vantagens do desenvolvimento de RCM na Silos de Leixões.



Figura 20 - Vantagens do desenvolvimento de RCM na Silos de Leixões

3.3 Descrição das máquinas a analisar

A Silos de Leixões possui várias máquinas com a mesma tipologia, ainda que localizadas em locais diferentes e com funções diferentes. Assim sendo a respetiva análise FMEA difere de máquina para máquina.

Como tal, neste trabalho vão ser analisadas três tipos de máquinas: Elevadores de Alcatruzes, Transportadores de Correntes e Transportadores de Banda.

3.3.1 Elevador de Alcatruzes

Os elevadores de alcatruzes, também denominados por noras, são os equipamentos indicados para elevar verticalmente produtos a granel, pois são totalmente fechados e não têm grande impacto com as zonas de trabalho. As noras consistem em alcatruzes montados numa tela de borracha (ou cilha) que gira em torno de um tambor montado no pé da nora, permitindo o enchimento dos alcatruzes, onde são esvaziados na cabeça, girando sobre outro tambor. As noras de maior dimensão da Silos de Leixões têm cerca de 90 metros de altura.

Na Figura 21 está representado um esquema de um elevador de alcatruzes com todos os seus constituintes.

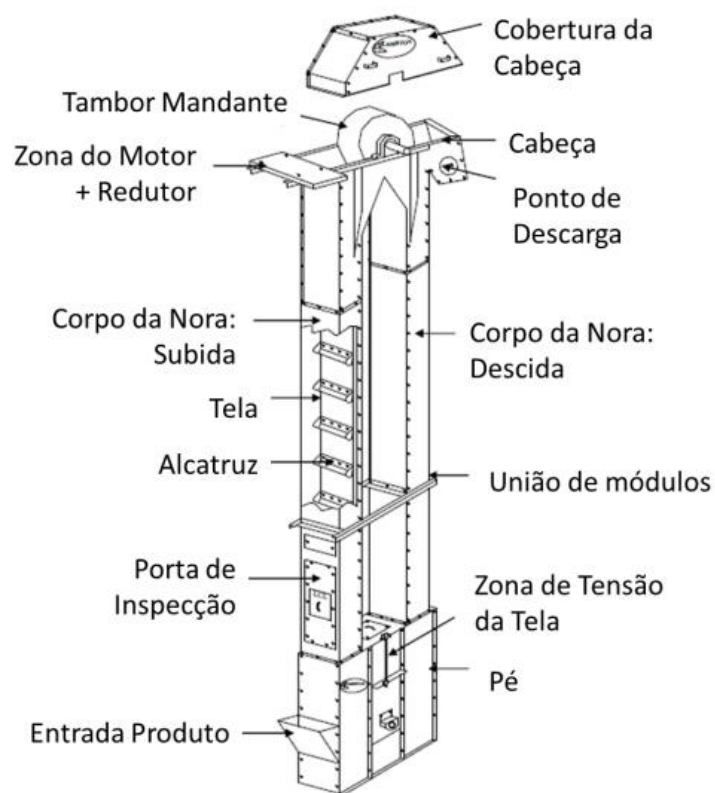


Figura 21 - Esquema de Constituintes das Noras

Os elevadores de alcatruzes são alimentados através de motores de indução trifásicos com rotor em curto circuito (motor assíncrono). Como a velocidade de saída do veio do motor é muito superior à desejada, existe também um redutor de velocidades. Por forma a fazer a transmissão de potência entre o motor-redutor e redutor-elevador de alcatruzes são utilizados acoplamentos flexíveis ou hidráulicos.

Na Figura 22 pode-se observar um esquema de trem motor-redutor-nora, com os respetivos acoplamentos.

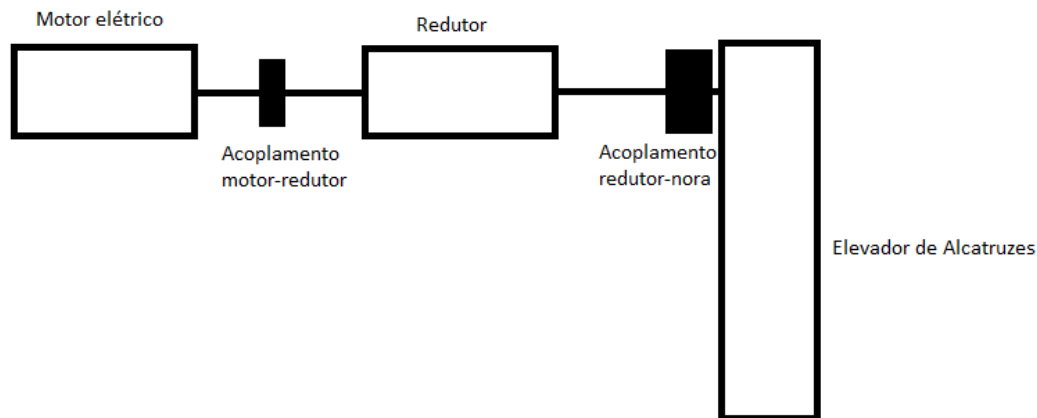


Figura 22 - Esquema de trem motor-redutor-nora

Neste trabalho vão ser alvo de estudo sete elevadores de alcatruzes, bem como os motores e redutores a si associados.

3.3.2 Transportadores de Correntes

Os transportadores de correntes, vulgarmente denominados por *Redlers*, podem movimentar granéis sólidos em planos horizontais ou inclinados. Um *redler* é constituído pelo motor elétrico, redutor, acoplamento motor-redutor (flexível ou hidráulico), corrente de transmissão redutor-*redler* (em alguns casos), corpo do *redler* e conjunto de arrasto.

Uma das vantagens da utilização deste tipo de equipamento é o fato de ser estanque, ou seja, está completamente coberto por painéis laterais, de fundo e de topo. Deste modo, não existem perdas de produto nem projeção de poeiras para o meio envolvente.

Na Figura 23 pode-se observar, de uma vista exterior, um *Redler*. com os painéis de topo e laterais bem visíveis.



Figura 23 - Vista exterior de um Redler

As correntes de transmissão redutor-*redler*, seguem a norma DIN 8187 e podem ser do tipo simples, dupla ou tripla. O passo da corrente pode variar entre a 1 ¼" (31,75 mm) e as 2 ½" (63,5 mm). As rodas de tração podem atingir uma relação máxima de transmissão de 1/3. A Figura 24 ilustra um exemplo de corrente de transmissão redutor-*redler* e as rodas de tração associadas.



Figura 24 - Corrente de transmissão e rodas de tração

Relativamente à corrente de arrasto do *Redler* estas podem ser do tipo simples ou dupla, com um passo de 142 mm, 160 mm ou 200 mm. Na Figura 25 estão representados os dois exemplos de tipos de correntes presentes nos *redlers* da Silos de Leixões.

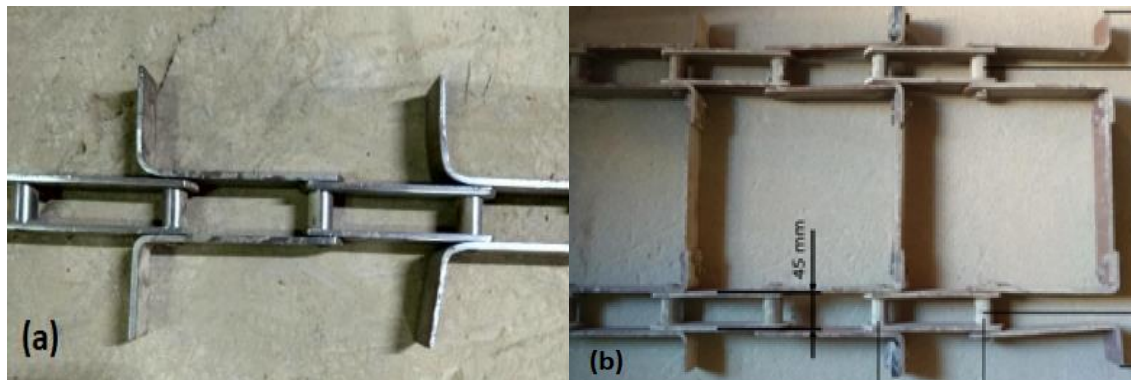


Figura 25 - Corrente de arrasto simples (a) e dupla (b)

A Silos de Leixões possui trinta e quatro transportadores de correntes, e todos eles serão estudados nos subcapítulos seguintes.

3.3.3 Transportadores de Banda

De forma a armazenar o produto no Armazém Horizontal, são utilizados transportadores de banda. Este equipamento consiste numa tela única que circula entre um tambor mandante e um tambor mandado.

Uma das vantagens de um transportador de banda é o de possuírem elevada eficiência devido ao baixo coeficiente de atrito existente na rotação dos tambores. Outra vantagem é a redução dos danos feitos ao produto, visto que o mesmo não é transportado por arrasto como num *Redler*. Também se podem obter capacidades de carga e velocidades de transporte elevados devido à menor massa da tela e dos acessórios de movimentação.

A Figura 26 mostra um exemplo de um transportador de banda.



Figura 26 - Transportador de banda, localizado no Armazém Horizontal

Os transportadores de banda são constituídos por motor elétrico, redutor, acoplamentos motor-redutor e redutor-transportador, e o corpo do transportador, onde se incluem a tela transportadora, os tambores mandante e mandado, os rolos de apoio, entre outros.

Neste trabalho, vão ser alvo de estudo ambos os transportadores de banda que a empresa possui.

3.4 Análise FMEA

Seguindo a lógica RCM, que foi aprofundada no subcapítulo 2.3 da Revisão Bibliográfica, o primeiro passo a executar é a de elaboração da análise FMEA. Para tal, e primeiramente, foi definida uma equipa de trabalho. Posteriormente foi elaborada a documentação que servirá de base aos FMEA. De seguida, e para cada equipamento, foi determinada a função que o mesmo desempenha.

Do mesmo modo, foi necessário identificar os componentes de cada equipamento e, para cada componente, determinar as falhas funcionais, os modos de falha, os efeitos da falha e as consequências dessa mesma falha.

Com todo este trabalho executado, o passo seguinte é o de determinar os índices de ocorrência, deteção e severidade para se conseguir calcular o índice RPN.

A análise FMEA fica então pronta podendo de seguida atuar nos casos com maior índice RPN.

3.4.1 Seleção da equipa de trabalho

O FMEA é uma ferramenta que permite a troca de ideias e de soluções entre as várias áreas envolvidas, formando no processo um grupo de trabalho. No caso dos Silos de Leixões, esta equipa de trabalho abrangeu todo o departamento de manutenção e consiste nos seguintes elementos:

- Coordenador do Departamento;
- Coordenador do FMEA;
- 4 técnicos (2 eletricitas e 2 mecânicos).

Esta é uma equipa multidisciplinar que domina várias áreas (mecânica, elétrica, pneumática e hidráulica), com larga experiência em manutenção industrial e em identificação e resolução de falhas.

Deste modo, temos a garantia de que os FMEA são bem realizados e vão de encontro às necessidades que o departamento de manutenção procura colmatar.

3.4.2 Elaboração da documentação FMEA

Após a definição da equipa de trabalho foi necessário criar a documentação que servirá como base para a elaboração dos FMEA. Deste modo, foi criado um ficheiro Excel que será o modelo para todos os FMEA que serão realizados posteriormente.

A Figura 27 ilustra esse mesmo modelo.

SILOS DE LEIXÕES											FMEA para Plano de Manutenção			
Máquina: 1		Equipamento: 4		Elaborado por: 7					Revisão N.º: 3		Sistema: 5		Revisto por: 8	
Código de equipamento: 2		Data de Início: 6												
Ponto da Falha			Análise da Falha				Avaliação de Risco							
Equipamento	Função do Equipamento	Componente	Falha Funcional	Modo de Falha	Efeitos da Falha	Consequências da Falha	Ocorrência	Deteção	Severidade	RPN				
4	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18				
										0				
										0				
										0				
										0				
										0				
										0				
										0				
										0				

Figura 27 - Modelo de documento de FMEA

Assim, os campos a preencher serão os seguintes:

1. Nome da máquina em estudo (p.e. Redler R1);
2. Código de equipamento da manutenção dos Silos de Leixões (p.e. EN-0006);

3. Número da revisão, numeração sequencial;
4. Nome do equipamento em estudo (p.e. Motor elétrico do Redler R1);
5. Sistema da máquina em estudo (mecânico, elétrico, pneumático, etc.);
6. Data de início da elaboração do FMEA;
7. Nome da pessoa que elabora o FMEA;
8. Nome da pessoa que revê/supervisiona o FMEA;
9. Função que o equipamento desempenha;
10. Componentes/itens do equipamento;
11. Descrição das falhas funcionais para cada componente;
12. Descrição do modo de falha ou o que provoca falha do componente;
13. Descrição dos efeitos de falha nos componentes em estudo;
14. Descrição das consequências da falha nos componentes, no equipamento, na máquina e/ou no processo;
15. Índice de ocorrência da falha, numa escala de 1 a 10;
16. Índice de detecção da falha, numa escala de 1 a 10;
17. Índice de severidade da falha, numa escala de 1 a 10;
18. Resultado do cálculo do RPN (Multiplicação dos três índices anteriores).

3.4.3 Definição das funções

Tal como já foi referido em capítulos anteriores, é fundamental definir as funções dos equipamentos para se realizar uma correta análise FMEA.

Deste modo, pode-se definir as funções por tipo de equipamento.

Assim:

- Motor elétrico – Converter energia elétrica em energia mecânica (acionador do redutor);
- Redutor – Reduzir a velocidade de saída do motor elétrico;
- Redler – Transportar/expedir produto horizontalmente de ... para ...;
- Elevador de alcatruzes – Transportar produto verticalmente de ... para ...;
- Transportador – Transportar produto horizontalmente de ... para Armazém Horizontal.

3.4.4 Identificação dos elementos/componentes

De forma a se identificar o maior número de componentes das máquinas, foram usadas várias estratégias. A primeira foi a de consultar o Manual de Especificações dos equipamentos da empresa, onde se encontram as características e informações detalhadas de cada máquina. A Figura 28 mostra a capa do dito Manual.



Figura 28 - Capa do Manual de Especificações do Redler R1

No entanto e apesar dos manuais dos equipamentos conterem bastante informação, foi necessário consultar outro tipo de documentação. A segunda estratégia incidiu então na visualização dos desenhos técnicos e respetivas listas de peças. Esta estratégia foi maioritariamente utilizada para identificar os componentes dos redutores e motores elétricos.

A Figura 29 representa o desenho técnico de um dos redutores, neste caso o UDH 510, com a sua respetiva lista de peças na Figura 30.

A Figura 31 demonstra os componentes presentes num motor SEW.

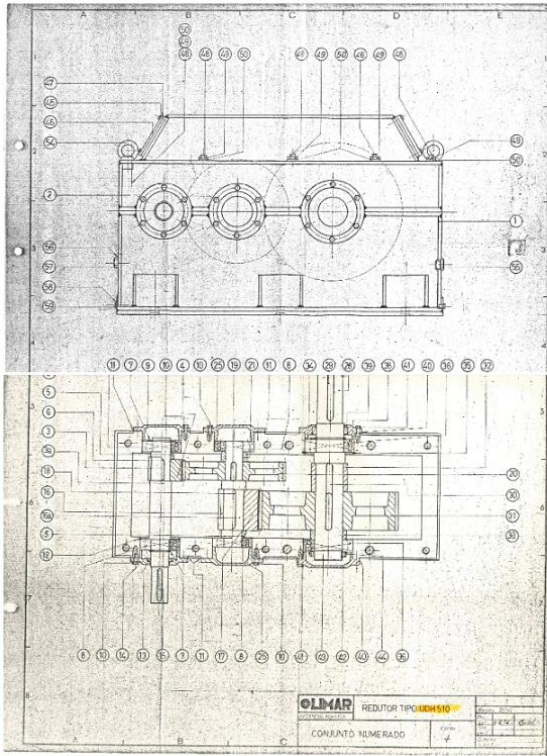


Figura 29 - Desenho técnico do Redutor Olimar UDH 510

ALCANTERA-PORTUGAL

LISTA DE PEÇAS

REFERÊNCIA: 1111111111
 TIPO / TITULO: 1111111111
 Nº-FABRICAÇÃO: 1111111111
 ESPECIFICAÇÃO COMPLEMENTAR: 1111111111

Item	Designação da peça	QTY	Refer. peça	QTY
1	Carro inferior		1111111111	
2	Carro superior		1111111111	
3	Veio externo de entrada		1111111111	
3 A	Veio de entrada		1111111111	
4	Carrete de 14, redução		1111111111	
5	Arruela batente		1111111111	
6	Caravite		1111111111	
7	Veio exterior	1	1111111111	
8	Polimento		1111111111	
9	Carrete de 24, redução		1111111111	
10	Carrete de 30		1111111111	
11	Junta		1111111111	
12	Veio interior		1111111111	
13	Reventor		1111111111	
14	Carrete com furo, veio entrada		1111111111	
15	Caravite		1111111111	
16	Veio carrete 24, redução		1111111111	
16 A	Veio intermediário		1111111111	
17	Carrete de 24, redução		1111111111	
18	Caravite		1111111111	
19	Caravite		1111111111	
20	Junta de 14, redução		1111111111	
21	Arruela batente		1111111111	
22	Veio exterior		1111111111	
23	Arruela batente		1111111111	
24	Carrete de veio intermediário		1111111111	
25	Veio de saída		1111111111	
26	Caravite		1111111111	
27	Caravite		1111111111	
28	Junta de veio de saída		1111111111	
29	Arruela batente		1111111111	
30	Carrete exterior		1111111111	
31	Carrete exterior		1111111111	

OPORTUNIDADE DE RESERVA: Grau primeiro 1 ; grau segundo 2

Figura 30 - Lista de peças do Redutor Olimar UDH 510

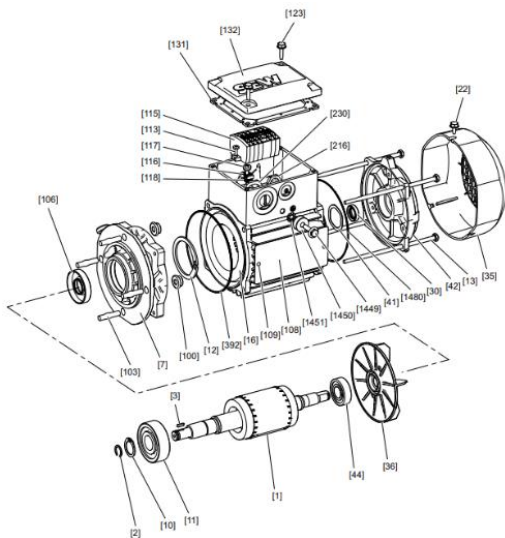


Figura 31 - Componentes de um motor SEW

A terceira estratégia, e depois de executadas as duas primeiras, foram os *inputs* da equipa de trabalho, que com a sua experiência e polivalência permitiram identificar componentes que ainda não haviam sido identificados.

Este trabalho de identificação dos componentes das máquinas foi feito, sempre que possível, com a observação *in loco* e com fotografia do elemento. No caso dos redutores, como são equipamentos fechados e que dificilmente existe a oportunidade de os abrir,

a identificação foi feita através dos manuais e dos desenhos. Contudo no decorrer deste trabalho houve a oportunidade de abrir um dos redutores das noras, e deste modo ter uma melhor percepção dos componentes que esta máquina contém.

A Figura 32 mostra o redutor Olimar CUDH5 da Nora 2, aberto, com os seus componentes bem visíveis.

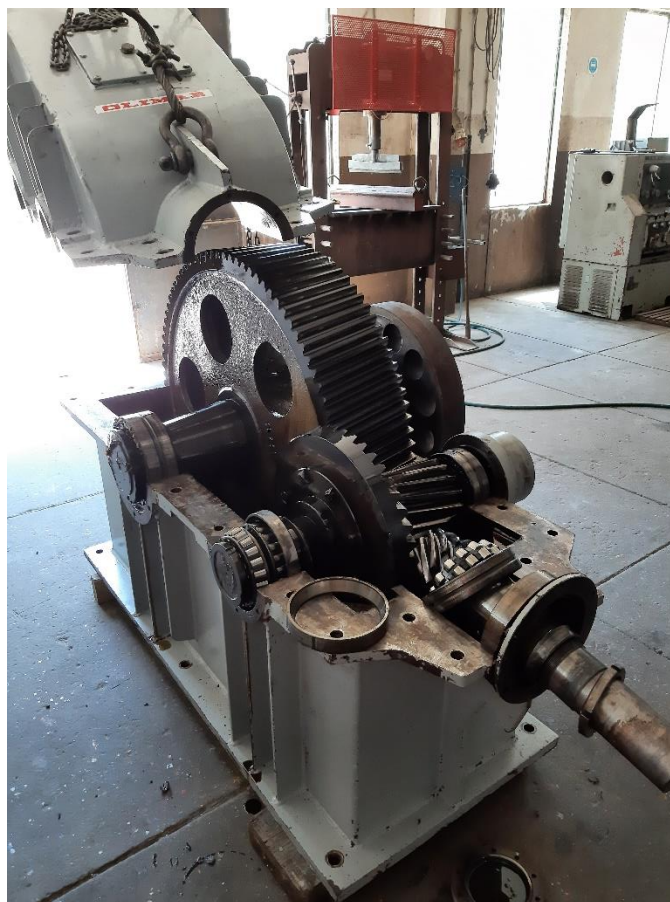


Figura 32 - Redutor Olimar CUDH5 com os seus componentes

3.4.5 Identificação das falhas funcionais, modos de falha, efeitos de falha e consequências de falha

Esta fase foi a mais demorada e trabalhosa de toda a análise. Para a realização deste trabalho foi fundamental a colaboração de toda a equipa de trabalho referida anteriormente.

