



Luís Filipe Neves Couto

Licenciatura em Ciências de Engenharia e Gestão
Industrial

**Gestão *Lean* da Manutenção Aplicada a
Equipamentos de Transporte de Granéis Sólidos**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial

Orientador: Prof. Doutor José Mendonça Dias, FCT-UNL

Co-Orientador: Mestre Luís Lino Baptista, MIME

Juri:

Presidente: Prof. Doutor Virgílio António da Cruz Machado

Arguente: Prof. Doutor José Augusto Silva Sobral

Vogal: Prof. Doutor José Mendonça Dias

Vogal: Mestre Luís Lino Baptista



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Dezembro 2011

Gestão *Lean* da Manutenção Aplicada a Equipamentos de Transporte de Granéis Sólidos

© 2011 Luís Filipe Neves Couto

Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa

Copyright

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Na impossibilidade de recordar todos os que me incentivaram e apoiaram na execução do presente trabalho, quero antes de mais, demonstrar os meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que contribuíram, directa ou indirectamente, para a realização deste trabalho.

Agradeço ao Professor Doutor José António Mendonça Dias pela disponibilidade e apoio demonstrados, bem como pela compreensão, dinamismo científico e confiança depositada que me permitiram realizar a presente dissertação de mestrado.

Agradeço ao Eng.º Luís Baptista, pelo tempo e apoio disponibilizados ao longo das várias fases do desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço à minha família e amigos todo o apoio, compreensão e paciência demonstrados em todos os momentos, e em especial nesta fase muito importante da minha vida. Um especial agradecimento aos meus pais, aos meus irmãos, à Filipa e aos meus amigos, que sempre me transmitiram todo o seu apoio e me motivaram para a conclusão de mais esta etapa da minha vida.

A todos, um sincero e sentido Muito Obrigado.

RESUMO

O presente trabalho, pretende estudar a fiabilidade dos sistemas reparáveis de transporte de granéis sólidos de uma unidade industrial de extracção de oleaginosas. É ainda objectivo apresentar planos de manutenção preventiva para os mesmos, tendo em consideração uma filosofia *Lean* aplicada à manutenção (*Lean Maintenance*), que permita aumentar a fiabilidade e disponibilidade desses sistemas.

Tendo como base de estudo o comportamento estatístico dos equipamentos de transporte de granéis, foram considerados três tipos de transportadores de granéis sólidos: transportadores de corrente (do tipo redler), elevadores de alcatruzes e transportadores do tipo sem-fim.

No desenvolvimento deste trabalho, foi utilizada uma metodologia baseada na fiabilidade e risco de falha dos equipamentos. Identificaram-se os equipamentos críticos que contribuíam, em maior escala para a redução da fiabilidade e disponibilidade dos sistemas de transporte, com o objectivo de se apresentarem propostas de soluções para a melhoria da fiabilidade e disponibilidade destes equipamentos. Tendo este estudo por base, o comportamento estatístico dos equipamentos de transporte de granéis sólidos, foi necessário numa primeira fase, criar uma base de dados de suporte à análise pretendida.

Para a criação da base de dados recorreu-se ao histórico de falhas destes equipamentos entre Setembro de 2009 e Dezembro de 2010, com o intuito de avaliar o comportamento dos equipamentos de transporte de granéis sólidos. Primeiramente, foi analisado o comportamento estatístico destes equipamentos de uma forma global (recorrendo ao teste de Laplace), permitindo ter uma visão global do comportamento do conjunto de equipamentos de transporte na unidade industrial em causa. Posteriormente identificaram-se, descreveram-se e analisaram-se isoladamente, os sistemas-transportador que compõem o sistema global de transporte de granéis sólidos, ou seja, as famílias dos redlers, dos elevadores de alcatruzes e dos sem-fim, sendo assim possível identificar o sistema-transportador mais crítico, no que respeita à fiabilidade. Após essa análise, foi possível propor planos de manutenção preventiva para as três famílias de equipamentos, recorrendo à distribuição de Weibull para modelar os tempos óptimos entre actividades de manutenção preventiva.

Palavras-chave: Fiabilidade, Sistema-Reparável, *Lean Maintenance*, Manutenção Preventiva, Teste de Laplace, Weibull.

ABSTRACT

This work, aims to study the reliability of repairable systems of dry bulk carriers for an industrial unit of oilseed extraction. Also, its purpose is to develop maintenance plans for it, taking into account a Lean philosophy applied to maintenance (Lean Maintenance), which will allow the increase of systems reliability and their availability.

Being this work based on the statistical behavior of dry bulk carriers transport equipment, there have been considered three types of dry bulk carriers: redler chain conveyors, bucket elevators and worm conveyors.

In order to develop this work, methods based on reliability and equipment risk failure have also been used. Equipments with lowest reliability and availability have been identified, with the purpose of presenting solutions to improve their reliability and availability. Being this work based on the statistical behavior of dry bulk carriers transport equipment, has been necessary, in a first phase, to create a database in order to support the intended analysis.

To develop the database, the historical equipment failures between September 2009 and December 2010 were used, with the purpose to evaluate the equipment behavior of dry bulk carriers transport equipment. First, it was analyzed the statistical behavior of these equipments on a global basis (using Laplace test), allowing to have a global overview of the set of equipments of transport in this industrial unit. Later, were identified, described and analyzed in separated carrier-systems which compose the global system of dry bulk carriers, which are, redlers chain conveyors, bucket elevators and worm conveyors, making it possible to identify the most critical carrier-system in respect of reliability. After this analysis, was possible to propose preventive maintenance for these three families of equipments, using the Weibull distribution to model optimal time between preventive maintenance.

Keywords: Reliability, Repairable System, Lean Maintenance, Preventive Maintenance, Laplace Test, Weibull.

ACRÓNIMOS

CBM	Condition Based Maintenance	Manutenção Baseada na Condição
CM	Corrective Maintenance	Manutenção Correctiva
CMTBF	Cumulative Mean Time Between Failures	Tempo Médio Cumulativo Entre Falhas
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis	Análise Modal de Falhas e Efeitos
KPI	Key Performance Indicator	Indicadores de Desempenho
MTBF	Mean Time Between Failures	Tempo Médio Entre Falhas
MTTR	Mean Time To Repair	Tempo Médio Para Reparação
PPH	Homogeneous Poisson Process	Processo de Poisson Homogéneo
PPNH	Non-Homogeneous Poisson Process	Processo de Poisson Não Homogéneo
PPR		Processo de Poisson Ramificado
NORM	Normal Distribution	Distribuição Normal
PM	Preventive Maintenance	Manutenção Preventiva
RCFA	Root Cause Failure Analysis	Análise da Causa das Falhas
RCM	Reliability Centered Maintenance	Manutenção Centrada na Fiabilidade
TPM	Total Productive Maintenance	Manutenção Produtiva Total
WEIB	Weibull Distribution	Distribuição de Weibull

SIMBOLOGIA

λ	Taxa de falhas constante de um Processo de Poisson Homogéneo
λ^*	Constante do modelo de Crow
λ_0	Taxa de falhas
β	Parâmetro de forma da distribuição de Weibull
β^*	Coefficiente do modelo de Crow
$F(t)$	Função Distribuição Cumulativa
$R(t)$	Função de fiabilidade ou sobrevivência
$h(t)$	Função de risco
$f(t)$	Função densidade de probabilidade
n_f	Número de falhas
η	Parâmetro de escala da distribuição de Weibull
$m(t)$	Número esperado de falhas acumuladas
$\rho(\tau)$	Taxa de falhas do Modelo de Crow
τ	Tempo de vida do sistema no momento da falha
T_0	Tempo de duração do ensaio
$z_{\alpha/2}$	Valor Crítico do teste de Laplace
z_0	Valor da estatística de teste de Laplace

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 - Introdução.....	1
1.1 Âmbito da Investigação.....	1
1.2 Objectivos da Dissertação	3
1.3 Metodologia.....	4
CAPÍTULO 2 - Revisão Bibliográfica.....	7
2.1 Manutenção.....	7
2.1.1 A Evolução da Manutenção.....	7
2.1.2 Importância da Manutenção nas Empresas Industriais	8
2.1.3 Tipos de Manutenção.....	9
2.2 Fiabilidade	15
2.2.1 Estatística das Falhas.....	16
2.2.2 Indicadores de Desempenho.....	28
2.3 Manutibilidade.....	29
2.4 Gestão <i>Lean</i> da Manutenção	31
2.4.1 A Filosofia <i>Lean</i>	31
2.4.2 <i>Lean Maintenance</i> (Manutenção <i>Lean</i>)	34
2.4.3 Ferramentas <i>Lean</i>	37
2.4.4 Áreas de Actuação da Gestão <i>Lean Maintenance</i>	39
2.4.5 Princípios da Gestão <i>Lean Maintenance</i>	42
CAPÍTULO 3 - Análise Prática dos Sistemas Reparáveis	44
3.1 Descrição dos Sistemas-Transportador.....	44
3.1.1 Transportador tipo Redler.....	44
3.1.2 Transportador tipo Sem-Fim	46
3.1.3 Transportador tipo Elevador	47
3.2 Análise das Falhas dos Sistemas de Transporte	48

3.2.1	Análise das Falhas do Sistema Global de Transporte	48
3.2.2	Análise Estatística dos Redlers	53
3.2.3	Análise Estatística dos Elevadores de Alcatruzes	55
3.2.4	Análise Estatística dos Sem-Fim	57
3.2.5	Análise Comparativa dos Três Tipos de Sistema de Transporte	59
3.3	Estabilização do comportamento das Falhas dos Redlers	60
3.3.1	Plano de Acções Correctivas para Eliminação das Falhas Recorrentes.....	63
3.4	Planeamento da Manutenção Preventiva.....	65
3.4.1	Planeamento da Manutenção Preventiva dos Redlers	65
3.4.2	Planeamento da Manutenção Preventiva dos Elevadores	68
3.4.3	Planeamento da Manutenção Preventiva dos Sem-Fim.....	70
3.5	Discussão de Resultados	72
CAPÍTULO 4 - Conclusões e Sugestões.....		73
4.1	Conclusões.....	73
4.2	Sugestões para trabalhos futuros	74
Bibliografia	75
Anexos	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Tipos de Manutenção.....	10
Figura 2.2- Exemplo de Tempos "De" e "Entre" Falhas	19
Figura 2.3 - Representação de um PPH, com taxa de falhas constante.....	22
Figura 2.4- Representação de um PPNH, com taxa de falhas decrescente	24
Figura 2.5- Curva da Banheira	25
Figura 2.6- Representação de um PPNH, com taxa de falhas crescente	26
Figura 2.7- Cronograma do Sistema de Gestão da Produção.....	31
Figura 2.8 - Ciclo de Deming, ou metodologia PDCA	39
Figura 3.1 - Exemplo de um transportador do tipo Redler.....	46
Figura 3.2 - Exemplo de um transportador do tipo Sem-Fim	47
Figura 3.3 - Exemplo de um transportador do tipo Elevador de Alcatruzes	48
Figura 3.4- Número de falhas ocorridas no período em estudo.	50
Figura 3.5- Número de falhas por família de equipamentos	51
Figura 3.6- Tempo de paragem, devido a falhas, por família de equipamentos.....	52
Figura 3.7- Número de falhas dos Redlers	53
Figura 3.8- Diagrama de Pareto aplicado aos Redlers.	55
Figura 3.9- Número de falhas dos Elevadores de Alcatruzes.....	56
Figura 3.10- Diagrama de Pareto aplicado aos Elevadores.....	57
Figura 3.11- Número de falhas dos Sem-Fim	58
Figura 3.12 - Diagrama de Pareto aplicado aos Sem-Fim.....	59
Figura 3.13- Taxa de falhas Crescente dos Redlers	61
Figura 3.14- Representação típica de um Processo de Poisson Ramificado	62
Figura 3.15- Evolução esperada do CMTBF.....	64
Figura 3.16- Ajustamento da função Weibull	66
Figura 3.17- Função Densidade de Probabilidade para os Redlers – LIC.....	66
Figura 3.18- Função Densidade de Probabilidade para os Redlers - LSC	67