Todos os elementos da equipa contribuíram de forma ativa e decisiva para a identificação das falhas funcionais, modos de falha, efeitos de falha e consequências de falha.

Em paralelo, foram também utilizadas outras estratégias tais como:

- Consulta do historial de avarias dos equipamentos, no software de manutenção da empresa ManWinWin;
- Visualização *in loco* de avarias;
- Manuais dos equipamentos, quando aplicável;
- Consulta de apontamentos das disciplinas da licenciatura e mestrado, quando aplicável;
- Consulta de páginas da internet, quando aplicável.

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

3.4.6 Cálculo do RPN

Por fim e de forma a concluir a análise FMEA, foi necessário fazer o cálculo do RPN. Para tal, primeiramente, definiu-se os critérios e as respetivas classificações dos três índices, ocorrência, deteção e severidade. Estes índices foram definidos em consonância com o Coordenador de Departamento e estão apresentados numa escala crescente, em que 1 é o melhor e 10 o pior dos casos.

A Tabela 11 demonstra as classificações do índice de ocorrência, que foram baseadas no histórico de falhas dos equipamentos.

Tabela 11 - Classificações do índice de ocorrência

Ocorrência		
Probabilidade de Falha	Taxas de falha possíveis	Índice da Ocorrência
Baixa: Relativamente poucas falhas	Frequência muito baixa: 1 vez a cada 5 anos	1
	Pouco frequente: 1 vez a cada 2 anos	2
	Frequência baixa: 1 vez por ano	3
Moderada: Falhas ocasionais	Frequência ocasional: 1 vez por semestre	4
	Frequência moderada: 1 vez por trimestre	5
	Frequente: 1 vez por mês	6
Alta: Falhas frequentes	Frequência elevada: 1 vez por semana	7
	Frequência muito elevada: várias vezes por semana	8

Muito Alta: Falhas persistentes	Frequência muito elevada: 1 vez por dia	9
	Frequência máxima: várias vezes por dia	10

Na Tabela 12 identifica-se as classificações do índice de deteção. De referir que os tipos de inspeção abaixo mencionados são os seguintes:

- A. Prova de erro;
- B. Medição;
- C. Inspeção manual/visual/audível.

Tabela 12 - Classificações do índice de deteção

Deteção					
Deteção	Critério	Tipos de Inspeção			Índice de Deteção
		A	B	C	
À prova de falha	Monitoramento certamente detetará	X			1
	Monitoramento quase certamente detetará	X			2
Medição por equipamento	Medição tem boas hipóteses para detetar		X		3
	Medição pode detetar		X		4
Inspeção manual	Inspeção manual sem desmontagem			X	5
	Inspeção manual com desmontagem parcial			X	6
	Inspeção manual com desmontagem parcial			X	7
	Inspeção manual com desmontagem total			X	8
			X		9

	equipamento no local e levando para oficina	
X	Para detetar a falha, é necessário retirar o equipamento do local e enviar para laboratório ou oficina especializada	10

A Tabela 13 indica as classificações atribuídas ao índice de severidade. Estas classificações foram definidas tendo por base a realidade operativa dos Silos de Leixões.

Tabela 13 - Classificações do índice de severidade

Severidade		
Severidade	Efeito da Severidade	Índice da Severidade
Impacto na máquina	Caso a falha ocorra, o equipamento não demonstrará perda de <i>performance</i>	1
	Caso a falha ocorra, o equipamento demonstrará perda de <i>performance</i> mas o processo não será afetado	2
Impacto no processo	Caso a falha ocorra, o equipamento demonstrará perda de <i>performance</i> e o processo também perderá <i>performance</i>	3
	Caso a falha ocorra, pode paralisar o equipamento e o processo mas não causará paralisação da produção	4
Impacto na produção	Caso a falha ocorra, pode paralisar o equipamento, o processo e a produção como um todo, de maneira recuperável	5
	Caso a falha ocorra, pode paralisar o equipamento, o processo e a produção como um todo, de maneira irrecuperável	6
Impacto de paralisação total	Caso a falha ocorra, pode paralisar o equipamento, o processo e a produção como um todo, causando lucro cessante, recuperável com aumento de capacidade (ainda que gere custo de retrabalho e hora extra)	7
	Caso a falha ocorra, pode paralisar o equipamento, o processo e a produção como um todo, causando lucro cessante irrecuperável	8
Impacto na segurança	Caso a falha ocorra, o equipamento poderá causar danos à segurança dos operadores e/ou colaboradores	9
	Caso a falha ocorra, o equipamento poderá causar danos à segurança dos operadores e/ou colaboradores e também danos ao meio ambiente	10

Tal como explicado anteriormente, a multiplicação dos três índices resulta no valor RPN. Quanto maior este valor, mais crucial e mais prioritária é a intervenção na resolução do problema.

Para este trabalho foram consideradas três escalas de RPN:

- **Verde:** Para valores de RPN inferiores a 40;
- **Amarelo:** Para valores de RPN compreendidos entre 40 e 100;
- **Vermelho:** Para valores de RPN superiores a 100.

Todas as falhas que apresentam um valor RPN superior a 100 são as mais prioritárias, seguidas das que estão compreendidas entre 40 e 100. As falhas com índice inferior a 40 não significa que não serão também tratadas. Significa apenas que terão uma importância inferior quando comparadas com as restantes.

3.5 Resultados da análise FMEA

No total foram analisadas 129 máquinas. Dada a vasta extensão de dados, é importante agrupar a informação recolhida e tratá-la convenientemente. Para o efeito, dividiu-se os equipamentos em três grandes grupos de máquinas: *Noras*, *Redlers* e Transportadores de Banda. Todas as 129 máquinas estão dentro de um dos grupos acima descritos.

3.5.1 *Noras*

Foram analisadas as sete noras que a empresa possui. Todas as noras contêm três equipamentos: Motor elétrico, Redutor e Elevador de Alcatruzes. No total foram analisadas vinte e um equipamentos. Nos anexos pode-se consultar todos os ficheiros FMEA das noras.

A Figura 33 e Figura 34 representam os resultados das análises FMEA das noras, com a respetiva classificação por escala de RPN.

Falhas Funcionais				
Máquina	Equipamento			
E1	Motor elétrico	1	5	7
	Redutor	9	9	4
	Elevador de alcatruzes	1	0	25
E2	Motor elétrico	1	5	7
	Redutor	9	9	4
	Elevador de alcatruzes	1	0	25
E3	Motor elétrico	1	5	7
	Redutor	0	22	3
	Elevador de alcatruzes	1	0	25
E4A	Motor elétrico	0	5	8
	Redutor	0	16	6
	Elevador de alcatruzes	1	0	22
E4B	Motor elétrico	0	5	8
	Redutor	0	16	6
	Elevador de alcatruzes	0	1	22
EA1	Motor elétrico	0	5	8
	Redutor	0	16	1
	Elevador de alcatruzes	0	1	22
EA2	Motor elétrico	0	5	8
	Redutor	0	16	1
	Elevador de alcatruzes	0	1	22
Total		25	142	241
		6,13%	34,80%	59,07%

Figura 33 - Falhas funcionais das Noras, de acordo com a sua escala de RPN

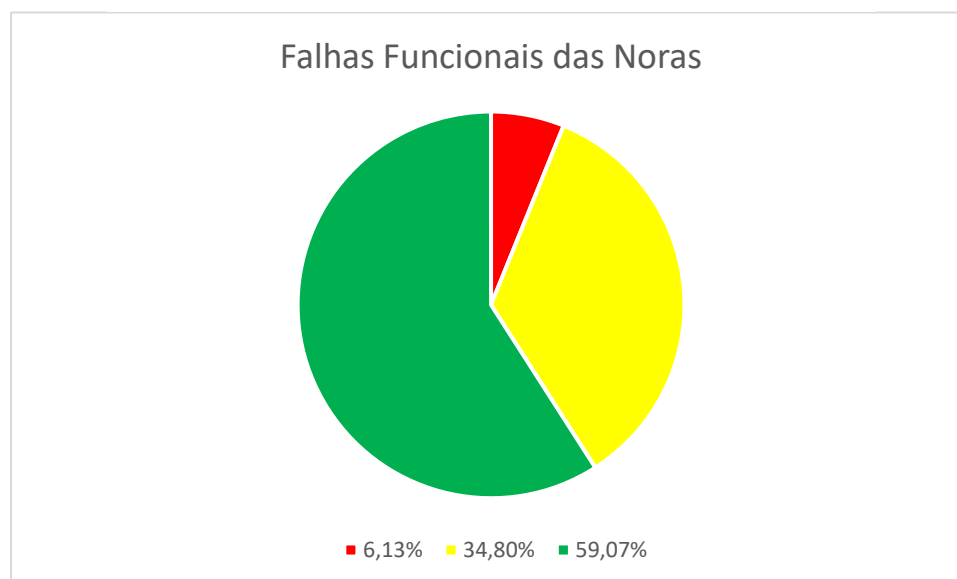


Figura 34 - Gráfico circular das falhas funcionais das Noras, de acordo com a sua escala de RPN

Como se pode verificar nas figuras acima, foram analisadas cerca de quatrocentas falhas funcionais. Destas, vinte e cinco obtiveram uma escala superior a 100 no índice RPN e como tal, têm prioridade máxima. Este valor representa cerca de 6% de todas as falhas funcionais das noras.

Normalmente as falhas de risco elevado devem compreender entre 10% a 20% de todas as falhas. Como é perceptível, as falhas críticas das noras encontram-se abaixo deste intervalo. Isto deve-se essencialmente a dois fatores: o primeiro é que existem relativamente poucas falhas neste tipo de equipamentos o que significa que o índice de ocorrência é baixo, sendo obviamente também baixo o índice RPN. O segundo fator prende-se com o facto de ter sido feita uma análise bastante exaustiva e detalhada de cada componente, fazendo com que houvesse muitas falhas não críticas, ou seja, compreendidas entre a zona amarela e a zona verde.

3.5.2 *Redlers*

A empresa possui trinta e quatro *Redlers* e todos eles foram alvo da análise FMEA. Todos estas máquinas possuem os mesmos equipamentos: Motor elétrico, redutor e corpo do *redler*. No total foram analisados 102 equipamentos. Nos anexos pode-se consultar todos os ficheiros FMEA destes equipamentos.

A Figura 35 e Figura 36 representam os resultados das análises FMEA dos *redlers*, com a respetiva classificação por escala de RPN.

Falhas Funcionais				
Máquina	Equipamento	0	0	0
R1	Motor elétrico	0	0	13
	Redutor	0	0	27
	Corpo do Redler	0	1	30
R4	Motor elétrico	0	7	6
	Redutor	0	24	2
	Corpo do Redler	0	12	19
R5	Motor elétrico	0	0	13
	Redutor	0	0	28
	Corpo do Redler	1	0	28
R6	Motor elétrico	0	5	8
	Redutor	0	17	9
	Corpo do Redler	1	0	29
R7	Motor elétrico	0	0	13
	Redutor	0	0	28
	Corpo do Redler	1	0	28
R8	Motor elétrico	0	7	6
	Redutor	0	13	2
	Corpo do Redler	0	12	16
R9	Motor elétrico	0	7	6
	Redutor	0	12	8
	Corpo do Redler	0	12	17
R10	Motor elétrico	0	7	6
	Redutor	0	12	9
	Corpo do Redler	0	12	17
R11	Motor elétrico	0	7	6
	Redutor	0	18	10
	Corpo do Redler	0	12	18
R14	Motor elétrico	0	7	6
	Redutor	0	18	10
	Corpo do Redler	0	12	17
R15	Motor elétrico	0	7	6
	Redutor	0	18	10
	Corpo do Redler	0	12	18
Total		6	328	1790
		0,28%	15,44%	84,27%

Figura 35 - Falhas funcionais dos *Redlers*, de acordo com a sua escala de RPN

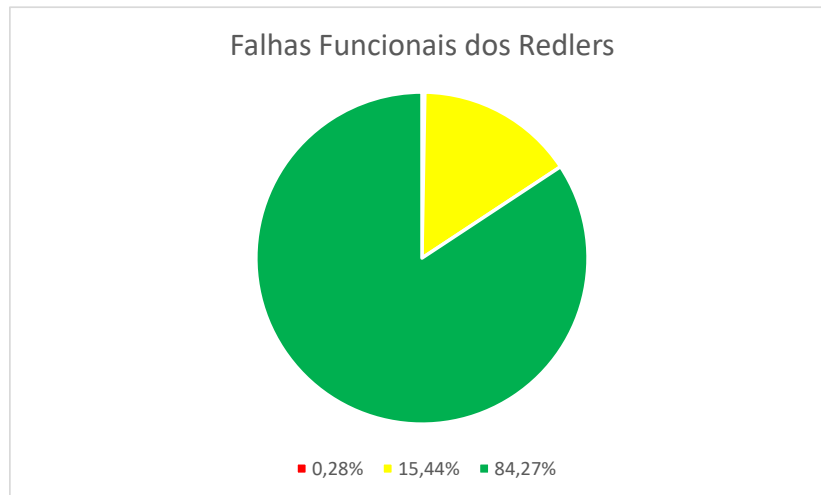


Figura 36 - Gráfico circular das falhas funcionais dos redlers, de acordo com a sua escala de RPN

Na Figura 35 estão representados apenas algumas máquinas, no entanto quer na linha “Total” quer na Figura 36 estão ilustradas a totalidade das falhas funcionais dos *redlers*.

Analisando cerca de 2100 falhas funcionais, apenas 6 foram consideradas como risco elevado. Isto uma vez mais se deve ao facto destas máquinas apresentarem poucas falhas, da análise exaustiva efetuada aos componentes e também devido a estes equipamentos apresentarem bastantes redundâncias entre si. Significa então que tanto o índice de ocorrência como o índice de severidade vão ser relativamente baixos, originando assim valores de RPN também baixos.

3.5.3 Transportadores de Banda

Dentro dos Silos de Leixões existem dois transportadores de banda, que estão localizados no Armazém Horizontal. Estas máquinas possuem também três equipamentos: Motor elétrico, redutor e corpo do transportador. No total foram analisados seis equipamentos. Os documentos FMEA destas máquinas encontram-se nos anexos.

A Figura 37 e Figura 38 demonstram os resultados das análises FMEA dos transportadores de banda, com a respetiva classificação por escala de RPN.

Falhas Funcionais				
Máquina	Equipamento			
R1	Motor elétrico	0	0	13
	Redutor	0	0	21
	Corpo do Transportador	0	0	14
R4	Motor elétrico	0	0	13
	Redutor	0	0	21
	Corpo do Transportador	0	0	14
Total		0	0	96
		0%	0%	100%

Figura 37 - Falhas funcionais dos transportadores de banda, de acordo com a sua escala de RPN

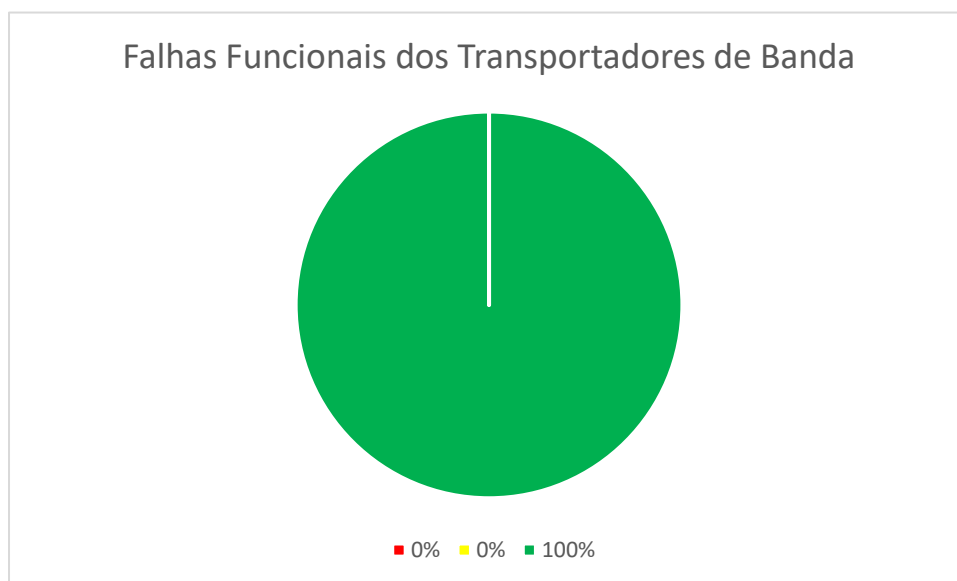


Figura 38 - Gráfico circular das falhas funcionais dos transportadores de banda, de acordo com a sua escala de RPN

De todas as 96 falhas funcionais analisadas, todas foram consideradas de baixo risco. Isto acontece devido à baixa criticidade destas máquinas aliado à baixa taxa de ocorrência de avarias. O resultado é obviamente classificações de RPN muito baixas.

3.6 Propostas de melhoria decorrentes da análise FMEA

De modo a ser possível a implantação de RCM, devem-se executar tarefas proativas e/ou ações por defeito após a análise FMEA. Neste âmbito, foram propostas à gerência da Silos de Leixões várias melhorias no sentido de diminuir os índices RPN mais elevados e deste modo promover a fiabilidade dos equipamentos.

As propostas de melhoria foram as seguintes:

3.6.1 Aquisição de um novo Redutor para a Nora E1

Um dos equipamentos mais críticos e prioritários a nível de manutenção são os redutores das noras. Durante o período de elaboração deste trabalho, ocorreu uma falha catastrófica, que já havia sido detetada na análise FMEA feita anteriormente. O veio de carreto de 2ª redução sofreu uma fissura devido à folga entre a ranhura da chaveta presente no referido veio e a chaveta.

A Figura 39 mostra a análise FMEA destes dois componentes. A análise FMEA completa deste equipamento encontra-se no subcapítulo 6.3.

Ponto da Falha		Análise da Falha				Avaliação de Risco					
Equipamento	Função do Equipamento	Componente	Falha Funcional	Modo de Falha	Efeitos de Falha	Consequências da Falha	Ocorrência	Deteção	Severidade	RPN	
Redutor Nora E1 Climar CUDHS	Reduzir a velocidade de saída do motor elétrico ME-0001	Veio de carreto de 2ª redução Ø100 mm, Z=15	Desgaste dos dentes do carreto	Lubrificação deficiente	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Possível paragem do equipamento	2	3	6	108	
				Desalinhamento dos dentes	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Possível paragem do equipamento	2	3	6	108	
			Desgaste do veio	Desalinhamento do veio	Aumento de vibração; Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução da espessura do veio; Possível paragem do equipamento	2	3	6	108	
				Contaminação do retentor	Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução da espessura do veio; Possível paragem do equipamento	2	3	6	108	
				Folga entre o veio e a chaveta	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Fissura do veio; Paragem do equipamento	2	3	6	108	
				Sobrecarga na operação	Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução da espessura do veio; Possível paragem do equipamento	2	3	6	108	
				Defeito de montagem	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Possível paragem do equipamento	2	3	6	108	
				Chaveta do veio de carreto de 2ª redução	Fratura da chaveta	Folga na chaveta	Aumento de ruído; Aumento de vibração	Fissura no veio; Paragem do equipamento	1	3	6

Figura 39 - FMEA do Redutor da Nora E1, com as falhas funcionais do veio e da chaveta

Como se pode verificar na Figura 40 o veio ficou fissurado na zona da ranhura da chaveta, tornando estes componentes inutilizáveis, provocando assim a paragem do equipamento, da máquina e do processo produtivo. A Figura 41 mostra o desgaste da chaveta que provocou a folga entre os dois componentes e consequente avaria.