Figura 3.19- Função Densidade de Probabilidade para os Elevadores – LIC	68
Figura 3.20- Função Densidade de Probabilidade para os Elevadores – LSC	69
Figura 3.21- Função Densidade de Probabilidade para os Sem-Fim – LIC	70
Figura 3.22- Função Densidade de Probabilidade para os Sem-Fim – LSC	71

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1- Teste de Laplace - Sistema Global de Equipamentos de Transporte	49
Tabela 3.2- Número de falhas por família de equipamentos.....	51
Tabela 3.3- Teste de Laplace – Redlers.....	54
Tabela 3.4- Teste de Laplace – Elevadores de Alcatruzes	56
Tabela 3.5- Taxa de Falhas e MTBF dos Elevadores.....	56
Tabela 3.6- Teste de Laplace – Sem-Fim.....	58
Tabela 3.7 - Taxa de Falhas e MTBF dos Sem-Fim.....	59
Tabela 3.8 - Taxas de Falhas dos Sistemas de Transporte de Granéis Sólidos	60
Tabela 3.9- Plano de acções correctivas para a família dos Redlers.	63
Tabela 3.10- Estimação dos parâmetros da distribuição de Weibull - Redlers	65
Tabela 3.11- Tempos entre acções de Manutenção Preventiva (Redlers).....	67
Tabela 3.12- Tempos entre acções de Manutenção Preventiva (Elevadores)	69
Tabela 3.13- Tempos entre acções de Manutenção Preventiva (Sem-Fim)	71

GLOSSÁRIO

A, B, C

Conformidade - Cumprimento dos requisitos.

Criticidade (de uma falha) - Índice da gravidade de uma falha, combinado com a sua probabilidade de ocorrência ou frequência.

D

Downtime - Período de tempo durante o qual um item não está em condições de executar as suas funções.

Disponibilidade - Probabilidade de um sistema, ou equipamento, desempenhar a sua função, sob condições específicas e de forma satisfatória, quando utilizado sob condições definidas num determinado ponto no tempo, quando fornecidos os recursos externos necessários (Mc Kenna, T. e Oliverson, R, 1997, p. 9). A disponibilidade de um bem depende da sua Fiabilidade, Manutibilidade e Recuperabilidade.

E

Estratégia de Manutenção - Método de gestão da manutenção utilizado para atingir os Objectivos da Manutenção.

F

Falha - Incapacidade de um bem para executar a função requerida.

Falha por desgaste - Modo de falha cuja probabilidade de ocorrência depende directamente do seu tempo de operação ou do número de operações executadas por este e das condicionantes associadas ao seu funcionamento.

Fiabilidade - Característica do equipamento, dependente da sua concepção e fabrico. Corresponde à capacidade de um equipamento executar a sua função correctamente, sob condições específicas e durante um período de tempo definido, ou outra unidade de medida, como o número de ciclos ou o número de quilómetros.

Função Requerida - Função ou combinação de funções de um bem, consideradas necessárias para o fornecimento de um dado serviço.

G

Gestão da Manutenção - Organização da manutenção, segundo uma política de manutenção definida, com a definição de objectivos, estratégias e responsabilidades de manutenção, bem como a sua implementação através de meios como o planeamento da manutenção, controlo da manutenção e melhoria das actividades e custos de manutenção.

Gravidade (de uma falha) - Consequências, potenciais ou actuais, da ocorrência de uma falha.

H, I

Inspeção - Observação qualitativa e/ou quantitativa da concordância da condição de um item ou do seu desempenho com as suas especificações.

J, L, M

Manutenção - Acções técnicas, administrativas e de gestão ao longo do ciclo de vida de um componente, ou equipamento, de forma a manter este nas condições de funcionamento definidas ou restaurá-lo às condições de funcionamento definidas para executar a função que lhe foi imputada.

Manutenção Correctiva - Manutenção não programada ou acções de reparação dos equipamentos de forma a retomar estes a uma condição específica. Este tipo de manutenção é efectuado após o pessoal da manutenção se aperceber do funcionamento defeituoso do equipamento ou da sua falha.

Manutenção Preditiva - Aplicação de técnicas de processamento de sinais medições modernas de forma a diagnosticar correctamente os equipamentos durante a sua operação.

Manutenção Preventiva - Conjunto de acções levadas a cabo segundo uma calendarização planeada, periódica e específica de forma a retomar as condições de funcionamento dos equipamentos, através da sua verificação e reacondicionamento.

Manutibilidade – Característica intrínseca do equipamento, dependente do seu projecto. É a capacidade de recuperação de um equipamento, sujeito a determinadas condições de utilização,

para um estado que permita a execução da função que lhe é requerida, quando a manutenção é executada sob determinadas condições, utilizando procedimentos e recursos definidos.

Modo de Falha - Modo de ocorrência do término da capacidade de um equipamento para cumprir uma função requerida.

N, O

Objectivos da Manutenção - Metas definidas para as actividades de manutenção. Estas podem incluir a disponibilidade, a redução dos custos, qualidade do produto, preservação ambiental, segurança ou a preservação do valor do activo.

Operação - Combinação das actividades técnicas, administrativas e de gestão, que não as de manutenção, que resultem na utilização de um equipamento.

P

Plano de Manutenção - Documento estruturado das actividades, procedimentos, recursos e tempo necessários às actividades de manutenção.

Pessoal de manutenção - Técnicos dedicados às actividades de manutenção.

Peça de Substituição - Componente cujo objectivo é substituir outro equivalente, de forma a retomar ou manter as condições de funcionamento de um equipamento.

Q, R

Redundância - Existência de mais do que uma forma de desempenhar uma dada função.

S

Sistema - Conjunto de componentes concebidos para trabalharem em conjunto e desempenharem de forma eficiente uma determinada função.

T, U, V, X, Z, W

Taxa Média de Falhas - Número de falhas de um componente num dado intervalo de tempo, dividido por esse mesmo intervalo de tempo.

Tempo de Vida Útil - Tempo de funcionamento de um bem, dentro de níveis aceitáveis de taxas de falhas.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 Âmbito da Investigação

1.2 Objectivos da Dissertação

1.3 Metodologia

1.1 Âmbito da Investigação

As crescentes dificuldades que se fazem sentir actualmente no meio empresarial, resultantes do rápido desenvolvimento das tecnologias, da intensa competitividade global e às cada vez mais exigentes expectativas dos clientes exigem um esforço crescente da parte das empresas para conseguirem dar resposta às exigências dos mercados.

As empresas industriais são profundamente dependentes dos equipamentos industriais, sendo por isso muito importante conseguir garantir o funcionamento desses mesmos equipamentos sob condições de funcionamento específicas, quando requisitados e durante o período de tempo exigido.

Segundo Dias, J. (2002), a fiabilidade corresponde à probabilidade de um sistema para o desempenho da função que lhe foi atribuída, segundo determinadas condições operacionais e durante um período de tempo estabelecido. Desta forma, para garantir um nível de disponibilidade definido dos equipamentos industriais é necessário aumentar a sua fiabilidade.

O desenvolvimento da presente dissertação de Mestrado teve como base de estudo o conjunto de equipamentos de transporte de granéis sólidos existentes numa unidade industrial de extracção de oleaginosas. A possibilidade de ter um contacto directo com a realidade industrial, e com as dificuldades e pressões presentes em ambientes industriais, associadas às exigências que são impostas pelos mercados, em termos de qualidade de produto bem como das quantidades necessárias, em espaços de tempo bastante apertados foi um factor muito importante na definição das medidas a tomar de forma a atingir os objectivos traçados no subcapítulo 1.2.

Os equipamentos de transporte de granéis sólidos são considerados, neste tipo de unidades industriais como equipamentos chave. Neste caso em concreto, o processo de

extracção de oleaginosas depende intimamente da capacidade destes equipamentos para manter o fluxo das matérias ao longo das várias fases do processo.

A realização do presente trabalho visa a análise do histórico dos tempos de falha dos sistemas de transporte de granéis sólidos de uma unidade industrial de extracção de oleaginosas, como base para a proposta de planos de manutenção preventiva para estes equipamentos. Estes equipamentos serão, de ora em diante, considerados e analisados como Sistemas Reparáveis (SR).

É no contexto exposto que a Manutenção Industrial pode ter um contributo muito importante e significativo, estando confrontada com redobrados desafios que se prendem com a exigência de uma empenhada contribuição para uma maior afirmação perante a globalização, onde o conhecimento intensivo, a autodisciplina nas acções e a definição clara de objectivos constituem uma fonte natural para o surgimento de vantagens competitivas. A Manutenção Industrial pode portanto revelar um importante contributo no estabelecimento de um modelo de desenvolvimento económico nas empresas industriais, especialmente se a sua gestão tiver em conta a adopção de uma filosofia *Lean* que vise a redução de desperdícios.

A adopção de uma filosofia e de ferramentas *Lean*, aplicadas à gestão da manutenção (*Lean Maintenance*) permite obter uma gestão dos recursos mais eficiente e reduzir desperdícios, tais como custos com pessoal, custos de materiais e ferramentas, custos de não produção, entre outros. No entanto, segundo Baptista, L.L., Dias, J.M e Couto, L. (2011), quando nos focamos na redução da função Manutenção (*Lean*) é fundamental não descurar aspectos como a agilidade da equipa de manutenção (*Agile*), de forma a obter uma resposta rápida e eficiente face a alterações inesperadas do sistema produtivo e capacitada para dar resposta a eventuais catástrofes ou sobrecargas na sua utilização (*Resilient*) permitindo assim obter uma elevada eficiência energética, bem como uma redução de desperdícios, realçando a importância da minimização da agressividade para com o ambiente aquando das intervenções de manutenção (*Green*). Na realização do presente trabalho será também tida em conta, simultaneamente à adaptação das ferramentas *Lean* à gestão da manutenção, a optimização da agilidade das equipas de manutenção, bem como a minimização da agressividade das acções de manutenção para o ambiente.