Figura 40 - Veio de carreto de 2ª redução fissurado

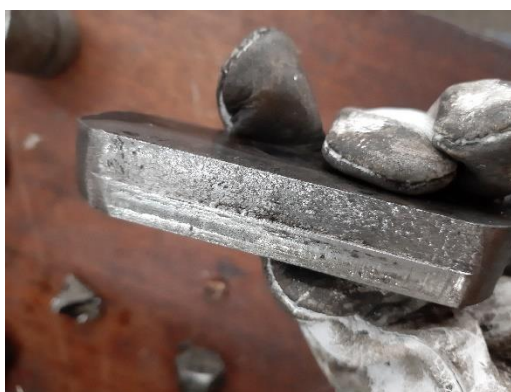


Figura 41 - Chaveta do veio de carreto de 2ª redução, desgastado

Infelizmente, a análise FMEA deste equipamento não impediu a sua avaria. No entanto permitiu o auxílio na tomada de decisão posterior. As opções seriam entre a reparação do veio e fabrico de nova chaveta ou de aquisição de um redutor novo. Como se tratava de um equipamento bastante antigo e com algum desgaste nos seus componentes, o índice de ocorrência era bastante elevado. Este era então um equipamento com vários índices vermelhos e amarelos de RPN.

A reparação do veio e fabrico de nova chaveta poderiam fazer baixar o índice de ocorrência destes componentes, no entanto não iria fazer nada relativamente aos restantes. Já o redutor novo faz com que o índice de ocorrência baixe em todos os componentes.

Assim sendo, e tendo também em conta outros fatores (financeiros, manutenção, etc.) a decisão passou pela aquisição de um redutor novo. A análise FMEA deste novo equipamento encontra-se em anexo no subcapítulo 6.4.

3.6.2 Alinhamento dos acoplamentos motor-redutor e redutor nora

Após a análise FMEA foi verificado que os motores elétricos e redutores das noras E1, E2 e E3 apresentavam bastantes componentes a vermelho na escala de RPN. Muitos deles eram referentes aos acoplamentos motor-redutor e redutor-nora.

A Figura 42 apresenta a análise FMEA de alguns dos componentes dos equipamentos acima referidos.

Ponto da Falha			Análise da Falha				Avaliação de Risco			
Equipamento	Função do Equipamento	Componente	Falha Funcional	Modo de Falha	Efeitos de Falha	Consequências da Falha	Ocorrência	Deteção	Severidade	RPN
Motor elétrico da nora E1	Converter energia elétrica em energia mecânica (Accionador do redutor EH-0001)	Estator	Avária do estator	Patã coxa	Desparafusamento dos apoios	Desgaste de todos os componentes do equipamento; Desalinhamento do acoplamento flexível motor-redutor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
Redutor Nora E1 SEW X3K3160/B	Reduzir a velocidade de saída do motor elétrico ME-0001	Acoplamento flexível motor-redutor Renold	Desalinhamento das rodas	Montagem defeituosa	Desalinhamento dos acoplamentos	Danos nos componentes internos do redutor; Danos nos componentes internos do motor Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Folga nos parafusos	Afrouzamento dos acoplamentos entre si; Desalinhamento dos acoplamentos	Danos nos componentes internos do redutor; Danos nos componentes internos do motor Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
		Acoplamento flexível redutor-nora Climar	Desalinhamento das rodas	Desgaste dos rolamentos do redutor	Aumento de vibração; Aumento de ruído	Danos nos componentes internos do redutor; Paragem do equipamento	2	9	6	108
				Montagem defeituosa	Desalinhamento dos acoplamentos	Danos nos componentes internos do redutor; Desalinhamento da cilza; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
Motor elétrico da nora E2	Converter energia elétrica em energia mecânica (Accionador do redutor EH-0002)	Estator	Avária do estator	Patã coxa	Desparafusamento dos apoios	Desgaste de todos os componentes do equipamento; Desalinhamento do acoplamento flexível motor-redutor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
		Acoplamento flexível redutor-nora Climar	Desalinhamento das rodas	Folga nos parafusos	Afrouzamento dos acoplamentos entre si; Desalinhamento dos acoplamentos	Danos nos componentes internos do redutor; Desalinhamento da cilza; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Acoplamento flexível redutor-nora Climar	Desalinhamento das rodas	Desgaste dos rolamentos do redutor	Aumento de vibração; Aumento de ruído	Danos nos componentes internos do redutor; Paragem do equipamento	2	9
Motor elétrico da nora E3	Converter energia elétrica em energia mecânica (Accionador do redutor EH-0003)	Estator	Avária do estator			Patã coxa	Desparafusamento dos apoios	Desgaste de todos os componentes do equipamento; Desalinhamento do acoplamento flexível motor-redutor; Possível paragem do equipamento	2	9
				Acoplamento flexível motor-redutor Renold	Desalinhamento das rodas					
		Acoplamento flexível redutor-nora Renold	Desalinhamento das rodas			Folga nos parafusos	Afrouzamento dos acoplamentos entre si; Desalinhamento dos acoplamentos	Danos nos componentes internos do redutor; Desalinhamento da cilza; Possível paragem do equipamento	2	9
				Acoplamento flexível redutor-nora Renold	Desalinhamento das rodas	Montagem defeituosa	Desalinhamento dos acoplamentos	Danos nos componentes internos do redutor; Desalinhamento da cilza; Possível paragem do equipamento	2	9
Acoplamento flexível redutor-nora Renold	Desalinhamento das rodas	Folga nos parafusos	Afrouzamento dos acoplamentos entre si; Desalinhamento dos acoplamentos			Danos nos componentes internos do redutor; Desalinhamento da cilza; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108

Figura 42 - Análise FMEA de alguns componentes dos motores elétricos e redutores das noras

Como se verifica na figura anterior, muitas das falhas dos motores elétricos e dos redutores são causados por maus alinhamentos ou têm como consequência o desalinhamento dos acoplamentos.

Deste modo torna-se crucial garantir que quer os acoplamentos motor-redutor, quer os acoplamentos redutor-nora se encontrem devidamente alinhados e calibrados.

Foi então proposto e aceite a realização de um serviço de alinhamento de equipamentos para estas máquinas, algo que nunca tinha sido realizado.

Foi proposto e aceite também a aquisição de ferramentas de calibração e alinhamento de eixos. Desta forma foi possível atualizar os planos de manutenção destes equipamentos de maneira a se verificar o alinhamento anualmente, ou sempre que haja uma intervenção que obrigue à remontagem do equipamento no local.

A execução destas propostas permitiu então baixar o índice de ocorrência destas falhas funcionais, fazendo baixar também o índice RPN.

3.6.3 Análise de vibrações aos Redutores das Noras

Tal como já foi referido anteriormente os redutores das noras são equipamentos bastante críticos. Isto deve-se não só à criticidade das noras, mas também porque são equipamentos fechados, onde a deteção da falha se torna bastante difícil.

A Figura 43 demonstra a análise FMEA de alguns componentes do redutor da nora E2. A análise FMEA completa encontra-se no subcapítulo 6.5.

Ponto da falha			Análise da Falha				Avaliação de Risco			
Equipamento	Função do Equipamento	Componente	Falha Funcional	Modo de Falha	Efeitos de Falha	Consequências da Falha	Ocorrência	Deteção	Severidade	RPN
Redutor Nora E2	Reduzir a velocidade de vinda do motor eléctrico MS-0002	Veio de coneito de entrada Ø85 em, Z=10	Desgaste dos dentes do coneito	Lubrificação deficiente	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Posível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Desalinhamento dos dentes	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Posível paragem do equipamento	2	9	6	108
			Desgaste do veio	Desalinhamento do veio	Aumento de vibração; Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução de espessura do veio; Posível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Contaminação do rolamento	Aumento de vibração; Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução de espessura do veio; Posível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Sobrecarga na operação	Aumento de vibração; Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução de espessura do veio; Posível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Defeito de montagem	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Posível paragem do equipamento	2	9	6	108
		Rolamento de rolos oposto ao rolamento anti-retorno Ref. 23122 H.	Desgaste do rolamento	Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento de vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Posível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Contaminação do rolamento (partes de dentes, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento de vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Posível paragem do equipamento	2	9	6	108
			Desalinhamento do veio	Aquecimento do rolamento; Aumento de vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Posível paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Montagem defeituosa	Aquecimento do rolamento; Aumento de vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Posível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Fim de vida útil	Aquecimento do rolamento; Aumento de vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Posível paragem do equipamento	2	9	6	108
	Veio de coneito de 2ª redução Ø100 em, Z=15	Desgaste dos dentes do coneito	Desalinhamento dos dentes	Lubrificação deficiente	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Posível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Desalinhamento dos dentes	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Posível paragem do equipamento	2	9	6	108
			Desgaste do veio	Desalinhamento do veio	Aumento de vibração; Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução da espessura do veio; Posível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Contaminação do rolamento	Aumento de vibração; Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução da espessura do veio; Posível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Folga entre o veio e a chaveta	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Fissura do veio; Paragem do equipamento	2	9	6	108
				Sobrecarga na operação	Aumento de vibração; Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução da espessura do veio; Posível paragem do equipamento	2	9	6	108
		Defeito de montagem	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Posível paragem do equipamento	2	9	6	108		
		Rolamento anti-retorno de rolos cônicos do veio de 2ª redução Ref. 30220 A	Desgaste do rolamento	Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento de vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Atacamento da nora; Sobrecarga do motor; Posível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Contaminação do rolamento (partes de outros componentes, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento de vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Atacamento da nora; Sobrecarga do motor; Posível paragem do equipamento	2	9	6	108
			Desalinhamento do veio	Aquecimento do rolamento; Aumento de vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Atacamento da nora; Sobrecarga do motor; Posível paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Fim de vida útil	Aquecimento do rolamento; Aumento de vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Atacamento da nora; Sobrecarga do motor; Posível paragem do equipamento	2	9	6	108
Rolamento de rolos de entrada do veio Ref. 23130 H.	Desgaste do rolamento	Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento de vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Posível paragem do equipamento	2	9	6	108		
		Contaminação do rolamento (poeira, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento de vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Posível paragem do equipamento	2	9	6	108		
		Desalinhamento do veio	Aquecimento do rolamento; Aumento de vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Posível paragem do equipamento	2	9	6	108		
		Fim de vida útil	Aquecimento do rolamento; Aumento de vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Posível paragem do equipamento	2	9	6	108		

Figura 43 - Análise FMEA de alguns componentes do redutor da nora E2

Na coluna “Efeitos de Falha” é visível que todos estes componentes apresentam o mesmo sintoma: o aumento da vibração.

Assim, foi proposta e aceite uma análise de vibrações aos redutores das noras E1, E2 e E3, algo que nunca tinha sido efetuado na empresa. Foi também proposta a atualização dos planos de manutenção destes equipamentos de forma a se efetuar esta análise com uma periodicidade anual. Está pendente de aprovação.

Com estas propostas pretende-se detetar as falhas o mais cedo possível, reduzindo desta forma o índice de deteção e obviamente o índice RPN.

3.6.4 Verificação da temperatura dos Redutores das Noras e Redlers

Em paralelo com o trabalho descrito anteriormente, outra medida tomada por forma a baixar o índice de deteção foi a criação de um procedimento de verificação das temperaturas dos redutores das noras e dos *redlers*. Tal como foi referido no capítulo 2.1.4.1.2 da Pesquisa Bibliográfica, a aplicação de práticas de CBM pode fazer com que a deteção das avarias seja feita precocemente prevenindo assim a ocorrência de uma falha catastrófica.

À semelhança das vibrações, o aumento de temperatura é um efeito de falha bastante comum nos componentes dos redutores.

Deste modo criou-se um procedimento semanal de verificação da temperatura de alguns redutores. Estes redutores foram escolhidos com base na sua criticidade e foram os seguintes:

- Noras E1, E2, E3, E4A e E4B;
- *Redlers* R1, R1A, R2, R2A, R3, R3A, R4, R5, R5A, R6, R6A, R7, R7A, R8, R9, R10, R11, R14 e R15.

A Figura 44 demonstra a folha de verificação da temperatura dos redutores.

Data	Verificação da Temperatura dos Redutores					
	30/12/2021	03/01/2022	10/01/2022	17/01/2022	24/01/2022	31/12/2021
Equipamento	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)
E1		46				
E2	40	38 (10)	35 (13)	37 (13)	45 (17)	
E3	24	32 (10)			38 (17)	
E4A		30 (10)				
E4B	46	38		26		
R1	34	26		31	28	
R1A						
R2	32	30 (9)		(9)		
R2A						
R3		33		34	37	
R3A		23			29	
R4	23	28 (11)	25 (11)		20	
R5						
R5A						
R6	27		26 (8)	31 (10)	28	
R6A						
R7		25				
R7A						
R8						
R9						
R10	29	33		30 (11)		
R11	32	29				
R14	35	28		27 (11)		
R15	38	35		32	33 (11)	

Figura 44 - Folha de Verificação da temperatura dos redutores

De maneira que as leituras sejam o mais uniformes possível foi feito um ponto a marcador em cada redutor. Este ponto é o local onde deve ser feita a monitorização.

Desta forma garante-se que os dados recolhidos são coerentes independentemente do técnico que as realize. A Figura 45 ilustra precisamente esse ponto.



Figura 45 - Ponto de registo da temperatura

Ao longo do tempo e de várias leituras torna-se possível apurar a temperatura média de cada redutor, bem como o seu desvio-padrão. Deste modo cria-se uma base e torna-se mais simples de identificar alguma anomalia, caso ela exista.

As temperaturas registadas variam consoante a marca e o modelo do redutor, a sua localização, a temperatura ambiente entre outros fatores. A Figura 46 mostra um exemplo de um gráfico com as várias leituras, neste caso, do redutor da nora E2. De uma forma geral, as temperaturas de todos os redutores situam-se entre os 30°C e os 50°C, o que são valores expectáveis e normais para o bom funcionamento dos equipamentos.

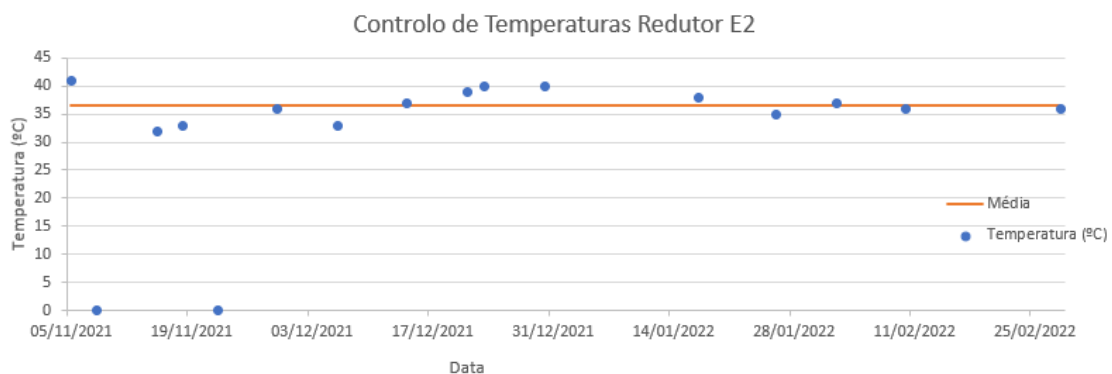


Figura 46 - Temperaturas do Redutor da Nora E2

3.6.4.1 Caso do redutor da Nora E3

À medida que se foram recolhendo dados das temperaturas dos redutores, houve um equipamento que apresentou valores bastante elevados de temperatura: o redutor da nora E3.

A Figura 47 ilustra os dados recolhidos, sendo visível que este equipamento apresenta valores médios na casa dos 67°C.

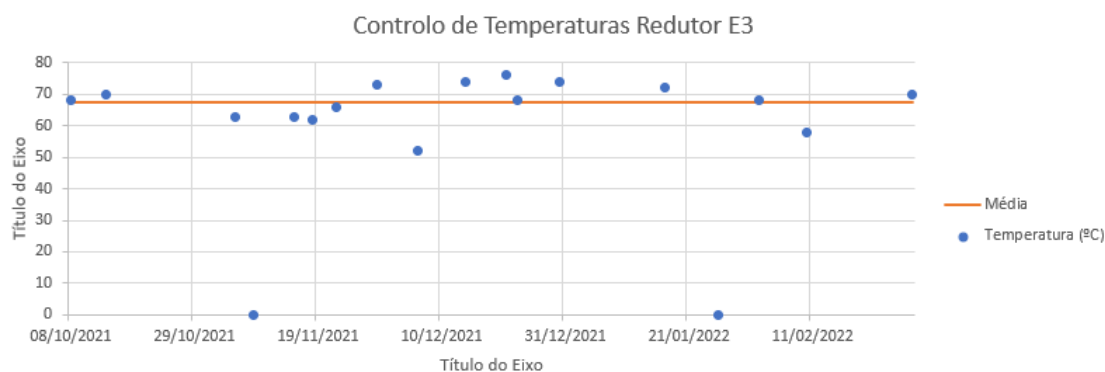


Figura 47 - Temperaturas do Redutor da Nora E3

O manual deste equipamento indica que o mesmo não deve apresentar temperaturas do banho de óleo acima dos 70°C, algo que por vezes não se cumpria.

Alta temperatura do óleo da caixa redutora significa uma diminuição da viscosidade do mesmo podendo causar a redução da espessura de filme lubrificante, aumento da interação dos contaminantes ou rotura do filme lubrificante a elevadas temperaturas e cargas ou no arranque e paragem do equipamento. Tudo isto tem como efeito o desgaste de todos os componentes do equipamento.

De forma a solucionar este problema, foi proposto e aceite a aquisição de um permutador óleo/ar. Deste modo a temperatura do redutor irá baixar para valores mais baixos, mantendo assim a viscosidade pretendida.

A Figura 48 mostra esse mesmo permutador, ainda por montar.



Figura 48 - Permutador óleo-ar do Redutor da Nora E3

Com isto, é expectável que a temperatura do óleo do redutor baixe para valores na casa dos 40°C, mantendo deste modo a sua viscosidade e propriedades durante mais tempo. Assim, a lubrificação dos componentes ocorre de uma forma mais eficaz, reduzindo desta forma o índice de ocorrência de falhas.

3.6.4.2 *Mudança para óleo sintético*

Outra situação verificada no decorrer deste trabalho foi que todos os redutores da empresa contêm óleo mineral.

A lubrificação destes equipamentos é realizada por salpico, em que a engrenagem maior mergulha no óleo, transportando-o e salpicando-o nos pontos de engrenagem e nos rolamentos.

O óleo sintético apresenta um custo superior quando comparado com o óleo mineral, no entanto apresenta outras vantagens, tais como:

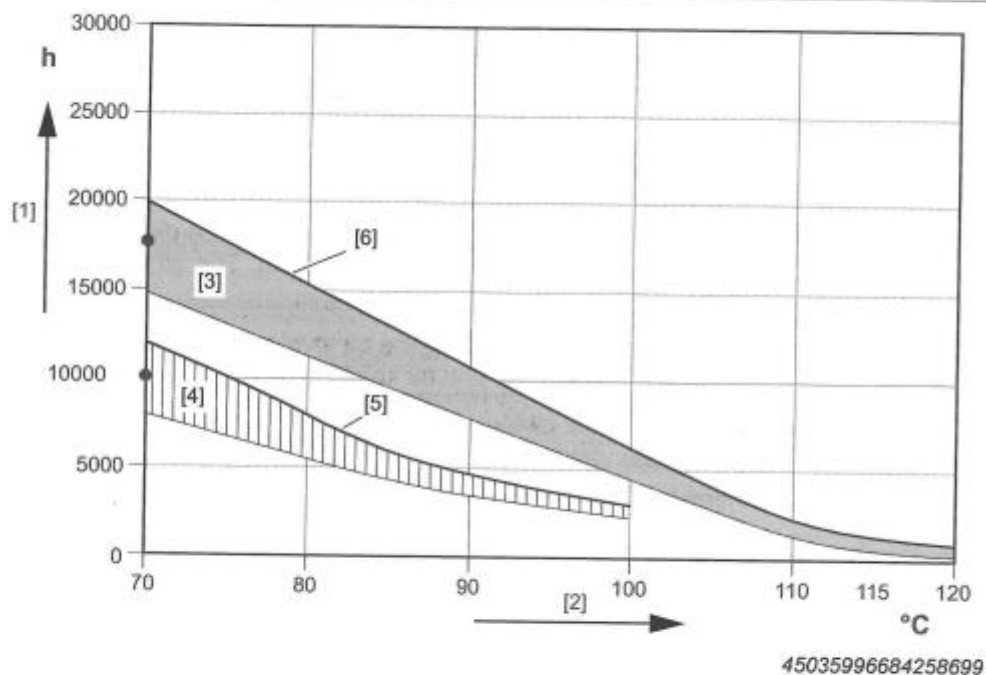
- Melhor desempenho em temperaturas extremas de serviço;
- Melhor estabilidade química;
- Resistência à oxidação, degradação térmica e resíduos de hidrocarbonetos;

- Intervalos de manutenção mais alongados, com o benefício ambiental dos resíduos de óleo;
- Melhor lubrificação durante o tempo frio devido à menor resistência ao escoamento de óleo.