1.2 Objectivos da Dissertação

As empresas industriais são profundamente dependentes dos equipamentos industriais. Devido a este facto, é muito importante o estudo destes equipamentos e dos meios necessários para otimizar a fiabilidade dos mesmos e garantir níveis elevados de disponibilidade dos mesmos.

No caso em estudo, os equipamentos de transporte de granéis sólidos têm uma importância crítica no processo de extracção de oleaginosas, sendo fundamental estudar o seu comportamento e apresentar propostas de melhoria, de modo a minimizar os desperdícios e maximizar o desempenho e rendimento destes equipamentos.

Este estudo tem por base o histórico das falhas dos equipamentos de transporte de granéis sólidos existentes na Unidade Industrial em causa, equipamentos estes que são fundamentais do processo de extracção de oleaginosas. A realização do presente trabalho pretende aliar ao estudo do comportamento estatístico das falhas, os conceitos base da filosofia *Lean*. Deste modo pretende-se, com base nos dados recolhidos dos tempos de falha, identificar os equipamentos de transporte de granéis sólidos que mais negativamente contribuem para a fiabilidade global do sistema de extracção de oleaginosas e propor um plano de manutenção preventiva para os mesmos, de forma a aumentar a fiabilidade destes equipamentos, bem como propor, simultaneamente, medidas para a optimização da gestão da manutenção, com base nos conceitos e ferramentas *Lean*.

O aumento da fiabilidade dos equipamentos de transporte de granéis sólidos da unidade industrial em causa traduz-se num aumento da capacidade produtiva da mesma. Associada a este aumento da capacidade de produção, está também a redução de desperdícios, resultante da aplicação de ferramentas *Lean* à área da manutenção. O contributo da presente dissertação para a criação de valor para a empresa será então resultante do aumento da capacidade produtiva da instalação e da redução dos custos de manutenção, obtidos através da aplicação de um programa de manutenção preventiva que permitirá aumentar a fiabilidade dos equipamentos e da optimização da gestão da manutenção, com base na aplicação de conceitos e ferramentas *Lean*, adaptadas à manutenção.

1.3 Metodologia

A metodologia utilizada na presente dissertação de mestrado pretende conjugar o conceito de fiabilidade com a aplicação de conceitos e ferramentas “*Lean*”, de forma a otimizar a gestão da manutenção, com a melhoria da fiabilidade dos equipamentos e a redução dos custos de manutenção, simultaneamente.

A realização do presente estudo teve início com um trabalho de campo em que foi possível ter um contacto directo com os equipamentos de transporte de granéis sólidos aqui estudados. Este contacto directo com os equipamentos e com as dificuldades com que as equipas de manutenção se deparam constantemente, permitiu mais conhecer mais profundamente os sistemas em estudo e o seu modo de funcionamento, assim como os modos de falha mais recorrentes.

Numa primeira fase do trabalho de campo foi efectuada a identificação dos equipamentos de transporte de granéis sólidos existentes na unidade industrial e foram elaboradas e preenchidas fichas de equipamento individuais (ver exemplos das fichas nos anexos I, II e III). Com a elaboração destas fichas e a identificação dos equipamentos e seus constituintes, foi possível adquirir um conhecimento técnico mais profundo destes equipamentos, o que numa fase posterior facilitou a compreensão dos modos de falha dos mesmos.

Simultaneamente à elaboração das fichas dos equipamentos, foi efectuada a recolha dos registos das falhas desses mesmos equipamentos. Os dados recolhidos foram tratados e organizados por famílias de equipamentos numa base de dados em Excel.

Os sistemas de transporte de granéis sólidos objectos de estudo deste trabalho dividem-se em três famílias: Transportador de corrente do tipo redler, sem-fim e elevador de alcatruzes.

Partindo da base de dados criada, procedeu-se então à análise das falhas dos equipamentos em estudo.

Numa primeira análise foi efectuado o estudo do conjunto das três famílias de equipamentos, como um sistema global, com o objectivo de se analisar a evolução global das falhas dos sistemas de transporte de granéis sólidos como “um todo”. Foram analisados o número de falhas e o número de horas de paragem produtiva devidas à ocorrência de falhas, bem como o comportamento estatístico das falhas dos equipamentos, com recurso ao teste de Laplace.

A mesma metodologia de análise dos equipamentos foi aplicada a cada uma das três famílias de transportadores, permitindo assim, à semelhança do que foi efectuado no ponto anterior, analisar as falhas ocorridas nos equipamentos constituintes destas famílias, do ponto de vista do número de falhas e do tempo de paragem produtiva, bem como analisar o comportamento estatístico desses equipamentos. Foi ainda aplicada a análise de Pareto a cada uma das famílias de transportadores, de modo a identificar os principais equipamentos responsáveis pelas falhas ocorridas.