Tal como já foi referido, os redutores das noras são equipamentos críticos da empresa. Como tal, foi proposta e aprovada a substituição do óleo mineral destes equipamentos por óleo sintético.

A poupança mais direta e óbvia será a do aumento dos intervalos de manutenção. A Figura 49 ilustra as diferenças do uso de óleo mineral vs. óleo sintético, consoante as horas de trabalho e a temperatura do óleo.

Mineral CLP lubricants and synthetic polyalphaolefin-based (PAO) lubricants are used for lubrication. The synthetic lubricant CLP HC (according to DIN 51502) shown in the following figure corresponds to the PAO oils.



- [1] Operating hours
- [2] Sustained oil bath temperature – average value per oil type at 70 °C
- [3] CLP HC/CLP HC NSF H1
- [4] CLP (CC)/E
- [5] SEW GearOil Base
- [6] SEW GearOil Synth

Figura 49 - Gráfico representativo da degradação dos óleos minerais vs. óleos sintéticos conforme o aumento de temperatura, retirado do manual de redutores SEW

Com isto, para além do já referido aumento do intervalo de substituição do óleo, espera-se também um acréscimo na qualidade do mesmo que se refletirá numa melhor lubrificação dos componentes dos redutores, diminuindo o seu desgaste, o seu índice de ocorrência de falha e, conseqüentemente o índice RPN.

3.6.5 Resolução dos atascamentos das noras

Um dos maiores problemas na Silos de Leixões é o atascamento (ou entupimento) das noras com produto.

Isto acontece devido à sobrealimentação dos *redlers* R5, R5A, R6, R6A, R7 ou R7A.

A Figura 50 demonstra a análise FMEA das avarias relacionadas com os atascamentos das noras.

Ponto da Falha			Análise da Falha				Avaliação de Risco			
Equipamento	Função do Equipamento	Componente	Falha Funcional	Modo de Falha	Efeitos de Falha	Conseqüências da Falha	Ocorrência	Deteção	Severidade	RPN
Elevador de alcátruzes da nora E1	Transporte vertical de produto	Alcátruzes	Atascamento	Sobrealimentação pelo R5	Acionamento do sensor FME1	Paragem do equipamento	7	6	6	252
				Sobrealimentação pelo R6	Acionamento do sensor FME1	Paragem do equipamento	7	6	6	252
Elevador de alcátruzes da nora E2	Transporte vertical de produto	Alcátruzes	Atascamento	Sobrealimentação pelo R6	Acionamento do sensor FME2	Paragem do equipamento	7	6	6	252
Elevador de alcátruzes da nora E3	Transporte vertical de produto	Alcátruzes	Atascamento	Sobrealimentação pelo R6	Acionamento do sensor FME3	Paragem do equipamento	7	6	6	252
				Sobrealimentação pelo R7	Acionamento do sensor FME3	Paragem do equipamento	7	6	6	252
Elevador de alcátruzes da nora E4A	Transporte vertical de produto	Alcátruzes	Atascamento	Sobrealimentação pelo R5	Acionamento do sensor FME4A	Paragem do equipamento	7	6	5	210
				Sobrealimentação pelo R7	Acionamento do sensor FME4A	Paragem do equipamento	7	6	5	210
Redler R5A	Transporte de produto para o Redler R5	Corrente de arrasto	Atascamento	Sobrealimentação do Redler	Acionamento do sensor de atascamento BGRSA	Paragem do equipamento	6	6	4	144
Redler R5	Transporte de produto para as noras E1 e E4A	Corrente de arrasto	Atascamento	Sobrealimentação do Redler	Acionamento do sensor de atascamento BGR5.1	Paragem do equipamento	6	6	4	144
Redler R6A	Transporte de produto para o Redler R6	Corrente de arrasto	Atascamento	Sobrealimentação do Redler	Acionamento do sensor de atascamento BGR6A	Paragem do equipamento	6	6	5	180
Redler R6	Transporte de produto para as noras E1, E2 e E3	Corrente de arrasto	Atascamento	Sobrealimentação do Redler	Acionamento do sensor de atascamento BGR6.1	Paragem do equipamento	6	6	5	180
Redler R7A	Transporte de produto para o Redler R7	Corrente de arrasto	Atascamento	Sobrealimentação do Redler	Acionamento do sensor de atascamento BGR7A	Paragem do equipamento	6	6	4	144
Redler R7	Transporte de produto para as noras E3 e E4A	Corrente de arrasto	Atascamento	Sobrealimentação do Redler	Acionamento do sensor de atascamento BGR7.1	Paragem do equipamento	6	6	4	144

Figura 50 - Análise FMEA aos atascamentos das noras

Este tipo de falha funcional apresenta índices de ocorrência, deteção e severidade bastante elevados, como tal são os que têm o índice RPN mais alto.

3.6.5.1 Criação de um ficheiro de registo de atascamentos

Os atascamentos normalmente, ocorrem em movimentações de transferências de produto entre silos.

Estas movimentações são operações algo complexas pois têm vários pontos de partida (dependendo do silo que se queira transferir), vários *redlers* que podem ser alimentados, diferentes produtos e várias noras como ponto de chegada.

Como tal, e como se verifica na Figura 51, foi criado um ficheiro de registo de atascamentos. Deste modo espera-se que haja uma melhor clarificação da verdadeira causa-raiz desta falha funcional para que as melhorias a implementar sejam as mais eficazes possíveis.

Registo de Atascamentos de Nora				
Data	Célula	R5 - R6 - R7	E1 - E2 - E3 - E4	Produto
21/12/21	R9 (30%)		E1	Trigo
21/12/21	R5		E4A	Trigo
28/12/21	R9 100%		E1	TRIGO
13/01/22	34	R6	E2	TRIGO
02/02/2022	R9		E1	TRIGO
15/02/2022	12	R6	E2	TRIGO
__/__/__				
__/__/__				
__/__/__				
__/__/__				
__/__/__				
__/__/__				
__/__/__				
__/__/__				
__/__/__				
__/__/__				
__/__/__				
__/__/__				

Figura 51 - Folha de registo de atascamentos das noras

Esta folha contém a data do atascamento, a célula que está a ser transferida, o *redler* usado, a nora atascada e o tipo de produto.

Este é um ficheiro relativamente recente, como tal ainda não há muitos dados que possam ser trabalhados. Assim que isso aconteça tentar-se-á desenvolver uma proposta de melhoria que atue nas causas raiz deste problema.

3.6.5.2 Instalação de um sensor no Redler R6

Tal como mostram os FMEA, o problema dos atascamentos das noras deve-se à sobrealimentação dos *redlers* que alimentam estas mesmas noras. Como a alimentação para estes equipamentos é feita através de queda por gravidade (fluxo variável), é quase impossível controlar o caudal de entrada.

No entanto é possível controlar o caudal instantâneo num dado ponto de um *redler* através da instalação de um sensor capacitivo.

A proposta passou então por instalar dois sensores:

- Um sensor com uma altura a 500 mm do solo do *redler* representativo das 350 ton/h, valor teórico máximo que a nora consegue transportar. Este sensor é apenas indicativo, gerando um aviso à sala de comando que o *redler* pode estar com caudal excessivo;

- Outro sensor com uma altura a 600 mm do solo do *redler* representativo das 380 ton/h, valor prático máximo que a nora consegue transportar. Este sensor quando atingido corta a alimentação elétrica do *redler* fazendo parar o mesmo e deste modo prevenir o atascamento da nora.

Optou-se por colocar dois sensores em detrimento de apenas um pois como a alimentação dos *redlers* não é uniforme, por vezes existem ondulações de produto, e como tal é necessário criar uma margem de segurança operacional. Caso contrário o *redler* poderia estar sempre a parar provocando diminuição da produção, o que obviamente não é o desejável.

Este sensor foi apenas implementado no *redler* R6 pois este é o que consegue transportar mais caudal. De seguida esta solução será implementada, numa primeira fase nos *redlers* R5 e R7, e de seguida nos *redlers* R5A, R6A e R7A.

Com estas mudanças, conseguiu-se baixar os índices de ocorrência e de deteção da falha, resultando num índice RPN significativamente mais baixo.

CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 Conclusões

4.2 Propostas de trabalhos futuros

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 Conclusões

De uma forma geral pode-se considerar que os objetivos traçados aquando do início deste trabalho foram praticamente todos atingidos.

O primeiro objetivo, e a base deste trabalho foram o desenvolvimento de análises FMEA a todos os equipamentos da empresa. Este objetivo foi cumprido com distinção com a elaboração de cerca de 130 análises, uma por cada equipamento.

O segundo objetivo, o mais importante neste trabalho foi o desenvolvimento de um sistema de Manutenção Centrada na Fiabilidade dos equipamentos, algo que foi possível implementar após o cumprimento do primeiro objetivo.

O terceiro e quarto objetivos desta dissertação foram o desenvolvimento de soluções que visassem prolongar o tempo de vida útil dos equipamentos e o desenvolvimento de propostas de melhoria da gestão da manutenção. Ambos os objetivos foram cumpridos com a apresentação de cerca de duas dezenas de propostas de melhoria, sendo que apenas as mais relevantes acabaram por ser descritas neste trabalho. Estas propostas de melhoria tiveram como foco o aumento da disponibilidade dos equipamentos para a produção, a diminuição dos tempos de paragem dos equipamentos em manutenção e a redução de custos inerentes a atividades de manutenção.

Por fim, o quinto e último objetivo foi o carregamento das análises FMEA no sistema de manutenção da empresa. Este objetivo não foi cumprido devido à falta de tempo e de recursos. Deste modo, e em consonância com a empresa, tomou-se a opção estratégica de se realizar este ponto num futuro próximo.

Na Tabela 14 pode-se observar os objetivos propostos na introdução deste trabalho e o respetivo estado de conclusão.

Tabela 14 - Análise dos objetivos propostos

Objetivo	Estado
Desenvolvimento de análises FMEA aos equipamentos da empresa	Concluído
Desenvolvimento de um sistema de Manutenção Centrada na Fiabilidade	Concluído
Desenvolvimento de soluções que visem prolongar o tempo de vida útil dos equipamentos	Concluído
Desenvolvimento de propostas de melhoria da gestão da manutenção	Concluído
Carregamento das análises FMEA no sistema de manutenção da empresa	Não concluído

Este trabalho trouxe inúmeros benefícios para a empresa, no entanto a parte mais visível dos ganhos obtidos foram as propostas de melhoria. Assim, a Tabela 15 mostra algumas das propostas de melhoria e os ganhos que o departamento de manutenção teve com estas.

Tabela 15 - Propostas de melhoria e respetivos ganhos

Proposta de Melhoria	Ganhos da Empresa
Aquisição de um novo redutor para a nora E1	Redução do índice de ocorrência de todos os componentes deste equipamento, um dos mais críticos da empresa.
Alinhamento dos acoplamentos motor-redutor e redutor-nora	Redução do índice de ocorrência de vários componentes de equipamentos críticos; Atualização dos planos de manutenção destes equipamentos.
Análise de vibrações aos redutores das Noras	Redução do índice de deteção de todos os componentes de equipamentos críticos; Atualização dos planos de manutenção destes equipamentos.
Verificação da temperatura dos redutores das noras e <i>redlers</i>	Redução do índice de deteção destes equipamentos; Atualização dos planos de manutenção destes equipamentos.

Aquisição de um permutador para o redutor da nora E3	Redução do índice de ocorrência deste equipamento.
Mudança para óleo sintético do redutor da Nora E3	Redução do índice de ocorrência deste equipamento; Atualização do plano de manutenção.
Instalação de um sensor no Redler R6	Redução do índice de ocorrência deste equipamento; Redução do índice de detecção deste equipamento.

4.2 Propostas de trabalhos futuros

Dado que foi a primeira vez que se fez um trabalho desta magnitude ao nível da fiabilidade dos equipamentos na empresa, há obviamente vários trabalhos que se podem realizar tendo este como base.

O primeiro é o carregamento das análises FMEA no sistema de manutenção da empresa, que tinha sido um dos objetivos para este trabalho, mas que não foi realizado. Com isto seria possível fazer uma gestão mais cuidada e rigorosa da fiabilidade dos componentes, bem como permitir uma maior acessibilidade e facilidade de interpretação a todos os elementos do departamento da manutenção.

Outro trabalho que se deve realizar é a continuação deste mesmo trabalho. Os FMEA e consequentemente o RCM são ferramentas “vivas”, ou seja, têm um início, mas nunca têm um fim pois são processos iterativos de melhoria contínua. Daí a importância de se continuar o trabalho desenvolvido até ao momento por forma a se obter o máximo rendimento destas ferramentas.

Este trabalho incidiu maioritariamente em avarias mecânicas dos equipamentos. No futuro será conveniente alargar o estudo realizado a outro tipo de avarias, nomeadamente elétricas, pneumáticas, hidráulicas, etc.

Por fim, outro trabalho que pode ser realizado e que não foi explorado neste é a utilização dos FMEA para a gestão das peças de reserva, fazendo stocks com base na criticidade do componente, reduzindo assim os custos.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES
DE INFORMAÇÃO**

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- AIAG, & VDA. (2019). *Failure Mode and Effects Analysis - FMEA Handbook*. AIAG and VDA.
- Balaraju, J., Raj, M. G., & Murthy, C. S. (2019). Fuzzy-FMEA risk evaluation approach for LHD machine – A case study. *Journal of Sustainable Mining*, 18(4), 257–268. <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2019.08.002>
- Bertsche, B. (2008). *Reliability in Automotive and Mechanical Engineering*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-34282-3>
- Bloom, N. (2006). *Reliability Centered Maintenance - Implementation made simple*. McGraw-Hill Companies. <https://doi.org/10.1036/0071460691>
- Bokrantz, J., Skoogh, A., Berlin, C., Wuest, T., & Stahre, J. (2020). Smart Maintenance: an empirically grounded conceptualization. *International Journal of Production Economics*, 223(August 2019), 107534. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107534>
- British Standards Institution (BSI). (2010). *BS EN 13306:2010*.
- Cabral, J. P. S. (2006). *Organização e Gestão da Manutenção: dos conceitos à prática* (6ª Edição). LIDEL.
- Campbell, J. D., & Reyes-Picknell, J. V. (2016). *Strategies for Excellence in Maintenance Management*. CRC Press - Taylor & Francis Group, LLC. <https://doi.org/10.1201/b18778-14>
- Cao, Y. (2021). Modeling the effects of dependence between competing failure processes on the condition-based preventive maintenance policy. *Applied Mathematical Modelling*, 99, 400–417. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2021.06.027>
- Carlson, C. S. (2012). *Effective FMEAs - Achieving Safe, Reliable and Economical Products and Processes Using Failure Mode and Effects Analysis*. John Wiley & Sons Inc.
- Cepin, M., & Bris, R. (2017). *Safety and Reliability. Theory and Applications*. CRC Press/Balkema - Taylor & Francis Group.
- Chin, K. S., Chan, A., & Yang, J. B. (2007). Development of a fuzzy FMEA based product design system. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36(7–8), 633–649. <https://doi.org/10.1007/s00170-006-0898-3>
- Chrysler LLC, Ford Motor Company, & General Motors Corporation. (2008). *Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial*.
- Denson, W. (2006). *Reliability Modeling: The RIAC Guide to Reliability Prediction, Assessment and Estimation* (Vol. 1, Issue May). Quanterion Solutions Incorporated.
- Enjavimadar, M., & Rastegar, M. (2021). Optimal reliability-centered maintenance strategy based on the failure modes and effect analysis in power distribution systems. *Electric Power Systems Research*, 203(June 2021). <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2021.107647>
- Eriksen, S., Utne, I. B., & Lützen, M. (2021). An RCM approach for assessing reliability

- challenges and maintenance needs of unmanned cargo ships. *Reliability Engineering & System Safety*, 210, 107550. <https://doi.org/10.1016/J.RESS.2021.107550>
- Erkoyuncu, J. A., Khan, S., Eiroa, A. L., Butler, N., Rushton, K., & Brocklebank, S. (2017). Perspectives on trading cost and availability for corrective maintenance at the equipment type level. *Reliability Engineering and System Safety*, 168, 53–69. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2017.05.041>
- Filz, M. A., Langner, J. E. B., Herrmann, C., & Thiede, S. (2021). Data-driven failure mode and effect analysis (FMEA) to enhance maintenance planning. *Computers in Industry*, 129, 103451. <https://doi.org/10.1016/J.COMPIND.2021.103451>
- Gabbar, H. A., Yamashita, H., Suzuki, K., & Shimada, Y. (2003). Computer-aided RCM-based plant maintenance management system. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 19(5), 449–458. [https://doi.org/10.1016/S0736-5845\(03\)00031-0](https://doi.org/10.1016/S0736-5845(03)00031-0)
- Hodkiewicz, M., Klüwer, J. W., Woods, C., Smoker, T., & Low, E. (2021). An ontology for reasoning over engineering textual data stored in FMEA spreadsheet tables. *Computers in Industry*, 131. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103496>
- Jaramillo, V., Bouhmala, N., & Haugen, A. (2020). Developing a predictive maintenance model for vessel machinery. *Journal of Ocean Engineering and Science*, 5, 358–386. <https://doi.org/10.1016/j.joes.2020.03.003>
- Jianxing, Y., Shibo, W., Haicheng, C., Yang, Y., Haizhao, F., & Jiahao, L. (2021). Risk assessment of submarine pipelines using modified FMEA approach based on cloud model and extended VIKOR method. *Process Safety and Environmental Protection*, 155, 555–574. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.09.047>
- Kans, M., Campos, J., & Håkansson, L. (2020). A remote laboratory for Maintenance 4.0 training and education. *IFAC-PapersOnLine*, 53(3), 101–106. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.11.016>
- Kardos, P., Lahuta, P., & Hudakova, M. (2021). Risk Assessment Using the FMEA method in the Organization of Running Events. *Transportation Research Procedia*, 55, 1538–1546. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.07.143>
- Liu, H. C. (2016). FMEA Using Uncertainty Theories and MCDM Methods. In *Springer*. Springer Science. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-1466-6>
- Márquez, A. C. (2012). The Maintenance Management Framework. In *Springer Series in Reliability Engineering*. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-2757-4_5
- Martínez, L. B., Márquez, A. C., Leon, P. M. De, & Díaz, V. G.-P. (2012). A practical method for the maintainability assessment in industrial devices using indicators and specific attributes. *Reliability Engineering & System Safety*, 100, 84–92. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2011.12.018>
- McDermott, R. E., Mikulak, R. J., & Beauregard, M. R. (2009). The Basics Of FMEA. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Second Edi). Productivity Press - Taylor and Francis Group, LLC.
- Mobley, R. K. (2008). Maintenance Engineering Handbook. In *Springer Series in Reliability Engineering* (Seventh Ed, Vol. 8). McGraw-Hill Companies. https://doi.org/10.1007/978-1-84800-011-7_17
- Moubray, J. (1997). Reliability Centered Maintenance. In *Nuclear Plant Journal* (Second Edi, Vol. 9, Issue 3).
- Nabilah, N., Syahrizal, I., Izieadiana, N., Mat, F., Zainab, N., & Azizan, N. (2021). Review on maintenance issues toward building maintenance management best practices.

- Journal of Building Engineering*, 44(October 2020), 102985.
<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102985>
- NASA. (2008). Reliability-Centered Maintenance Guide For Facilities and Collateral Equipment. *Nasa*, September.
<http://www.crcnetbase.com/doi/10.1201/9781420031843.ch6>
- Norma NP EN 13306. (2017). In *International Electrotechnical Commission* (Vol. 2017).
- Norma SAE J1739. (2021). https://doi.org/https://doi.org/10.4271/J1739_202101
- Norma SAE JA1012. (2011). https://doi.org/https://doi.org/10.4271/JA1012_200201
- Nowlan, F., & Heap, H. (1978). *Reliability Centered Maintenance*. Dolby Access Press.
- Osarenren, J. (2015). *Integrated Reliability: Condition Monitoring and Maintenance of Equipment* (CRC Press). CRC Press - Taylor & Francis Group, LLC.
- Pinto, G., Silva, F. J. G., Baptista, A., Fernandes, N. O., Casais, R., & Carvalho, C. (2021). TPM implementation and maintenance strategic plan – a case study. *Procedia Manufacturing*, 51(2020), 1423–1430.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.198>
- Qin, J., Xi, Y., & Pedrycz, W. (2020). Failure mode and effects analysis (FMEA) for risk assessment based on interval type-2 fuzzy evidential reasoning method. *Applied Soft Computing Journal*, 89, 106134. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106134>
- Qualitytrainingportal.com. (n.d.). *History of FMEAs*.
<https://qualitytrainingportal.com/resources/fmea-resource-center/fmea-history/>
- Ribas, J. R., Severo, J. C. R., Guimarães, L. F., & Perpetuo, K. P. C. (2021). A fuzzy FMEA assessment of hydroelectric earth dam failure modes: A case study in Central Brazil. *Energy Reports*, 7, 4412–4424. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.07.012>
- Sifonte, J. R., & Reyes-Picknell, J. V. (2017). Reliability Centered Maintenance-Reengineered. In *Reliability Centered Maintenance-Reengineered*. CRC Press - Taylor & Francis Group, LLC. <https://doi.org/10.1201/9781315207179>
- Sikorska, J. Z., Hodkiewicz, M., & Ma, L. (2011). Prognostic modelling options for remaining useful life estimation by industry. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 25(5), 1803–1836. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2010.11.018>
- Smith, R., & Mobley, R. K. (2008). *Rules of Thumb for Maintenance and Reliability Engineers* (Issue April).
- Stamatis, D. H. (2015). The ASQ Pocket Guide to Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). In *American Society for Quality*. <http://www.asq.org/quality-press>.
- Stamatis, D. H. (2019). *Risk Management Using Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)*. American Society for Quality.
- Subriadi, A. P., & Najwa, N. F. (2021). The consistency analysis of failure mode and effect analysis (FMEA) in information technology risk assessment. *Heliyon*, 6(1), e03161. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03161>
- Teixeira, H. N., Lopes, I., & Braga, A. C. (2020). Condition-based maintenance implementation: A literature review. *Procedia Manufacturing*, 51(2019), 228–235. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.033>
- Teles, J. (2019). *Bíblia do RCM*. Engeteles.
- Tortorella, G. L., Fogliatto, F. S., Cauchick-Miguel, P. A., Kurnia, S., & Jurburg, D. (2021). Integration of Industry 4.0 technologies into Total Productive Maintenance practices. *International Journal of Production Economics*, 240(July), 108224.

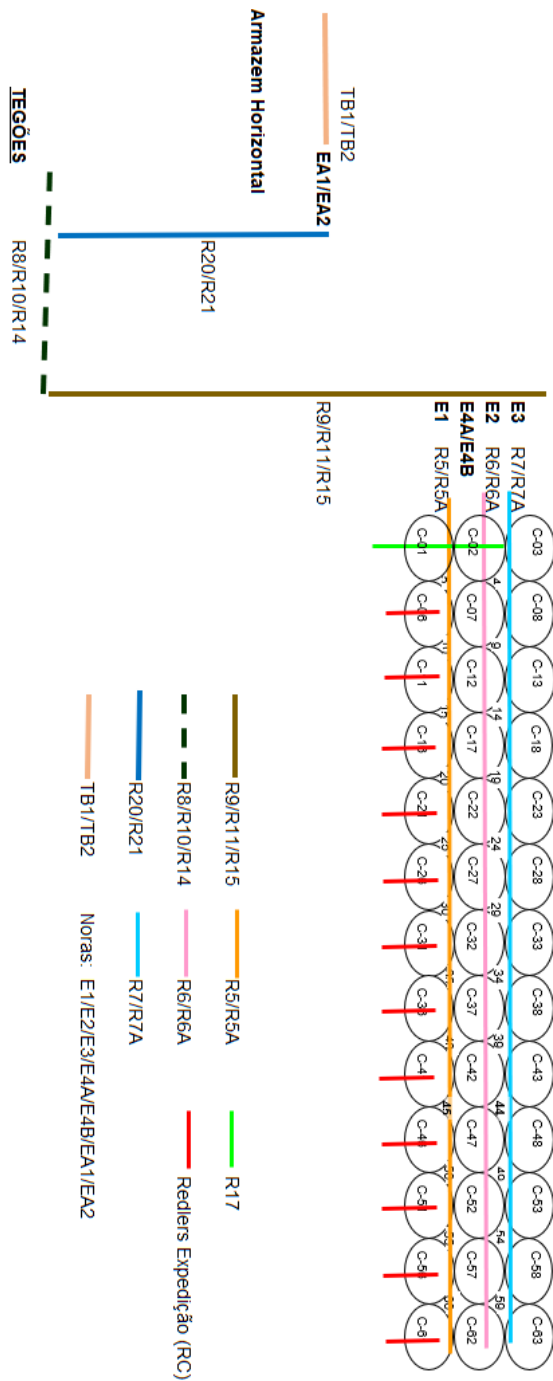
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108224>

- Wireman, T. (2015). Benchmarking Best Practices in Maintenance, Reliability and Asset Management: Updated for ISO 55000. In *Industrial Press, Inc.* (Third Edit). Industrial Press, Inc.
- Yang, G. (2007). *Life Cycle Reliability Engineering*. John Wiley & Sons Inc.
- Zakikhani, K., Nasiri, F., & Zayed, T. (2020). Availability-based reliability-centered maintenance planning for gas transmission pipelines. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 183(October 2019), 104105. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2020.104105>
- Zhang, Z., Tang, Q., & Chica, M. (2021). Maintenance costs and makespan minimization for assembly permutation flow shop scheduling by considering preventive and corrective maintenance. *Journal of Manufacturing Systems*, 59(November 2020), 549–564. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.03.020>
- Zheng, R., & Zhou, Y. (2021). Comparison of three preventive maintenance warranty policies for products deteriorating with age and a time-varying covariate. *Reliability Engineering and System Safety*, 213, 107676. <https://doi.org/10.1016/j.res.2021.107676>
- Zhu, X., Chen, Z., & Borgonovo, E. (2021). Remaining-useful-lifetime and system-remaining-profit based importance measures for decisions on preventive maintenance. *Reliability Engineering and System Safety*, 216(August), 107951. <https://doi.org/10.1016/j.res.2021.107951>

ANEXOS

6 ANEXOS

6.1 Esquema Operativo da Galeria Inferior



6.3 Análise FMEA Redutor Nora E1

FMEA para Plano de Manutenção										
Máquina: Nora E1		Equipamento: Redutor da Nora E1				Elaborado por: Orlando Pinto				
Código de equipamento: EN-0001		Sistema: Mecânico				Revisão por: Joaquim Reis				
Revisão Nº: 1		Data de Início: 19/04/2021								
Ponto da Falha			Análise da Falha				Avaliação de Risco			
Equipamento	Função do Equipamento	Componente	Falha Funcional	Modo de Falha	Efeitos de Falha	Consequências da Falha	Ocorrência	Deteção	Severidade	RPN
Redutor Nora E1 Olimar CUDH5	Reduzir a velocidade de saída do motor elétrico ME-0001	Retentor de entrada 90x125x15	Desgaste da borraça	Contaminação do vedante (entrada de poeiras)	Vazamento de óleo para o exterior	Passível gripegem dos componentes; Paragem do equipamento	1	3	6	18
				Elevada pressão de operação	Vazamento de óleo para o exterior	Passível gripegem dos componentes; Paragem do equipamento	1	3	6	18
		Rolamento de rolos de entrada do veio de carreto de entrada Ref. 22219 HL	Desgaste do rolamento	Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível motor-reductor; Desgaste do retentor; Passível paragem do equipamento	2	8	6	96
				Contaminação do rolamento (poeiras, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste do retentor; Passível paragem do equipamento	2	8	6	96
				Desalinhamento do veio	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível motor-reductor; Desgaste do retentor; Passível paragem do equipamento	2	8	6	96
				Montagem defeituosa	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível motor-reductor; Desgaste do retentor; Passível paragem do equipamento	2	8	6	96
				Fim de vida útil	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível motor-reductor; Desgaste do retentor; Passível paragem do equipamento	2	8	6	96
		Veio de carreto de entrada Ø85 mm, Z=10	Desgaste dos dentes do carreto	Lubrificação deficiente	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Desalinhamento dos dentes	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
		Veio de carreto de entrada Ø85 mm, Z=10	Desgaste do veio	Desalinhamento do veio	Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução de espessura do veio; Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Contaminação do retentor	Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução de espessura do veio; Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Sobrecarga na operação	Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução de espessura do veio; Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Defeito de montagem	Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
		Chaveta do veio de carreto de entrada	fratura da chaveta	Folga na chaveta	Aumento de ruído; Aumento de vibração	Fissura no veio; Paragem do equipamento	1	9	6	54
		Rolamento de rolos de saída do veio de carreto de entrada Ref. 21319	Desgaste do rolamento	Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste do retentor; Desalinhamento do acoplamento flexível motor-reductor; Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Contaminação do rolamento (poeiras, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste do retentor; Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Desalinhamento do veio	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível motor-reductor; Desgaste do retentor; Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Montagem defeituosa	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível motor-reductor; Desgaste do retentor; Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Fim de vida útil	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível motor-reductor; Desgaste do retentor; Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
		Rolamento de rolos oposto ao rolamento anti-retorno Ref. 23122 HL	Desgaste do rolamento	Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos, deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Contaminação do rolamento (partes de dentes, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos, deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Desalinhamento do veio	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos, deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Montagem defeituosa	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos, deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Fim de vida útil	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos, deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
		Veio de carreto de 2ª redução Ø100 mm, Z=15	Desgaste dos dentes do carreto	Lubrificação deficiente	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Desalinhamento dos dentes	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
			Desgaste do veio	Desalinhamento do veio	Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução da espessura do veio; Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Contaminação do retentor	Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução da espessura do veio; Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Folga entre o veio e a chaveta	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Fissura no veio; Paragem do equipamento	2	9	6	108
				Sobrecarga na operação	Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução da espessura do veio; Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
Roda cônica Z=44	Desgaste dos dentes	Defeito de montagem	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Passível paragem do equipamento	2	8	6	96		
		Lubrificação deficiente	Aumento de ruído; Aumento de vibração	Passível paragem do equipamento	2	8	6	96		
		Desalinhamento dos dentes	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Passível paragem do equipamento	2	8	6	96		
Chaveta do veio de carreto de 2ª redução	fratura da chaveta	Folga na chaveta	Aumento de ruído; Aumento de vibração	Fissura no veio; Paragem do equipamento	1	9	6	54		

SILOS DE LEIXÕES		FMEA para Plano de Manutenção									
Máquina: Nara E1		Equipamento: Redutor da Nara E1				Elaborado por: Orlando Pinto					
Código de equipamento: EN-0001		Sistema: Mecânica				Revisão por: Joaquim Reis					
Revisão Nº: 1		Data de Início: 19/04/2021									
Ponto de Falha			Análise da Falha				Avaliação de Risco				
Equipamento	Função do Equipamento	Componente	Falha Funcional	Modo de Falha	Efeitos de Falha	Consequências da Falha	Ocorrência	Deteção	Severidade	RPN	
Redutor Nara E1 Olimar CUDHS	Reduzir a velocidade de saída do motor elétrico ME-0001	Rolamento anti-retorno de rolos cônicos do veio de 2ª redução Ref. 30220 A	Desgaste do rolamento	Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Afastamento da nara; Sobrecarga do moler; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Contaminação do rolamento (partes de outros componentes, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Afastamento da nara; Sobrecarga do moler; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Desalinhamento do veio	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Afastamento da nara; Sobrecarga do moler; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Fim de vida útil	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Afastamento da nara; Sobrecarga do moler; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
		Rolamento de rolos de entrada do veio de saída Ref. 23130 HL	Desgaste do rolamento	Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Contaminação do rolamento (poeiras, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Desalinhamento do veio	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Fim de vida útil	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
		Roda do veio de saída Z=94	Desgaste das dentadas	Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Possível paragem do equipamento	1	9	6	54	
				Desalinhamento das dentadas	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Possível paragem do equipamento	1	9	6	54	
				Defeito de montagem	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Possível paragem do equipamento	1	9	6	54	
		Veio de saída	Desgaste do veio	Desalinhamento do veio	Aumento de vibração; Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução da espessura do veio; Possível paragem do equipamento	1	9	6	54	
				Contaminação do retentor	Aumento de vibração; Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução da espessura do veio; Possível paragem do equipamento	1	9	6	54	
				Folga entre o veio e a chaveta	Aumento de ruído; Aumento de vibração	Fissura do veio; Paragem do equipamento	1	9	6	54	
				Sobrecarga na operação	Aumento de vibração; Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução da espessura do veio; Possível paragem do equipamento	1	9	6	54	
				Defeito de montagem	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Possível paragem do equipamento	1	9	6	54	
		Chaveta do veio de saída	Fratura da chaveta	Folga na chaveta	Aumento de ruído; Aumento de vibração	Fissura do veio; Paragem do equipamento	1	9	6	54	
		Rolamento de rolos de saída do veio de saída Ref. 23130 HL	Desgaste do rolamento	Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível redutor-nara; Desgaste do retentor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Contaminação do rolamento (poeiras, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste do retentor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Desalinhamento do veio	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível redutor-nara; Desgaste do retentor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Montagem defeituosa	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível redutor-nara; Desgaste do retentor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Fim de vida útil	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível redutor-nara; Desgaste do retentor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
		Retentor de saída 14x170x15	Desgaste da borracha	Contaminação do vedante (entrada de poeiras)	Vazamento de óleo para o exterior	Possível gripagem dos componentes; Paragem do equipamento	1	3	6	18	
				Elevada pressão de operação	Vazamento de óleo para o exterior	Possível gripagem dos componentes; Paragem do equipamento	1	3	6	18	
Acoplamento flexível moler-redutor Renold	Desalinhamento das rodas	Montagem defeituosa	Desalinhamento dos acoplamentos	Danos nos componentes internos do redutor; Danos nos componentes internos do moler; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108			
		Folga nos parafusos	Afastamento dos acoplamentos entre si; Desalinhamento dos acoplamentos	Danos nos componentes internos do redutor; Danos nos componentes internos do moler; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108			
		Desgaste dos rolamentos do redutor	Aumento de vibração; Aumento de ruído	Danos nos componentes internos do redutor; Paragem do equipamento	2	9	6	108			
		Desgaste da borracha estrela	Aumento de ruído; Aumento de vibração	Possível paragem do equipamento	2	5	6	60			
Acoplamento flexível redutor-nara Olimar	Desalinhamento das rodas	Fratura da chaveta	Folga na chaveta	Paragem do equipamento	1	5	6	30			
		Montagem defeituosa	Desalinhamento dos acoplamentos	Danos nos componentes internos do redutor; Desalinhamento da cilha; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108			
		Folga nos parafusos	Afastamento dos acoplamentos entre si; Desalinhamento dos acoplamentos	Danos nos componentes internos do redutor; Desalinhamento da cilha; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108			
		Desgaste das borrachas	Aumento de ruído; Aumento de vibração	Possível paragem do equipamento	2	5	6	60			
Fratura da chaveta	Folga na chaveta	Folga na chaveta	Aumento de ruído; Aumento de vibração	Paragem do equipamento	1	5	6	30			

6.4 Análise FMEA Redutor Novo Nora E1


SILOS DE LEIXÕES		FMEA para Plano de Manutenção						Elaborado por: Orlando Pinto					
Máquina: Nora E1		Equipamento: Redutor da Nora E3								Revisão Nº: 1			
Código de equipamento: EN-1001		Sistema: Mecânico								Data de Início: 30/09/2021			
Revisão Nº: 1		Data de Início: 30/09/2021								Revisão por: Joaquim Reis			
Ponto da Falha			Análise da Falha				Avaliação de Risco						
Equipamento	Função do Equipamento	Componente	Falha Funcional	Modo de Falha	Efeitos de Falha	Consequências da Falha	Ocorrência	Deteção	Severidade	RPN			
Redutor Nora E1 SEW X3K5160/B	Reduzir a velocidade de saída do motor elétrica ME-0001	Refletor de entrada do veio de entrada 65x90x10	Desgaste e da borachas	Contaminação do vedante (entrada de poeiras) Elevado pressão de operação	Vazamento de óleo para o exterior Vazamento de óleo para o exterior	Possível gripegem dos componentes; Paragem do equipamento	1	3	6	18			
		Ventilador	Ventilador não funciona Ventilador funciona mas não refrigera	Parafusos de fixação partidos Corrosão das pás No partida	Sobreaquecimento do motor Sobreaquecimento do motor	Possível paragem do equipamento Possível paragem do equipamento	1	5	2	10			
		Rolamento de rolos cónicos de entrada do veio de entrada Ref. 323148	Desgaste e do rolamento	Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento a flexível motor-reductor; Desgaste do refletor; Possível paragem do equipamento	1	8	6	48			
				Contaminação do rolamento (poeiras, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste do refletor; Possível paragem do equipamento	1	8	6	48			
				Desalinhamento do veio	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento a flexível motor-reductor; Desgaste do refletor; Possível paragem do equipamento	1	8	6	48			
				Montagem defeituosa	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento a flexível motor-reductor; Desgaste do refletor; Possível paragem do equipamento	1	8	6	48			
		Veio de carreto de entrada	Desgaste e dos dentes do carreto	Lubrificação deficiente	Aumento de temperatura; Aumento de vibração; Aumento de ruído	Possível paragem do equipamento	1	9	6	54			
				Desalinhamento dos dentes	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Possível paragem do equipamento	1	9	6	54			
			Desgaste e do veio	Desalinhamento do veio	Aumento de vibração; Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução de espessura do veio; Possível paragem do equipamento	1	9	6	54			
				Contaminação do refletor	Aumento de vibração; Aumento de ruído	Redução de espessura do veio; Possível paragem do equipamento	1	9	6	54			
				Sobrecarga na operação	Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução de espessura do veio; Possível paragem do equipamento	1	9	6	54			
		Chaveta do veio de carreto de entrada	Fratura da chaveta	Folga na chaveta	Aumento de temperatura; Aumento de vibração	Fissura no veio; Paragem do equipamento	1	9	6	54			
		Rolamento de rolos cónicos de saída do veio de entrada Ref. 323148	Desgaste e do rolamento	Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste do refletor; Possível paragem do equipamento	1	9	6	54			
				Contaminação do rolamento (poeiras, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste do refletor; Possível paragem do equipamento	1	9	6	54			
				Desalinhamento do veio	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste do refletor; Possível paragem do equipamento	1	9	6	54			
				Montagem defeituosa	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste do refletor; Possível paragem do equipamento	1	9	6	54			
				Fim de vida útil	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste do refletor; Possível paragem do equipamento	1	9	6	54			
		Rolamento de rolos cónicos de entrada do veio de 1ª redução Ref. 323158	Desgaste e do rolamento	Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Possível paragem do equipamento	1	9	6	54			
				Contaminação do rolamento (partes de dentes, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Possível paragem do equipamento	1	9	6	54			
				Desalinhamento do veio	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Possível paragem do equipamento	1	9	6	54			
				Montagem defeituosa	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Possível paragem do equipamento	1	9	6	54			
				Fim de vida útil	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Possível paragem do equipamento	1	9	6	54			
		Roda cónica	Desgaste e dos dentes	Lubrificação deficiente	Aumento de temperatura; Aumento de vibração	Possível paragem do equipamento	1	9	6	54			
				Desalinhamento dos dentes	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Possível paragem do equipamento	1	9	6	54			
				Defeito de montagem	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Possível paragem do equipamento	1	9	6	54			
				Chaveta da roda cónica	Fratura da chaveta	Folga na chaveta	Aumento de ruído; Aumento de vibração	Fissura no veio; Paragem do equipamento	1	9	6	54	
		Veio de carreto de 1ª redução	Desgaste e dos dentes do carreto	Lubrificação deficiente	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Possível paragem do equipamento	1	9	6	54			
				Desalinhamento dos dentes	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Possível paragem do equipamento	1	9	6	54			
Desgaste e do veio	Desalinhamento do veio		Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução da espessura do veio; Possível paragem do equipamento	1	9	6	54					
	Contaminação do refletor		Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução da espessura do veio; Possível paragem do equipamento	1	9	6	54					
	Folga entre o veio e a chaveta		Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Fissura do veio; Paragem do equipamento	1	9	6	54					
	Sobrecarga na operação		Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução da espessura do veio; Possível paragem do equipamento	1	9	6	54					
	Defeito de montagem		Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Possível paragem do equipamento	1	9	6	54					
Rolamento de rolos cónicos de saída do veio de 1ª redução Ref. 323158	Desgaste e do rolamento	Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Possível paragem do equipamento	1	9	6	54					
		Contaminação do rolamento (partes de dentes, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Possível paragem do equipamento	1	9	6	54					
		Desalinhamento do veio	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Possível paragem do equipamento	1	9	6	54					
		Montagem defeituosa	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Possível paragem do equipamento	1	9	6	54					
		Fim de vida útil	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Possível paragem do equipamento	1	9	6	54					