Segundo Dhillon, B. S. (2007b), o nome desta análise deriva do nome de Vilfredo Pareto (1848 – 1923), economista italiano. O'Connor, P. D. T. (1994), refere que a análise de Pareto pode ser utilizada como um primeiro passo na análise dos dados de falhas. O autor descreve esta análise como o princípio de Pareto dos “poucos significantes e dos muitos insignificantes”. Isto significa que, normalmente, ao analisar um histórico de dados de falhas pelo diagrama de Pareto, se pode constatar que grande parte das falhas nos sistemas se deve a um número reduzido de causas. Esta triagem dos sistemas mais críticos, do ponto de vista da fiabilidade, permite focar esforços na resolução nos problemas da fiabilidade total, com uma utilização racional dos recursos.

A melhoria da fiabilidade destes sistemas traduzir-se-á no aumento da fiabilidade do processo de extracção de oleaginosas, uma vez que o processo de transporte de granéis sólidos é considerado um processo-chave no processo de extracção de oleaginosas e estes sistemas são os que mais negativamente afectam a fiabilidade global dos sistemas de transporte.

A realização das análises estatísticas foi possível com o recurso às aplicações informáticas *Excel* e *Statística7*.

Capítulo 1

Introdução

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Manutenção

2.2 Fiabilidade

2.3 Manutibilidade

2.4 Gestão *Lean* da Manutenção

2.1 Manutenção

Manutenção é um termo genericamente utilizado para descrever tarefas levadas a cabo nos mais diversos sectores, tarefas estas que podem ser de inspecção, ensaio, medição, detecção de falhas, afinação, reparação, substituição de peças, assistência técnica, lubrificação, limpeza, entre outros.

O grande desafio da manutenção não se prende somente na garantia de um nível de disponibilidade dos equipamentos pré-definido, mas sim, e cada vez mais, em consegui-lo com o mínimo dispêndio de recursos possível. Disto surge então o dilema: como se pode aumentar a disponibilidade de um equipamento e a sua fiabilidade ao mesmo tempo que se reduzem os custos com a sua manutenção?

Segundo Justino, V. S. F. (2009), a manutenção tem como objectivo, atingir a perfeição. A autora relaciona directamente essa perfeição com a fiabilidade, sendo que, ao aumentarmos a primeira, estaremos também a aumentar a segunda.

2.1.1 A Evolução da Manutenção

As actividades de manutenção são levadas a cabo pelo Homem desde os tempos primórdios. A capacidade adaptativa do ser humano ditou a constante evolução das ferramentas por ele utilizadas. Desde cedo o Homem sentiu a necessidade reparar essas ferramentas enquanto considerasse que estas deveriam ser recuperadas, em vez de substituídas. Esta é também a base do conceito de vida útil dos equipamentos.

Com o despoletar da Primeira Guerra Mundial, surge a necessidade de garantir níveis mínimos de produção. Para garantir tais níveis de fiabilidade foram então criadas as primeiras equipas dedicadas inteiramente às actividades de manutenção, com o objectivo de restabelecer o estado de funcionalidade dos equipamentos, após a ocorrência de uma falha, no menor tempo possível.

Com o início da Segunda Guerra Mundial surgiu a preocupação em garantir determinados níveis de fiabilidade dos equipamentos e das instalações, especialmente na indústria aeronáutica. A manutenção passou então a ser encarada como uma actividade fundamental na garantia de tais níveis de fiabilidade, dando início ao conceito de Manutenção Preventiva (PM). Este tipo de manutenção passou a considerar acções de manutenção planeadas, de acordo com uma calendarização definida, de verificação e lubrificação dos equipamentos.

Por volta da década de 60, impulsionada pela crise do petróleo, surge a necessidade de aumentar a eficiência dos equipamentos e reduzir os custos produtivos. A Engenharia da Manutenção surge com objectivo de reduzir os custos associados às actividades de manutenção. Esta tem em conta as actividades de manutenção correctiva e preventiva, bem como os custos associados a cada uma destas. Surge então um tipo de manutenção preventiva cuja prevenção das falhas se baseia na análise das condições dos equipamentos (CBM – Condition-Based Maintenance).

Nos anos 70 surge o TPM, filosofia de gestão da manutenção introduzida por Nakajima no processo de melhoria da Toyota. Esta filosofia tem como objectivo a optimização da fiabilidade e eficácia dos equipamentos industriais.

As crescentes exigências dos mercados levam a que as empresas tenham de adoptar medidas que lhes permitam manterem-se competitivas. As empresas vêem-se então obrigadas a reduzir custos, em todos os sectores, não sendo o sector da manutenção uma excepção, no entanto reduzir custos não pode ser sinónimo de redução da manutenção, mas sim de uma optimização da gestão da mesma, de forma a eliminar as fontes de desperdício e optimizar as actividades criadoras de valor.

2.1.2 Importância da Manutenção nas Empresas Industriais

As empresas industriais são amplamente dependentes dos equipamentos industriais. Esses equipamentos têm custos associados, não só à sua aquisição, mas também a todas as actividades necessárias de manutenção ao longo do seu ciclo de vida. Por este facto, torna-se muito importante

efectuar um estudo do comportamento destes equipamentos, de modo a desenvolver planos de manutenção que permitam manter os níveis de fiabilidade e disponibilidade exigidos. Baptista, L. M. L. (2007) afirma que a análise do estado do sistema deve ser o ponto de partida para uma gestão da manutenção eficiente e eficaz, uma vez que este é dependente, não só do processo produtivo a que está sujeito como também das acções de manutenção realizadas até esse momento.