SILOS DE LEIXÕES		FMEA para Plano de Manutenção										
Máquina: Nora E1		Equipamento: Redutor da Nora E3				Elaborado por: Orlando Pinto						
Código de equipamento: EN-1001		Sistema: Mecânico				Revisão por: Joaquim Reis						
Revisão Nº: 1		Data de Início: 30/09/2021										
Ponto da Falha			Análise da Falha				Avaliação de Risco					
Equipamento	Função do Equipamento	Componente	Falha Funcional	Modo de Falha	Efeitos de Falha	Consequências da Falha	Ocorrência	Deteção	Severidade	RPN		
Redutor Nora E1 SEW XKS140/8	Reduzir a velocidade de saída do motor elétrico ME-0001	Rolamento de rolos cônicos de entrada do veio de 2ª redução Ref. 32318	Desgaste e do rolamento	Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Paragem do equipamento	1	9	6	54		
				Contaminação do rolamento (poeiras, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Paragem do equipamento	1	9	6	54		
				Desalinhamento do veio	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Paragem do equipamento	1	9	6	54		
				Fim de vida útil	Aquecimento do rolamento; Aumento de vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Paragem do equipamento	1	9	6	54		
		Roda dentada do veio de 2ª redução	Desgaste dos dentes	Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de temperatura;	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Paragem do equipamento	1	9	6	54		
				Desalinhamento dos dentes	Aumento de ruído; Aumento de temperatura;	Paragem do equipamento	1	9	6	54		
				Defeito de montagem	Aumento de ruído; Aumento de vibração	Paragem do equipamento	1	9	6	54		
		Veio de carreto de 2ª redução	Desgaste do veio	Chaveta da roda dentada do veio de 2ª redução	Fatiga na chaveta	Falga na chaveta	Aumento de ruído; Aumento de vibração	Fissura do veio; Paragem do equipamento	1	9	6	54
				Desalinhamento do veio	Aumento de vibração; Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução da espessura do veio; Paragem do equipamento	1	9	6	54		
					Contaminação do retentor	Aumento de vibração; Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução da espessura do veio; Paragem do equipamento	1	9	6	54	
					Falga entre o veio e a chaveta	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Fissura do veio; Paragem do equipamento	1	9	6	54	
		Rolamento de rolos cônicos de saída do veio de 2ª redução Ref. 32318	Desgaste e do rolamento	Desalinhamento do veio	Sobrecarga na operação	Aumento de temperatura; Aumento de vibração; Aumento de ruído	Redução da espessura do veio; Paragem do equipamento	1	9	6	54	
					Defeito de montagem	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Paragem do equipamento	1	9	6	54	
					Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Paragem do equipamento	1	9	6	54	
					Contaminação do rolamento (poeiras, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Paragem do equipamento	1	9	6	54	
		Rolamento de rolos cônicos de entrada do veio de saída Ref. 32032	Desgaste e do rolamento	Desalinhamento do veio	Fim de vida útil	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Paragem do equipamento	1	9	6	54	
					Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível reductor-nora; Desgaste do retentor; Paragem do equipamento	1	9	6	54	
					Contaminação do rolamento (poeiras, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste do retentor; Paragem do equipamento	1	9	6	54	
					Desalinhamento do veio	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível reductor-nora; Desgaste do retentor; Paragem do equipamento	1	9	6	54	
		Roda dentada do veio de saída	Desgaste dos dentes	Desalinhamento do veio	Montagem defeituosa	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível reductor-nora; Desgaste do retentor; Paragem do equipamento	1	9	6	54	
					Fim de vida útil	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível reductor-nora; Desgaste do retentor; Paragem do equipamento	1	9	6	54	
					Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Paragem do equipamento	1	9	6	54	
					Desalinhamento dos dentes	Aumento de ruído; Aumento de temperatura; Aumento de vibração	Paragem do equipamento	1	9	6	54	
		Veio de saída	Desgaste do veio	Desalinhamento do veio	Defeito de montagem	Aumento de ruído; Aumento de vibração	Paragem do equipamento	1	9	6	54	
Desalinhamento do veio	Aumento de temperatura; Aumento de ruído				Redução da espessura do veio; Paragem do equipamento	1	9	6	54			
Contaminação do retentor	Aumento de temperatura; Aumento de ruído				Redução da espessura do veio; Paragem do equipamento	1	9	6	54			
Falga entre o veio e a chaveta	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração				Fissura do veio; Paragem do equipamento	1	9	6	54			
Chaveta do veio de saída	Fratura da chaveta	Desalinhamento do veio	Sobrecarga na operação	Aumento de vibração; Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução da espessura do veio; Paragem do equipamento	1	9	6	54			
			Defeito de montagem	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Paragem do equipamento	1	9	6	54			
			Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível reductor-nora; Desgaste do retentor; Paragem do equipamento	1	9	6	54			
			Contaminação do rolamento (poeiras, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste do retentor; Paragem do equipamento	1	9	6	54			
Rolamento de rolos cônicos de saída do veio de saída Ref. 32034	Desgaste e do rolamento	Desalinhamento do veio	Montagem defeituosa	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível reductor-nora; Desgaste do retentor; Paragem do equipamento	1	9	6	54			
			Fim de vida útil	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível reductor-nora; Desgaste do retentor; Paragem do equipamento	1	9	6	54			
			Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível reductor-nora; Desgaste do retentor; Paragem do equipamento	1	9	6	54			
			Contaminação do rolamento (poeiras, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste do retentor; Paragem do equipamento	1	9	6	54			
Retentor de saída 170x200x15	Desgaste e da baracha	Desalinhamento do veio	Contaminação do vedante (entreda de poeiras)	Vazamento de óleo para o exterior	Paragem do equipamento	1	3	6	18			
			Elevada pressão de operação	Vazamento de óleo para o exterior	Paragem do equipamento	1	3	6	18			

SILOS DE LEIXÕES		FMEA para Plano de Manutenção								
Máquina: Nora E1		Equipamento: Redutor da Nora E3			Elaborado por: Orlando Pinto					
Código de equipamento: EN-1001		Sistema: Mecânico			Revisão por: Joaquim Reis					
Revisão Nº: 1		Data de Início: 30/09/2021								
Ponto da Falha			Análise da Falha				Avaliação de Risco			
Equipamento	Função do Equipamento	Componente	Falha Funcional	Modo de Falha	Efeitos de Falha	Consequências da Falha	Ocorrência	Deteção	Severidade	RPN
Redutor Nora E1 SEW X3K3160/B	Reduzir a velocidade de saída do motor elétrico ME-0001	Acoplamento flexível motor/redutor Renold	Desalinhamento das rodas	Montagem defeituosa	Desalinhamento dos acoplamentos	Danos nos componentes internos do redutor; Danos nos componentes internos do motor Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Folga nos parafusos	Afastamento dos acoplamentos entre si; Desalinhamento dos acoplamentos	Danos nos componentes internos do redutor; Danos nos componentes internos do motor Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Desgaste dos rolamentos do redutor	Aumento de vibração; Aumento de ruído	Danos nos componentes internos do redutor; Paragem do equipamento	2	9	6	108
				Desgaste da borracha estreita	Aumento de ruído; Aumento de vibração	Possível paragem do equipamento	2	5	6	60
				Fraturo da chaveta	Folga na chaveta Aumento de ruído; Aumento de vibração	Paragem do equipamento	1	5	6	30
		Acoplamento flexível redutor/nora Olimar	Desalinhamento das rodas	Montagem defeituosa	Desalinhamento dos acoplamentos	Danos nos componentes internos do redutor; Desalinhamento da cilha; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Folga nos parafusos	Afastamento dos acoplamentos entre si; Desalinhamento dos acoplamentos	Danos nos componentes internos do redutor; Desalinhamento da cilha; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Desgaste das borrachas	Aumento de ruído; Aumento de vibração	Possível paragem do equipamento	2	5	6	60
				Fraturo da chaveta	Folga na chaveta Aumento de ruído; Aumento de vibração	Paragem do equipamento	1	5	6	30

6.5 Análise FMEA Redutor Nora E2

FMEA para Plano de Manutenção										
Máquina: Nora E2 Código de equipamento: EN-0002 Revisão Nº: 1		Equipamento: Redutor da Nora E2 Sistema: Mecânico Data de Início: 20/04/2021			Elaborado por: Orlando Pinto Revisão por: Joaquim Reis					
Ponto da Falha			Análise da Falha				Avaliação de Risco			
Equipamento	Função do Equipamento	Componente	Falha Funcional	Modo de Falha	Efeitos de Falha	Consequências da Falha	Ocorrência	Deteção	Severidade	RPN
Redutor Nora E2 Oleomar CUDHS	Reduzir a velocidade de saída do motor elétrico ME-0002	Vedante de entrada 90x125x15	Desgaste e da borracha	Contaminação do vedante (entrada de poeiras)	Vazamento de óleo para o exterior	Passível gripegem dos componentes; Paragem do equipamento	1	3	6	18
				Elevada pressão de operação	Vazamento de óleo para o exterior	Passível gripegem dos componentes; Paragem do equipamento	1	3	6	18
		Rolamento de rolos de entrada do veio de carreto de entrada Ref. 22219 HL	Desgaste e do rolamento	Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível motor-reductor; Desgaste do retentor; Passível paragem do equipamento	2	8	6	96
				Contaminação do rolamento (poeiras, etc.)	Aquecimento do rolamento; Aumento de ruído	Desgaste do retentor; Passível paragem do equipamento	2	8	6	96
				Desalinhamento do veio	Aquecimento do rolamento; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível motor-reductor; Desgaste do retentor; Passível paragem do equipamento	2	8	6	96
				Montagem defeituosa	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível motor-reductor; Desgaste do retentor; Passível paragem do equipamento	2	8	6	96
		Veio de carreto de entrada Ø85 mm, Z=10	Desgaste dos dentes do carreto	Lubrificação deficiente	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Desalinhamento dos dentes	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
			Desgaste do veio	Desalinhamento do veio	Aumento de vibração; Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução de espessura do veio; Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Contaminação do retentor	Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução de espessura do veio; Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Sobrecarga na operação	Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução de espessura do veio; Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Defeito de montagem	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
		Chaveta do veio de carreto de entrada	Fratura da chaveta	Folga na chaveta	Aumento de ruído; Aumento de vibração	Fissura no veio; Paragem do equipamento	1	9	6	54
		Rolamento de rolos de saída do veio de carreto de entrada Ref. 21319	Desgaste e do rolamento	Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste do retentor; Desalinhamento do acoplamento flexível motor-reductor; Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Contaminação do rolamento (poeiras, etc.)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste do retentor; Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Desalinhamento do veio	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível motor-reductor; Desgaste do retentor; Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Montagem defeituosa	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível motor-reductor; Desgaste do retentor; Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Fim de vida útil	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível motor-reductor; Desgaste do retentor; Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
		Rolamento de rolos apertor ao rolamento anti-reflexo Ref. 23122 HL	Desgaste e do rolamento	Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todas as rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Contaminação do rolamento (partes de dentes, etc.)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todas as rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Desalinhamento do veio	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todas as rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Montagem defeituosa	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todas as rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Fim de vida útil	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todas as rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
		Veio de carreto de 2º redução Ø100 mm, Z=15	Desgaste dos dentes do carreto	Lubrificação deficiente	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Desalinhamento dos dentes	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
			Desgaste do veio	Desalinhamento do veio	Aumento de vibração; Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução da espessura do veio; Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Contaminação do retentor	Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução da espessura do veio; Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Folga entre o veio e a chaveta	Aumento da temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Fissura do veio; Paragem do equipamento	2	9	6	108
				Sobrecarga na operação	Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução da espessura do veio; Passível paragem do equipamento	2	9	6	108
		Roda cônica Z=44	Desgaste dos dentes	Lubrificação deficiente	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Passível paragem do equipamento	2	8	6	96
Desalinhamento dos dentes	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração			Passível paragem do equipamento	2	8	6	96		
Defeito de montagem	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração			Passível paragem do equipamento	2	8	6	96		
Chaveta do veio de engrenagem de 2º redução	Fratura da chaveta	Folga na chaveta	Aumento de ruído; Aumento de vibração	Fissura no veio; Paragem do equipamento	1	9	6	54		

		FMEA para Plano de Manutenção									
Máquina: Nora E2		Equipamento: Redutor da Nora E2				Elaborado por: Orlando Pinto					
Código de equipamento: EN-0002		Sistema: Mecânico				Revisão por: Joaquim Reis					
Revisão Nº: 1		Data de Início: 20/04/2021									
Ponto da Falha			Análise da Falha				Avaliação de Risco				
Equipamento	Função do Equipamento	Componente	Falha Funcional	Modo de Falha	Efeitos de Falha	Consequências da Falha	Ocorrência	Deteção	Severidade	RPN	
Redutor Nora E2 Olimar CUDH5	Reduzir a velocidade de saída do motor elétrico ME-0002	Rolamento anti-efeito de rotação cônica do veio de 2ª redução Ref. 30220 A	Desgaste e do rolamento	Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todas as rolamentos do eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Afastamento da nora; Sobrecarga do motor; Paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Contaminação do rolamento (partes de outros componentes, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todas as rolamentos do eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Afastamento da nora; Sobrecarga do motor; Paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Desalinhamento do veio	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todas as rolamentos do eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Afastamento da nora; Sobrecarga do motor; Paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Fim de vida útil	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todas as rolamentos do eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Afastamento da nora; Sobrecarga do motor; Paragem do equipamento	2	9	6	108	
		Rolamento de rolos de entrada do veio de saída Ref. 23130 HL	Desgaste e do rolamento	Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todas as rolamentos do eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Contaminação do rolamento (poças, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todas as rolamentos do eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Desalinhamento do veio	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todas as rolamentos do eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Fim de vida útil	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todas as rolamentos do eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Paragem do equipamento	2	9	6	108	
		Roda do veio de saída Z=94	Desgaste e dos dentes	Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todas as rolamentos do eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Paragem do equipamento	1	9	6	54	
				Desalinhamento dos dentes	Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Paragem do equipamento	1	9	6	54	
				Defeito de montagem	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Paragem do equipamento	1	9	6	54	
		Veio de saída	Desgaste e do veio	Desalinhamento do veio	Aumento de vibração; Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução da espessura do veio; Paragem do equipamento	1	9	6	54	
				Contaminação do retentor	Aumento de vibração; Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução da espessura do veio; Paragem do equipamento	1	9	6	54	
				Folga entre o veio e a chaveta	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Fissura do veio; Paragem do equipamento	1	9	6	54	
				Sobrecarga na operação	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Redução da espessura do veio; Paragem do equipamento	1	9	6	54	
		Chaveta do veio de saída	Fratura da chaveta	Defeito de montagem	Aumento de ruído; Aumento de vibração	Paragem do equipamento	1	9	6	54	
				Folga na chaveta	Aumento de ruído; Aumento de vibração	Fissura do veio; Paragem do equipamento	1	9	6	54	
		Rolamento de rolos de saída do veio de saída Ref. 23130 HL	Desgaste e do rolamento	Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível reductor-nora; Desgaste do retentor; Paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Contaminação do rolamento (poças, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste do retentor; Paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Desalinhamento do veio	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível motor-reductor; Desgaste do retentor; Paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Montagem defeituosa	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível motor-reductor; Desgaste do retentor; Paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Fim de vida útil	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível motor-reductor; Desgaste do retentor; Paragem do equipamento	2	9	6	108	
		Retentor de saída 145x170x15	Desgaste e do barracha	Contaminação do vedante (entrada de poças)	Vazamento de óleo para o exterior	Paragem do equipamento	1	3	6	18	
				Elevada pressão de operação	Vazamento de óleo para o exterior	Paragem do equipamento	1	3	6	18	
Acoplamento flexível motor-reductor Pinflex	Desalinhamento das rodas	Montagem defeituosa	Desalinhamento dos acoplamentos	Danos nos componentes internos do reductor; Danos nos componentes internos do motor; Paragem do equipamento	2	9	6	108			
		Folga nos parafusos	Afastamento dos acoplamentos entre si; Desalinhamento dos acoplamentos	Danos nos componentes internos do reductor; Danos nos componentes internos do motor; Paragem do equipamento	2	9	6	108			
		Desgaste dos rolamentos do reductor	Aumento de vibração; Aumento de ruído	Danos nos componentes internos do reductor; Paragem do equipamento	2	9	6	108			
		Desgaste das barrachas	Aumento de ruído; Aumento de vibração	Paragem do equipamento	2	5	6	60			
Acoplamento flexível reductor-nora Olimar	Desalinhamento das rodas	Fratura da chaveta	Aumento de ruído; Aumento de vibração	Paragem do equipamento	1	5	6	30			
		Montagem defeituosa	Desalinhamento dos acoplamentos	Danos nos componentes internos do reductor; Desalinhamento da cilha; Paragem do equipamento	2	9	6	108			
		Folga nos parafusos	Afastamento dos acoplamentos entre si; Desalinhamento dos acoplamentos	Danos nos componentes internos do reductor; Desalinhamento da cilha; Paragem do equipamento	2	9	6	108			
		Desgaste das barrachas	Aumento de ruído; Aumento de vibração	Paragem do equipamento	2	5	6	60			
Fratura da chaveta	Folga na chaveta	Aumento de ruído; Aumento de vibração	Paragem do equipamento		1	5	6	30			

6.6 Listagem de todas as falhas funcionais com índice RPN superior a 100

Ponto da Falha			Análise da Falha				Avaliação de Risco				
Equipamento	Função do Equipamento	Componente	Falha Funcional	Modo de Falha	Efeitos de Falha	Consequências da Falha	Ocorrência	Deteção	Seriedade	RPN	
Motor elétrico Nara El TechTop TIC 3155/4	Converter energia elétrica em energia mecânica (Acionador do redutor EN-001)	Estator	Avaria do estator	Para caixa	Desparafusamento dos apólos	Desgaste e de todos os componentes do equipamento; Desalinhamento do acoplamento flexível motor-reductor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
Redutor Nara El	Reduzir a velocidade de saída do motor elétrica ME-001	Veio de carretel de entrada Ø85 mm, Z=10	Desgaste dos dentes do carretel	Lubrificação deficiente	Aumento de temperatura; Aumento de vibração	Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Desalinhamento dos dentes	Aumento de temperatura; Aumento de vibração	Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
			Desgaste do veio	Desalinhamento do veio	Aumento de vibração; Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Contaminação do retentor	Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução de espessura do veio; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Sobrecarga na operação	Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução de espessura do veio; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Defeito de montagem	Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
			Rolamento de rollos, saída do carretel e de entrada Ref. 21319	Desgaste do rolamento	Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste e do retentor; Desalinhamento do acoplamento flexível motor-reductor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
					Contaminação do rolamento (pozeiras, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste e do retentor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
		Desalinhamento do veio			Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível motor-reductor; Desgaste e do retentor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
		Montagem defeituosa		Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível motor-reductor; Desgaste e do retentor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108		
				Fim de vida útil	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível motor-reductor; Desgaste e do retentor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Rolamento de rollos, apoio do rolamento anti-retorno Ref. 23122 HL	Desgaste do rolamento	Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste e de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Possível paragem do equipamento	2	9	6
		Contaminação do rolamento (partes de dentes, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído			Desgaste e de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
		Desalinhamento do veio	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído			Desgaste e de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
		Montagem defeituosa	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído		Desgaste e de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108		
			Fim de vida útil		Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste e de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
			Desgaste dos dentes do carretel		Lubrificação deficiente	Aumento de temperatura; Aumento de vibração	Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
		Desalinhamento dos dentes		Aumento de temperatura; Aumento de vibração	Possível paragem do equipamento	2	9	6	108		
		Veio de carretel de 2ª redução Ø100 mm, Z=15		Desalinhamento do veio	Aumento de temperatura; Aumento de vibração	Redução da espessura do veio; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Contaminação do retentor	Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução da espessura do veio; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
		Desgaste do veio	Folga entre o veio e a chaveta	Aumento de temperatura; Aumento de vibração	Fatura do veio; Paragem do equipamento	2	9	6	108		
			Sobrecarga na operação	Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução da espessura do veio; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108		
			Defeito de montagem	Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Possível paragem do equipamento	2	9	6	108		
			Rolamento anti-retorno de rollos cónicos do veio de 2ª redução Ref. 30220 A	Desgaste do rolamento	Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste e de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Alisamento do nara; Sobrecarga do motor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
Contaminação do rolamento (partes de outros componentes, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste e de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Alisamento do nara; Sobrecarga do motor; Possível paragem do equipamento			2	9	6	108			
Desalinhamento do veio	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste e de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Alisamento do nara; Sobrecarga do motor; Possível paragem do equipamento			2	9	6	108			
Fim de vida útil	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste e de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Alisamento do nara; Sobrecarga do motor; Possível paragem do equipamento		2	9	6	108				
	Rolamento de rollos de entrada do veio de saída Ref. 23130 HL	Desgaste do rolamento		Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste e de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Contaminação do rolamento (pozeiras, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste e de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
Desalinhamento do veio			Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste e de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108			
Fim de vida útil		Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste e de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108				
		Rolamento de rollos de saída do veio de saída Ref. 23130 HL	Desgaste do rolamento	Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível reductor-nara; Desgaste e do retentor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Contaminação do rolamento (pozeiras, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste e do retentor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
Desalinhamento do veio	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído			Desalinhamento do acoplamento flexível reductor-nara; Desgaste e do retentor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108			
Montagem defeituosa	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído		Desalinhamento do acoplamento flexível reductor-nara; Desgaste e do retentor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108				
	Fim de vida útil		Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível reductor-nara; Desgaste e do retentor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108			
	Acoplamento flexível motor-reductor Renold		Desalinhamento das rodas	Montagem defeituosa	Desalinhamento dos acoplamentos	Danos nos componentes internos do reductor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
Folga nas parafusos		Afastamento dos acoplamentos entre si; Desalinhamento dos acoplamentos		Danos nos componentes internos do reductor; Danos nos componentes internos do motor Possível paragem do equipamento	2	9	6	108			
Desgaste dos rolamentos do reductor		Desgaste dos rolamentos do reductor	Aumento de vibração; Aumento de ruído	Danos nos componentes internos do reductor; Paragem do equipamento	2	9	6	108			
		Acoplamento flexível reductor-nara Oltmar	Desalinhamento das rodas	Montagem defeituosa	Desalinhamento dos acoplamentos	Danos nos componentes internos do reductor; Desalinhamento da cilza; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
Folga nas parafusos	Afastamento dos acoplamentos entre si; Desalinhamento dos acoplamentos			Danos nos componentes internos do reductor; Desalinhamento da cilza; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108			

Desenvolvimento de Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM) numa empresa de armazenamento de produtos agroalimentares a granel

Orlando Filipe Cardoso Pinto

Ponto da Falha			Análise da Falha				Avaliação de Risco				
Equipamento	Função do Equipamento	Componente	Falha Funcional	Modo de Falha	Efeitos de Falha	Consequências da Falha	Ocorrência	Deteção	Severidade	RPN	
Redutor Nora E1 SEW X3K160/B	Reduzir a velocidade de saída do motor elétrico ME-001	Acoplamento flexível motor-reductor Renold	Desalinhamento das rodas	Montagem defeituosa	Desalinhamento dos acoplamentos	Danos nos componentes internos do reductor; Danos nos componentes internos do motor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Folga nos parafusos	Afastamento dos acoplamentos entre si; Desalinhamento dos acoplamentos	Danos nos componentes internos do reductor; Danos nos componentes internos do motor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
		Acoplamento flexível reductor-nora Olmar	Desalinhamento das rodas	Desgaste e dos rolamentos do reductor	Aumento de vibração; Aumento de ruído	Danos nos componentes internos do reductor; Paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Montagem defeituosa	Desalinhamento dos acoplamentos	Danos nos componentes internos do reductor; Desalinhamento da cãha; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
Elevador de alcatruzes da nora E1	Transporte vertical de produto	Alcatruzes	Atascamento	Sobrealimentação pelo RS	Acionamento do sensor FME1	Paragem do equipamento	7	6	6	252	
				Sobrealimentação pelo RE	Acionamento do sensor FME1	Paragem do equipamento	7	6	6	252	
Motor elétrica da nora E2	Converter energia elétrica em energia mecânica (Accionador do reductor EN-002)	Estator	Avaria do estator	Patá caixa	Desparafusamento dos apoios	Desgaste de todos os componentes do equipamento; Desalinhamento do acoplamento flexível motor-reductor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
Redutor Nora E2	Reduzir a velocidade de saída do motor elétrico ME-002	Veio de carreto de entrada Ø85 mm, 2-10	Desgaste e dos dentes do carreto	Lubrificação deficiente	Aumento de temperatura; Aumento de vibração; Aumento de ruído	Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Desalinhamento dos dentes	Aumento de temperatura; Aumento de vibração	Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Desalinhamento do veio	Aumento de vibração; Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução de espessura do veio; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
					Contaminação do retentor	Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução de espessura do veio; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Desgaste e do veio	Sobrecarga na operação	Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução de espessura do veio; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
					Defeito de montagem	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
			Rolamento de rolos de saída do veio de carreto de entrada Ref. 21319	Desgaste e do rolamento	Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste do retentor; Desalinhamento do acoplamento flexível motor-reductor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
					Contaminação do rolamento (poeiras, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento de ruído	Desgaste do retentor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
					Desalinhamento do veio	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível motor-reductor; Desgaste do retentor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
					Montagem defeituosa	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível motor-reductor; Desgaste do retentor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
					Fim de vida útil	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível motor-reductor; Desgaste do retentor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
					Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
		Rolamento de rolos oposto ao rolamento anti-retorno Ref. 23122 HL	Desgaste e do rolamento	Contaminação do rolamento (partes de dentes, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Desalinhamento do veio	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Montagem defeituosa	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Fim de vida útil	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Lubrificação deficiente	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Desalinhamento dos dentes	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
		Veio de carreto de 2ª redução Ø100 mm, 2-15	Desgaste e do veio	Desalinhamento do veio	Aumento de vibração; Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução da espessura do veio; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Contaminação do retentor	Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução da espessura do veio; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Folga entre o veio e a chaveta	Aumento de temperatura; Aumento de vibração	Fatura do veio; Paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Sobrecarga na operação	Aumento de vibração; Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução da espessura do veio; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Defeito de montagem	Aumento de temperatura; Aumento de ruído; Aumento de vibração	Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
				Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Atascamento da nora; Sobrecarga do motor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108	
Rolamento anti-retorno de rolos cónicos do veio de 2ª redução Ref. 30220 A	Desgaste e do rolamento	Contaminação do rolamento (partes de outros componentes, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Atascamento da nora; Sobrecarga do motor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108			
		Desalinhamento do veio	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Atascamento da nora; Sobrecarga do motor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108			
		Fim de vida útil	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Atascamento da nora; Sobrecarga do motor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108			
		Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108			
Rolamento de rolos de entrada do veio de saída Ref. 23130 HL	Desgaste e do rolamento	Contaminação do rolamento (poeiras, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108			
		Desalinhamento do veio	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108			
		Fim de vida útil	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108			
		Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste de todos os rolamentos deste eixo; Desgaste dos dentes das engrenagens; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108			

Ponto da Falha			Análise da Falha				Avaliação de Risco			
Equipamento	Função do Equipamento	Componente	Falha Funcional	Modo de Falha	Efeitos de Falha	Consequências da Falha	Ocorrência	Deteção	Seriedade	RPN
Redutor Nora E2	Reduzir a velocidade de saída do motor elétrico ME-0002	Rolamento de rolos de saída do veio de saída Ref. 23130 HL	Desgaste do rolamento	Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível redutor-nora; Desgaste do refentor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Contaminação do rolamento (poeiras, etc.)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste do refentor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Desalinhamento do veio	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível motor-reductor; Desgaste do refentor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Montagem defeituosa	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível motor-reductor; Desgaste do refentor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Fim de vida útil	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desalinhamento do acoplamento flexível motor-reductor; Desgaste do refentor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
		Acoplamento flexível motor-reductor Pinflex	Desalinhamento das rodas	Montagem defeituosa	Desalinhamento dos acoplamentos	Danos nos componentes internos do redutor; Danos nos componentes internos do motor Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Folga nos parafusos	Afastamento dos acoplamentos entre si; Desalinhamento dos acoplamentos	Danos nos componentes internos do redutor; Danos nos componentes internos do motor Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Desgaste dos rolamentos do redutor	Aumento de vibração; Aumento de ruído	Danos nos componentes internos do redutor; Paragem do equipamento	2	9	6	108
				Montagem defeituosa	Desalinhamento dos acoplamentos	Danos nos componentes internos do redutor; Desalinhamento da cilha; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Folga nos parafusos	Afastamento dos acoplamentos entre si; Desalinhamento dos acoplamentos	Danos nos componentes internos do redutor; Desalinhamento da cilha; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
Acoplamento flexível redutor-nora Olimar	Desalinhamento das rodas	Montagem defeituosa	Desalinhamento dos acoplamentos	Danos nos componentes internos do redutor; Desalinhamento da cilha; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108		
		Folga nos parafusos	Afastamento dos acoplamentos entre si; Desalinhamento dos acoplamentos	Danos nos componentes internos do redutor; Desalinhamento da cilha; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108		
Elevador de alcatruzes da nora E2	Transporte vertical de produto	Alcatruzes	Afascamento	Sobrealimentação pelo R6	Acionamento do sensor FME2	Paragem do equipamento	7	6	6	252
Motor elétrico da nora E3	Converter energia elétrica em energia mecânica (Accionador do redutor EN-0003)	Estator	Avaria do estator	Paia coxa	Desparafusamento dos apoios	Desgaste de todos os componentes do equipamento; Desalinhamento do acoplamento flexível motor-reductor; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
Redutor da nora E3	Reduzir a velocidade de saída do motor elétrico ME-0003	Acoplamento flexível redutor-nora Renold	Desalinhamento das rodas	Montagem defeituosa	Desalinhamento dos acoplamentos	Danos nos componentes internos do redutor; Desalinhamento da cilha; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
				Folga nos parafusos	Afastamento dos acoplamentos entre si; Desalinhamento dos acoplamentos	Danos nos componentes internos do redutor; Desalinhamento da cilha; Possível paragem do equipamento	2	9	6	108
Elevador de alcatruzes da nora E3	Transporte vertical de produto	Alcatruzes	Afascamento	Sobrealimentação pelo R6	Acionamento do sensor FME3	Paragem do equipamento	7	6	6	252
				Sobrealimentação pelo R7	Acionamento do sensor FME3	Paragem do equipamento	7	6	6	252
Elevador de alcatruzes da nora E4A	Transporte vertical de produto	Alcatruzes	Afascamento	Sobrealimentação pelo R5	Acionamento do sensor FME4A	Paragem do equipamento	7	6	5	210
				Sobrealimentação pelo R7	Acionamento do sensor FME4A	Paragem do equipamento	7	6	5	210
Redier RSA	Transporte de produto para o Redier R5	Corrente de arrasto	Afascamento	Sobrealimentação do Redier	Acionamento do sensor de afascamento BQR5A	Paragem do equipamento	6	6	4	144
Redier R5	Transporte de produto para as noras E1 e E4A	Corrente de arrasto	Afascamento	Sobrealimentação do Redier	Acionamento do sensor de afascamento BQR5.1	Paragem do equipamento	6	6	4	144
Redier R6A	Transporte de produto para o Redier R6	Corrente de arrasto	Afascamento	Sobrealimentação do Redier	Acionamento do sensor de afascamento BQR6A	Paragem do equipamento	6	6	5	180
Redier R6	Transporte de produto para as noras E1, E2 e E3	Corrente de arrasto	Afascamento	Sobrealimentação do Redier	Acionamento do sensor de afascamento BQR6.1	Paragem do equipamento	6	6	5	180
Redier R7A	Transporte de produto para o Redier R7	Corrente de arrasto	Afascamento	Sobrealimentação do Redier	Acionamento do sensor de afascamento BQR7A	Paragem do equipamento	6	6	4	144
Redier R7	Transporte de produto para as noras E3 e E4A	Corrente de arrasto	Afascamento	Sobrealimentação do Redier	Acionamento do sensor de afascamento BQR7.1	Paragem do equipamento	6	6	4	144

6.7 Análise FMEA Motor Elétrico Nora E1

SILOS DE LEIXÕES		FMEA para Plano de Manutenção								
Máquina: Nora E1		Equipamento: Motor elétrico da Nora E1			Elaborado por: Orlando Pinto					
Código de equipamento: ME-0001		Sistema: Mecânico			Revisão por: Joaquim Reis					
Revisão Nº: 1		Data de Início: 19/04/2021								
Ponto da Falha			Análise da Falha				Avaliação de Risco			
Equipamento	Função do Equipamento	Componente	Falha Funcional	Modo de Falha	Efeitos da Falha	Consequências da Falha	Ocorrência	Deteção	Severidade	RPN
Motor elétrico Nora E1 TechTop TIC-3155-4	Converter energia elétrica em energia mecânica (Accionador de redutor EN-0001)	Estator	Avaria do estator	Acumulação de sujidade nas ahetas	Accionamento sensor FME1	Paragem do equipamento	1	9	6	54
				Enrolamentos com humidade	Accionamento sensor FME1	Paragem do equipamento	1	9	6	54
				Falhas de isolamento	Accionamento sensor FME1	Paragem do equipamento	1	9	6	54
		Rotor	Rotor travado	Avaria do rolamento	Accionamento sensor FME1	Paragem do equipamento	1	9	6	54
				Sobrecarga do equipamento	Accionamento sensor FME1	Paragem do equipamento	1	9	6	54
				Falta de uma ou mais fases	Accionamento sensor FME1	Paragem do equipamento	1	9	6	54
		Sistema elétrico	Motor não arranca	Interrupção do fornecimento de energia elétrica	Accionamento sensor FME1	Paragem do equipamento	1	5	6	30
				Cabos danificados / queimados	Accionamento sensor FME1	Paragem do equipamento	1	5	6	30
				Avaria no arrancador	Accionamento sensor FME1	Paragem do equipamento	1	7	6	42
				Sobrecarga mecânica	Accionamento sensor FME1	Desgaste de todos os componentes do equipamento;	1	5	6	30
		Vedante dianteiro	Desgaste da boracha	Contaminação do vedante (poças, etc.)	Aumento de vibração	Desgaste do veio;	1	5	2	10
				Elevada pressão de operação	Aumento de vibração	Desgaste do rolamento;	1	5	2	10
						Possível paragem do equipamento				
		Rolamento de rolos dianteiro	Desgaste do rolamento	Lubrificação deficiente	Aquecimento do motor;	Desgaste do veio;	1	9	6	54
					Aumento da vibração;	Possível empeno do veio;				
					Aumento de ruído	Possível paragem do equipamento				
				Rotor desequilibrado	Aquecimento do motor;	Desgaste do veio;	1	9	6	54
					Aumento da vibração;	Possível empeno do veio;				
					Aumento de ruído	Possível paragem do equipamento				
		Veio	Desgaste do veio	Desalinhamento do veio	Aquecimento do motor;	Desgaste do veio;	1	9	6	54
					Aumento da vibração;	Possível empeno do veio;				
					Aumento de ruído	Possível paragem do equipamento				
				Rotor travado	Aumento de vibração;	Redução de espessura do veio;	1	9	6	54
					Aumento de temperatura;	Possível paragem do equipamento				
		Rolamento de esteras traseiro	Desgaste do rolamento	Sobrecarga na operação	Aumento de vibração;	Redução de espessura do veio;	1	9	6	54
					Aumento de temperatura;	Possível paragem do equipamento				
					Aumento de ruído	Possível paragem do equipamento				
				Defeito de fabrico	Aumento de vibração;	Redução de espessura do veio;	1	9	6	54
					Aumento de temperatura;	Possível paragem do equipamento				
Chaveta do veio	Fralta da chaveta	Falga na chaveta	Aumento de ruído;	Fissura no veio;	1	5	6	30		
			Aumento de vibração;	Paragem do equipamento						
Vedante traseiro	Desgaste da boracha	Lubrificação deficiente	Aquecimento do motor;	Desgaste do veio;	1	9	6	54		
			Aumento da vibração;	Possível empeno do veio;						
			Aumento de ruído	Possível paragem do equipamento						
		Rotor desequilibrado	Aquecimento do motor;	Desgaste do veio;	1	9	6	54		
			Aumento da vibração;	Possível empeno do veio;						
			Aumento de ruído	Possível paragem do equipamento						
Carcaça	Corrosão da carcaça	Overload da carcaça	Aquecimento do motor;	Desgaste do veio;	1	5	2	10		
			Aumento da vibração;	Desgaste do rolamento;	1	5	2	10		
			Aumento de ruído	Possível paragem do equipamento						
Ventilador	Ventilador não funciona	Parafusos de fixação partidos	Sobreaquecimento do motor	Possível paragem do equipamento	1	5	2	10		
		Corrosão das pás	Sobreaquecimento do motor	Possível paragem do equipamento	1	6	2	12		
Ventilador	Ventilador funciona mas não refrigera	Pás partidos	Sobreaquecimento do motor	Possível paragem do equipamento	1	6	2	12		

6.8 Análise FMEA Elevador de Alcatruzes Nora E1

SILOS DE LEIXÕES		FMEA para Plano de Manutenção										
Máquina: Nora E1		Equipamento: Elevador de alcatruzes da Nora E1			Elaborado por: Orlando Pinto							
Código de equipamento: EA-0001		Sistema: Mecânico			Revisão por: Joaquim Reis							
Revisão Nº: 1		Data de início: 20/04/2021										
Fonte da Falha			Análise da Falha				Avaliação de Risco					
Equipamento	Função do Equipamento	Componente	Falha Funcional	Modo de Falha	Efeitos da Falha	Consequências da Falha	Ocorrência	Deteção	Severidade	RPN		
Elevador de alcatruzes da Nora E1	Transportar produto verticalmente da galeria inferior para a galeria superior	Cilha EP1600/6 1.5 + 1.5 GES DIN 22102	Rompimento da cilha	Desgaste da cilha Má qualidade da cilha Entrada de objeto indevido (alcatruz, parafuso, etc)	Accionamento do sensor de rotação da cilha Accionamento do sensor de rotação da cilha Accionamento do sensor de rotação da cilha	Paragem do equipamento Paragem do equipamento Paragem do equipamento	2 1 2	1 1 1	6 6 6	12 6 12		
			Desalinhamento da cilha	Alimentação não linear	Accionamento dos sensores de alinhamento BFCE1.1 e BFCE1.2; Sinal sonoro	Desgaste dos sensores de alinhamento; Desgaste da cilha; Possível paragem do equipamento (caso exceda os 6 segundos)	8	1	2	16		
				Alongamento da cilha	Accionamento dos sensores de alinhamento BFCE1.1 e BFCE1.2; Sinal sonoro	Desgaste dos sensores de alinhamento; Desgaste da cilha; Possível paragem do equipamento (caso exceda os 6 segundos)	3	1	2	6		
				Falta de tração da cilha	Tambores com sujidade (mais o inferior que o superior)	Desgaste dos sensores de alinhamento	3	1	2	6		
				Avaria no empátme	Desgaste dos parafusos (parafusos partidos)	Accionamento do sensor de rotação da cilha	Paragem do equipamento	1	6	4	36	
			Alcatruzes	Atascamento	Sobreesforço da nora	Accionamento do sensor de rotação da cilha	Paragem do equipamento	1	6	6	36	
					Sobrealimentação pelo R9	Accionamento do sensor FME1	Paragem do equipamento	2	6	6	72	
					Sobrealimentação pelo R11	Accionamento do sensor FME1	Paragem do equipamento	2	6	6	72	
					Sobrealimentação pelo R15	Accionamento do sensor FME1	Paragem do equipamento	2	6	6	72	
				Desgaste das chapas do alcatruz	Sobrealimentação pelo R6	Accionamento do sensor FME1	Paragem do equipamento	7	6	6	252	
		Empeno das chapas do alcatruz			Entrada de objeto indevido na nora	Sem efeitos	Perda de performance no transporte do produto	2	6	2	24	
		Desgaste dos parafusos do alcatruz (folgas, parafusos partidos)			Entrada de objeto indevido na nora	Sem efeitos	Perda de performance no transporte do produto	2	6	2	24	
		Desgaste das chapas do alcatruz (folgas, parafusos partidos)			Entrada de objeto indevido na nora	Desparafusamento do alcatruz	Perda de performance no transporte do produto	3	6	1	18	
		Chapas da cabeça da nora	Desgaste da chapa	Abraço pelo produto na chapa	Entrada de objeto indevido na nora	Desparafusamento do alcatruz	Paragem do equipamento por atascamento; Paragem do equipamento por sobreesforço do variador de velocidade (atascamento ou entalamento do alcatruz)	2	2	6	24	
				Abraço pelo produto na chapa	Possíveis "buracos" na chapa; Possível saída de material da nora	Possível paragem do equipamento	2	5	2	20		
				Abraço do produto na chapa	Possíveis "buracos" na chapa; Possível saída de material da nora	Possível paragem do equipamento	2	5	2	20		
				Abraço pelo produto na chapa	Possíveis "buracos" na chapa; Possível saída de material do tubo	Possível paragem do equipamento	2	5	2	20		
				Abraço pelo produto na chapa	Possíveis "buracos" na chapa; Possível saída de material do tubo	Possível paragem do equipamento	2	5	2	20		
				Entrada de objeto indevido (peça do Redler (rolete, fundo de plástico, objeto externo)	Nora não é alimentada	Paragem do equipamento	1	6	6	36		
				Abraço pelo produto na chapa	Possíveis "buracos" na chapa; Possível saída de material do tubo	Possível paragem do equipamento	3	5	2	30		
				Entrada de objeto indevido (alcatruz, peça do Redler (rolete, fundo de plástico, objeto externo)	Distribuidor não é alimentado	Paragem do equipamento	1	6	6	36		
				Chapas de corpo da nora	Desgaste ou empeno da chapa	Alcatruz solto	Sem efeitos	Perda de performance no transporte do produto	1	5	1	5
						Alcatruz solto	Sem efeitos	Perda de performance no transporte do produto	1	5	1	5
		Chumaceiras e Rolamentos da estação defletora Ref. 1210K + H2332	Desgaste do rolamento	Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste do veio; Deteriorização da chumaceira; Possível paragem do equipamento	2	4	2	16		
				Contaminação do rolamento (chumaceira danificada ou vedante danificado)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste do veio; Deteriorização da chumaceira; Possível paragem do equipamento	2	4	2	16		
			Desgaste na chumaceira	Desalinhamento do veio	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste do veio; Possível paragem do equipamento	2	2	2	8		
				Fim de vida útil ou defeito do rolamento	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste do veio; Possível paragem do equipamento	1	2	2	4		
		Veio da estação defletora	Fraturo do veio	Sobrecarga sobre o veio provocada por objeto	Sistema de desalinhamento não deteta Aumento de ruído; Desgaste da cilha	Possível paragem do equipamento	1	2	2	4		
Desgaste da capa vulcanizada	Desgaste natural da borachca			Falta de tração da nora podendo originar paragem do equipamento	Remota possibilidade de atascamento; Remota possibilidade de paragem do equipamento	3	2	1	6			