A redução de custos associados à manutenção industrial passa então pela reestruturação da gestão das actividades decorrentes do exercício da manutenção, dos recursos necessários e do planeamento da mesma. A adopção de uma filosofia *Lean* aplicada à manutenção (*Lean Maintenance*), sustentada em conceitos e ferramentas de gestão e organização permite, de forma sustentável, otimizar a organização das actividades de manutenção, reduzir custos decorrentes dos tempos de paragem produtiva, aumentar a capacidade produtiva e otimizar os recursos.

Tendo por base a filosofia *Lean*, o *Lean Maintenance* segue uma lógica de eliminação de todos os tipos de desperdício presentes nos procedimentos e métodos de trabalho da manutenção.

A permanente evolução do conhecimento e inovação tecnológica, materializados na maior complexidade técnica das instalações e equipamentos industriais, implicam um agravamento dos prejuízos causados pelas paragens dos equipamentos devido à ocorrência de falhas imprevistas. Isto deve-se ao facto de a crescente complexidade dos equipamentos resultar também numa maior complexidade na realização das tarefas de reparação dos equipamentos aquando da ocorrência de falhas nestes, implicando tempos e custos de manutenção mais elevados. Assim sendo, a reorganização e adaptação dos procedimentos e métodos de trabalho, permite então eliminar desperdícios e otimizar a função manutenção.

2.1.3 Tipos de Manutenção

O conceito de manutenção, no âmbito industrial, pode ser dividido em diferentes modos de actuação. Estes variam conforme a bibliografia consultada, embora o cerne do conceito de manutenção esteja presente em todos eles.

Segundo Mobley, R. K. (2004) existem três filosofias de gestão da manutenção: a Manutenção Correctiva, a Manutenção Preventiva e a Manutenção de Melhoria. A gestão da manutenção segundo a filosofia de Manutenção Correctiva tem por base uma lógica de reparação dos equipamentos após a ocorrência da falha. A filosofia de Manutenção Preventiva segue uma lógica de

prevenção da ocorrência dessas falhas, permitindo assim garantir níveis mais elevados de fiabilidade dos equipamentos.



Figura 2.1 – Tipos de Manutenção

2.1.3.1 Manutenção Correctiva

Segundo Santos, et al. (2006), até à década de 50, a manutenção correctiva era praticamente o único tipo de manutenção utilizado nas empresas. As perdas produtivas até então devido à falha dos equipamentos constituintes do sistema produtivo não eram significativas, uma vez que os equipamentos apresentavam pouca complexidade técnica e eram maioritariamente mecânicos, o que facilitava a reparação dos mesmos de uma forma rápida e eficaz.

Santos, et al. (2006) subdivide a Manutenção Correctiva em dois tipos: Manutenção Correctiva Urgente e Manutenção Correctiva Programada.

2.1.3.1.1 Manutenção Correctiva Urgente

Diz respeito ao tipo de manutenção efectuada em equipamentos nos quais ocorreu uma falha e é urgente retomar estes rapidamente a um estado que permita continuarem a desempenhar as suas tarefas. Este tipo de reparação soluciona o problema provisoriamente, sendo necessário programar a correcta manutenção do equipamento, a executar posteriormente, quando o equipamento não estiver a ser utilizado (Santos, et al. 2006).

2.1.3.1.2 Manutenção Correctiva Programada

Este tipo de manutenção surge como resultado da anterior. Depois de retomado o funcionamento do equipamento sujeito a manutenção Correctiva Urgente é necessário programar a correcta manutenção do mesmo. Após efectuada a Manutenção Correctiva Programada o equipamento volta ao estado “*good as new*” (em português, “bom como novo”) (Santos, et al. 2006).

A realização de actividades de manutenção correctiva pode implicar a ocorrência de problemas relacionados com a execução das reparações sob pressão, o que pode causar o aparecimento de problemas futuros devidos à má execução destas reparações; tempos de reparação elevados, uma vez que não se conhece o comportamento estatístico dos equipamentos e não existe uma previsão dos componentes que vão ser necessário e quando vão ser necessários; ocorrência de acidentes devido à quase inexistência de medidas de segurança durante a execução destas tarefas de reparação (Santos, et al., 2006).

Manter uma política de manutenção correctiva implica elevados custos de mão-de-obra, principalmente no caso de ocorrerem falhas em vários equipamentos simultaneamente, exigindo assim um reforço da equipa de manutenção. Esta política de manutenção implica ainda lidar com elevados tempos de paragem produtiva, causados pelas falhas nos equipamentos (Santos, et al., 2006).

Por outro lado, pode ser preferível adoptar uma política de Manutenção Correctiva quando estamos perante equipamentos cuja substituição seja frequente (como computadores ou impressoras), ou cujos tempos e custos de reparação sejam inferiores aos custos da adopção de uma política de Manutenção Preventiva (como uma lâmpada fundida) (Santos, et al., 2006).

2.1.3.2 Manutenção de Melhoria

Corresponde ao conjunto de acções de melhoria aplicadas a um sistema reparável que, segundo Mobley, R. K. (2004) têm como objectivo o aumento da fiabilidade dos sistemas. Por exemplo, aplicação de um sistema de lubrificação permanente e automático a componentes que necessitem de ser lubrificados de forma sistemática e cuja acessibilidade seja bastante difícil, é considerada uma acção de manutenção de melhoria. Com a aplicação deste sistema será possível otimizar o tempo do ciclo de vida do componente, evitando que este falhe ao fim de pouco tempo, deixando assim de ser necessário despender tempo para a sua substituição, devido ao seu difícil acesso para lubrificação.