SILOS DE LEIXÕES		FMEA para Plano de Manutenção								
Máquina: Nora E1		Equipamento: Elevador de alcatruzes da Nora E1				Elaborado por: Orlando Pinto				
Código de equipamento: EA-0001		Sistema: Mecânico				Revisão por: Joaquim Reis				
Revisão Nº: 1		Data de Início: 20/04/2021								
Ponto da Falha			Análise da Falha				Avaliação de Risco			
Equipamento	Função do Equipamento	Componente	Falha Funcional	Modo de Falha	Efeitos da Falha	Consequências da Falha	Ocorrência	Deteção	Severidade	RPN
Elevador de alcatruzes da Nora E1	Transportar produto verticalmente da galeria inferior para a galeria superior	Chumaceiras e rolamentos do tambor mandante Ref. 23232 K + H 2332	Desgaste do rolamento	Lubrificação deficiente	Aumento de temperatura nos sensores BT3E1 e BT4E1; Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste do veio; Deterioração da chumaceira; Passível paragem do equipamento	3	1	6	18
				Contaminação do rolamento (chumaceira danificada ou vedante danificada)	Aumento de temperatura nos sensores BT3E1 e BT4E1; Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste do veio; Deterioração da chumaceira; Passível paragem do equipamento	3	1	6	18
				Desalinhamento do veio	Aumento de temperatura nos sensores BT3E1 e BT4E1; Aquecimento do rolamento; Aumento de ruído	Desgaste do veio; Passível paragem do equipamento	2	1	6	12
				Fim de vida útil ou defeito do rolamento	Aumento de temperatura nos sensores BT3E1 e BT4E1; Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste do veio; Passível paragem do equipamento	1	1	6	6
		Desgaste na chumaceira	Rolamento danificado;	Aumento de temperatura nos sensores BT3E1 e BT4E1; Aquecimento da chumaceira; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste do veio; Passível paragem do equipamento	3	1	6	18	
			Veio mandante Ø180 mm	Desgaste do veio	Desgaste do rolamento	Accionamento dos sensores de desalinhamento da cabeça BFCE1.3 e BFCE1.4	Paragem do equipamento	2	2	6
		Chumaceiras e rolamentos do tambor mandado 20218KC3 + H218	Desgaste do rolamento	Lubrificação deficiente	Aumento de temperatura nos sensores BT1E1 e BT2E1; Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste do veio; Deterioração da chumaceira; Passível paragem do equipamento	3	1	6	18
				Contaminação do rolamento (chumaceira danificada ou vedante danificada)	Aumento de temperatura nos sensores BT1E1 e BT2E1; Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste do veio; Deterioração da chumaceira; Passível paragem do equipamento	3	1	6	18
				Desalinhamento do veio	Aumento de temperatura nos sensores BT1E1 e BT2E1; Aquecimento do rolamento; Aumento de ruído	Desgaste do veio; Passível paragem do equipamento	2	1	2	4
				Fim de vida útil ou defeito do rolamento	Aumento de temperatura nos sensores BT1E1 e BT2E1; Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste do veio; Passível paragem do equipamento	1	1	6	6
		Desgaste na chumaceira	Rolamento danificado;	Aumento de temperatura nos sensores BT1E1 e BT2E1; Aquecimento da chumaceira; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste do veio; Passível paragem do equipamento	3	1	6	18	
			Veio mandado Ø90 mm	Desgaste do veio	Desgaste do rolamento	Accionamento dos sensores de desalinhamento BFCE1.1 e BFCE1.2	Paragem do equipamento	2	2	6
		Copos de lubrificação da cabeça da nora	Copo partido	Causa humana	Aquecimento do rolamento	Avaria no rolamento; Paragem do equipamento	1	1	6	6
		Copos de lubrificação do pé da nora	Copo partido	Causa humana	Aquecimento do rolamento	Avaria no rolamento; Paragem do equipamento	1	1	6	6
Tubo de aspiração	Desgaste do tubo	Abração pelo produto no tubo	Passíveis "buracos" no tubo	Passível saída de poeiras para o ambiente envolvente	3	5	1	15		

6.9 Análise FMEA Corpo do Redler R4

FMEA para Plano de Manutenção		Elaborado por: Orlando Pinto		Revisão por: Joaquim Reis																																	
Máquina: Redler R4		Equipamento: Corpo do Redler R4		Revisão Nº: 1																																	
Código de equipamento: 1C-0007		Sistema: Mecânico		Data de início: 15/04/2021																																	
Fundo da Falha		Análise da Falha				Avaliação de Risco																															
Equipamento	Função do Equipamento	Componente	Falha Funcional	Modo de Falha	Efeitos de Falha	Consequências da Falha	Ocorrência	Deteção	Severidade	RPN																											
Corpo do Redler R4	Transportar produto do das noras E1, E2, E3 e E4B para as células de expedição	Corrente e de arrasto	Buchsa da corrente partida	Sobrealimentação do Redler	Acionamento do sensor de atascamento BQ4.1	Afascamento do redler; Paragem do equipamento	1	6	7	42																											
				Entrada de objeto indevido	Acionamento do sensor de atascamento BQ4.1	Afascamento do redler; Paragem do equipamento	1	6	7	42																											
			Pino da corrente partida	Sobrealimentação do Redler	Acionamento do sensor de atascamento BQ4.1	Afascamento do redler; Paragem do equipamento	1	6	7	42																											
				Entrada de objeto indevido	Acionamento do sensor de atascamento BQ4.1	Afascamento do redler; Paragem do equipamento	1	6	7	42																											
			Barra de ligação partida	Sobrealimentação do Redler	Acionamento do sensor de atascamento BQ4.1	Afascamento do redler; Paragem do equipamento	1	6	7	42																											
				Entrada de objeto indevido	Acionamento do sensor de atascamento BQ4.1	Afascamento do redler; Paragem do equipamento	1	6	7	42																											
			Raspador da corrente partida	Sobrealimentação do Redler	Desalinhamento da corrente	Desgaste das chapas laterais	1	6	2	12																											
				Entrada de objeto indevido	Desalinhamento da corrente	Desgaste das chapas laterais	1	6	2	12																											
			Capo de limpeza partida	Sobrealimentação do Redler	Perda de performance no transporte do produto	Possível paragem do equipamento	1	6	7	42																											
				Entrada de objeto indevido	Perda de performance no transporte do produto	Possível paragem do equipamento	1	6	7	42																											
			Atascamento	Célula de armazenamento cheia	Acionamento do sensor de atascamento BQ4.1	Paragem do equipamento	2	6	7	84																											
				Corrente partida	Acionamento do sensor de atascamento BQ4.1	Paragem do equipamento	1	6	7	42																											
		Capas de limpeza partidas		Acionamento do sensor de atascamento BQ4.1	Paragem do equipamento	1	6	7	42																												
		Roda mandante e Z=17	Desgaste dos dentes	Abrasão da corrente na roda	Corrente e sair da roda	Possível paragem do equipamento	1	6	3	18																											
											Folga na chaveta	Folga na chaveta	Aumento de ruído; Aumento de vibração	Fissura no veio; Paragem do equipamento	1	6	7	42																			
		Veio mandante Ø 170 mm	Desgaste e ou fratura do veio	Sobrecarga na operação	Aumento de vibração; Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução de espessura do veio; Possível paragem do equipamento	1	6	7	42																											
											Defeito de fabrico	Aumento de vibração; Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução de espessura do veio; Possível paragem do equipamento	1	6	7	42																				
			Desgaste do rolamento	Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Possível empeno do veio; Desgaste da chumaceira; Possível paragem do equipamento	1	6	7	42																											
											Contaminação do rolamento (poeiras, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Possível empeno do veio; Desgaste da chumaceira; Possível paragem do equipamento	1	6	7	42																				
		Desalinhamento do veio																Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Possível empeno do veio; Desgaste da chumaceira; Possível paragem do equipamento	1	6	7	42														
																								Chumaceira danificada	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Possível empeno do veio; Possível paragem do equipamento	1	6	7	42							
																															Montagem defeituosa	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Possível empeno do veio; Desgaste da chumaceira; Possível paragem do equipamento	1	6	7	42
			Desgaste na chumaceira	Rolamento danificado	Aquecimento da chumaceira; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste do veio; Possível paragem do equipamento	1	5	7	35																											
											Desgaste dos dentes	Abrasão da corrente na roda	Corrente e sair da roda	Possível paragem do equipamento	1	6	3																				
		Roda mandante Z=8	Folga na chaveta	Folga na chaveta	Aumento de ruído; Aumento de vibração	Fissura no veio; Paragem do equipamento	1	6	7	42																											
											Veio mandante Ø 110 mm	Desgaste e ou fratura do veio	Desalinhamento do veio	Aumento de vibração; Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução de espessura do veio; Possível paragem do equipamento	1	6	7	42																		
		Sobrecarga na operação	Aumento de vibração; Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Possível paragem do equipamento	1	6	7	42																													
									Defeito de fabrico	Aumento de vibração; Aumento de temperatura; Aumento de ruído										Redução de espessura do veio; Possível paragem do equipamento	1	6	7	42													
		Desgaste do rolamento	Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Possível empeno do veio; Desgaste da chumaceira; Possível paragem do equipamento	1	6	7			42																										
									Contaminação do rolamento (poeiras, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído		Possível empeno do veio; Desgaste da chumaceira; Possível paragem do equipamento	1	6	7	42																					
																	Desalinhamento do veio	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Possível empeno do veio; Desgaste da chumaceira; Possível paragem do equipamento	1	6	7	42														
																								Chumaceira danificada	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Possível empeno do veio; Possível paragem do equipamento	1	6	7	42							
																															Montagem defeituosa	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Possível empeno do veio; Desgaste da chumaceira; Possível paragem do equipamento	1	6	7	42
		Desgaste na chumaceira	Rolamento danificado	Aquecimento da chumaceira; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste do veio; Possível paragem do equipamento	1	5	7			35																										
									Desgaste do plástico	Abrasão da corrente no plástico		Possíveis "buracos" no plástico	Desgaste da chapa de fundo	2	6	2																					

SILOS DE LEIXÕES										FMEA para Plano de Manutenção			
Máquina: Redler R4		Equipamento: Corpo do Redler R4			Elaborado por: Orlando Pinto								
Código de equipamento: TC-0007		Sistema: Mecânico			Revisão por: Joaquim Reis								
Revisão Nº: 1		Data de Início: 15/04/2021											
Ponto da Falha			Análise da Falha				Avaliação de Risco						
Equipamento	Função do Equipamento	Componente	Falha Funcional	Modo de Falha	Efeitos de Falha	Consequências da Falha	Ocorrência	Deteção	Severidade	RPN			
Corpo do Redler R4	Transportar produto das noras E1, E2, E3 e E4B para as células de expedição	Chapa lateral do Redler	Corrosão da chapa	Oxidação da chapa	Chapa com ferrugem; Possíveis "buracos" na chapa	Passível saída de material do Redler	2	5	2	20			
			Desgaste da chapa	Abrasão da corrente e na chapa	Passíveis "buracos" na chapa	Passível saída de material do Redler	2	5	2	20			
				Abrasão do produto na chapa	Passíveis "buracos" na chapa	Passível saída de material do Redler	2	5	2	20			
		Chapa de fundo do Redler	Corrosão da chapa	Oxidação da chapa	Chapa com ferrugem; Possíveis "buracos" na chapa	Passível saída de material do Redler	2	5	2	20			
			Desgaste da chapa	Abrasão da corrente e na chapa	Passíveis "buracos" na chapa	Passível saída de material do Redler	2	5	2	20			
				Abrasão do produto na chapa	Passíveis "buracos" na chapa	Passível saída de material do Redler	2	5	2	20			
		Chapa de topo do Redler	Corrosão da chapa	Oxidação da chapa	Chapa com ferrugem; Possíveis "buracos" na chapa	Passível saída de material do Redler	1	5	2	10			
		Chapa da cabeça do Redler	Corrosão da chapa	Oxidação da chapa	Chapa com ferrugem; Possíveis "buracos" na chapa	Passível saída de material do Redler	1	6	2	12			
		Chapa do pé do Redler	Corrosão da chapa	Oxidação da chapa	Chapa com ferrugem; Possíveis "buracos" na chapa	Passível saída de material do Redler	1	5	2	10			
		Rolos	Desgaste dos rolos de nylon	Abrasão da corrente e sobre o nylon	Aumento de ruído	Passível descentramento da corrente	2	6	3	36			
				Desgaste dos rolamentos de esteras 6004 RS	Contaminação do rolamento (pozeiras, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste dos rolos de nylon	1	6	2	12		
					Montagem defeituosa	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste dos rolos de nylon	1	6	2	12		
					Fim de vida útil	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste dos rolos de nylon	1	6	2	12		
				Desgaste ou fratura do veio	Desalinhamento do veio	Aumento de vibração; Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução de espessura do veio	1	6	1	6		
		Sobrecarga na operação	Aumento de vibração; Aumento de temperatura; Aumento de ruído		Redução de espessura do veio	1	6	1	6				
			Defeito de fabrico		Aumento de vibração; Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Redução de espessura do veio	1	6	1	6			
		Avental de limpeza	Desgaste da borracha	Sobrealimentação do Redler	Produto não cai totalmente na razeira pretendida	Passível atascamento na cabeça do Redler	1	6	4	24			
				Entrada de objeto indevido	Produto não cai totalmente na razeira pretendida	Passível atascamento na cabeça do Redler	1	6	4	24			
		Tubo de aspiração de ar	Corrosão do tubo	Oxidação do tubo	Tubo com ferrugem; Possíveis "buracos" no tubo	Passível saída de poeiras para o ambiente envolvente	2	5	2	20			
		Capas de lubrificação do pé do Redler	Capo partido	Causa humana	Aquecimento do rolamento	Avaria no rolamento; Paragem do equipamento	1	5	4	20			
Capas de lubrificação da cabeça do Redler	Capo partido	Causa humana	Aquecimento do rolamento	Avaria no rolamento; Paragem do equipamento	1	5	4	20					

6.10 Análise FMEA Corpo do Transportador TB1

FMEA para Plano de Manutenção		Máquina: Transportador de Banda TB1		Equipamento: Corpo do transportador TB1		Elaborado por: Orlando Pinto				
Código de equipamento: TB-001		Sistema: Mecânico		Revisão Nº: 1		Data de Início: 22/04/2021		Revisão por: Joaquim Reis		
Ponto da Falha			Análise da Falha				Avaliação de Risco			
Equipamento	Função do Equipamento	Componente	Falha Funcional	Modo de Falha	Efeitos da Falha	Consequências da Falha	Ocorrência	Deteção	Severidade	RPN
Corpo do transportador TB1	Transportar produto horizontalmente da nora EA1 para o Armazém Horizontal	Tela de transporte	Rompiemento da tela	Desgaste da tela	Aclonamento do sensor de rotação da cilha	Paragem do equipamento	1	1	4	4
				Má qualidade da tela	Aclonamento do sensor de rotação da cilha	Paragem do equipamento	1	1	4	4
				Entrada de objeto indevido (alcatruz, parafuso, etc)	Aclonamento do sensor de rotação da cilha	Paragem do equipamento	1	1	4	4
			Desalinhamento da tela	Alimentação não linear	Aclonamento dos sensores de alinhamento	Desgaste dos sensores de alinhamento; Desgaste da tela	1	1	4	4
				Alongamento da tela	Aclonamento dos sensores de alinhamento	Desgaste dos sensores de alinhamento; Desgaste da tela	1	1	4	4
				Falta de tração da tela	Tambores com sujidade	Desgaste dos sensores de alinhamento	1	1	4	4
		Avaria no empalme	Descolagem do empalme	Tela descolada	Paragem do equipamento	1	1	4	4	
		Salas de limpeza	Desgaste da borracha	Abrasão da borracha sobre a tela	Desgaste da tela	Possível rompiemento da tela	1	6	4	24
				Entrada de objeto indevido (alcatruz, parafuso, etc)	Sala cortada	Produto sai fora da tela	1	6	2	12
		Veio mandante	Desgaste do veio	Desgaste do rolamento	Aumento de vibração; Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Possível paragem do equipamento	1	6	4	24
		Chumaceiras e rolamentos do veio mandante	Desgaste do rolamento	Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste da chumaceira; Possível paragem do equipamento	1	6	4	24
				Contaminação do rolamento (poeiras, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste da chumaceira; Possível paragem do equipamento	1	6	4	24
				Chumaceira danificada	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Possível paragem do equipamento	1	6	4	24
				Montagem defeituosa	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste da chumaceira; Possível paragem do equipamento	1	6	4	24
				Fin de vida útil	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste da chumaceira; Possível paragem do equipamento	1	6	4	24
				Desgaste da chumaceira	Rolamento danificado	Aquecimento da chumaceira; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste do veio; Possível paragem do equipamento	1	6	4
		Veio mandado	Desgaste do veio	Desgaste do rolamento	Aumento de vibração; Aumento de temperatura; Aumento de ruído	Possível paragem do equipamento	1	6	4	24
		Chumaceiras e rolamentos do tambor mandado	Desgaste do rolamento	Lubrificação deficiente	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste da chumaceira; Possível paragem do equipamento	1	6	4	24
				Contaminação do rolamento (poeiras, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste da chumaceira; Possível paragem do equipamento	1	6	4	24
				Chumaceira danificada	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Possível paragem do equipamento	1	6	4	24
				Montagem defeituosa	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste da chumaceira; Possível paragem do equipamento	1	6	4	24
				Fin de vida útil	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste da chumaceira; Possível paragem do equipamento	1	6	4	24
				Desgaste da chumaceira	Rolamento danificado	Aquecimento da chumaceira; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste do veio; Possível paragem do equipamento	1	6	4
		Rolos de apoio	Desgaste dos rolamentos de esferas	Contaminação do rolamento (poeiras, etc)	Aquecimento do rolamento; Aumento da vibração; Aumento de ruído	Desgaste da tela	1	6	1	6
		Tubo de entrada de produto	Desgaste da chapa	Abrasão pelo produto na chapa	Possíveis "buracos" na chapa; Possível saída de material do tubo	Possível paragem do equipamento	2	5	2	20
			Entupimento da tubagem	Entrada de objeto indevido (peço do Rødler (rolete, fundo de plástico, objeto externo)	Tapefe não é alimentado	Paragem do equipamento	1	6	2	12
		Tubo de aspiração	Corrosão do tubo	Oxidação do tubo	Tubo com ferrugem; Possíveis "buracos" no tubo	Possível saída de poeiras para o ambiente envolvente	2	5	1	10