2.1.3.3 Manutenção Preventiva

Mobley, R. K. (2004) descreve a Manutenção Preventiva como o conjunto de actividades que têm como objectivo prevenir a ocorrência de paragens não programadas e danos prematuros nos equipamentos. A não aplicação da manutenção preventiva resulta na ocorrência de falhas imprevistas, que implicam a execução de actividades de manutenção correctiva.

Segundo Santos, et al. (2006), a manutenção preventiva baseia-se em dois tipos de acções:

- **Inspecção:** Tem como objectivo identificar possíveis anomalias. As inspecções consistem, normalmente, em verificações frequentes dos equipamentos, de acordo com o plano de manutenção preventiva definido. Este tipo de acções pode ser, em alguns casos, executadas diariamente.
- **Revisão:** Acções de manutenção preventiva que implicam a paragem programada dos equipamentos e pressupõem, normalmente, a substituição preventiva de vários componentes considerados críticos.

A periodicidade da execução das acções de manutenção preventiva é definida com base na análise do histórico das falhas, a partir do qual é possível prever um período óptimo de tempos entre acções de manutenção preventiva. Esse período pode corresponder a anos, meses, semanas, dias, ou até horas, dependendo da complexidade e das necessidades de cada equipamento.

As actividades de manutenção preventiva são também denominadas de Ordens de Manutenção Preventiva.

Gross, J. M. (2002), identificou 5 componentes essenciais que devem constar numa Ordem de Manutenção Preventiva correctamente:

1. Identificação de todos os requisitos de segurança;
2. Identificação sequencial dos passos a tomar;
3. Toda a documentação e instruções dos equipamentos;
4. Todas as ferramentas necessárias;
5. Lista de todas as peças de substituição necessárias (ordenadas por número da peça, dimensão ou outro critério descritivo).

A análise estatística do histórico das falhas dos equipamentos permite conhecer a periodicidade entre falhas, possibilitando assim estudar o seu comportamento e definir acções preventivas que permitam evitar a sua ocorrência.

2.1.3.3.1 Manutenção Preventiva Reactiva

Este tipo de manutenção corresponde, segundo Santos, et al. (2006), à manutenção que é executada de acordo com as necessidades, isto é, com base na sensibilidade humana, ou instrumentos, para a detecção de potenciais problemas.

A necessidade de actuação sobre os equipamentos é decidida de acordo com limites estabelecidos com base no conhecimento e sensibilidade humanos e são executadas as acções apenas aos equipamentos cujos parâmetros definidos estavam perto do limite.

Os operadores são o elemento chave de uma boa estratégia de manutenção, uma vez que são eles que trabalham directamente com os equipamentos. Estes podem detectar anomalias atempadamente com o recurso às suas capacidades sensoriais (Gulati, R. e Smith, R., 2009): visão, olfacto, audição e tacto.

Com a detecção precoce de sintomas e anomalias é possível corrigi-las antes que estas se tornem falhas críticas.

2.1.3.3.2 Manutenção Preventiva Sistemática

Segundo Chalifoux, A. e Baird, J. (1999, p.25), a manutenção preventiva sistemática consiste na execução de actividades de inspecção, ajuste, limpeza, lubrificação, substituição de peças, calibração e reparação de componentes e equipamentos calendarizadas. Este tipo de manutenção é também referido como manutenção baseada no tempo e pressupõe que a reparação ou substituição de componentes reponha o equipamento a um estado “como novo”. Este pressuposto tem como base a aceitação de que um componente novo tem uma menor probabilidade de falha que um componente usado.

Dependendo dos intervalos de tempo definidos para a execução dessas actividades de manutenção preventiva, este tipo de manutenção pode implicar o aumento do número de inspecções e manutenções de rotina, quando comparadas com o número de actividades de manutenção correctiva. No entanto estas actividades de inspecção e manutenção têm como objectivo a redução da frequência e a minimização da gravidade das falhas não previstas dos equipamentos, relacionadas com o desgaste causado pela idade dos componentes, reduzindo assim os prejuízos causados pelas paragens produtivas e aumentando significativamente o Tempo do Ciclo de Vida dos mesmos (Chalifoux, A. e Baird, J., 1999, p.25).

A taxa de falhas e o tempo médio entre reparações (MTBF) são dois elementos base da manutenção preventiva tradicional, podendo estas variáveis serem calculadas estatisticamente. Estas

variáveis servem de base para a definição do período de tempo entre actividades de manutenção a executar, de forma a permitir a substituição dos componentes “prestes a falhar”, antes de estes falharem efectivamente. A definição destes períodos de tempo é efectuada com base no histórico das falhas ocorridas, do qual resulta uma estimativa da taxa média de falhas (Chalifoux, A. e Baird, J., 1999, p.25).

2.1.3.3.3 Manutenção Condicional (ou Manutenção Preditiva)

A adopção de uma política de Manutenção Preventiva Sistemática pode revelar-se dispendiosa, uma vez que a substituição dos componentes tem por base períodos de tempo pré-estabelecidos e não tem em conta o seu estado (à data da sua substituição, o componente pode ainda encontrar-se em boas condições de funcionamento). Recorrendo a uma estratégia de Manutenção Preditiva é possível definir o momento ideal de substituição dos componentes, com base na sua condição e na análise estatística da tendência dos componentes semelhantes (Mobley, R. K., 2004).

Esta política de manutenção é adequada para componentes cujo desempenho possa ser monitorizado pela análise dos atributos do produto resultante da sua operação ou pela sua análise por parte do seu operador. Desta forma, com o recurso a uma política de Manutenção Preditiva, o tempo de vida útil de componentes cuja substituição seja muito dispendiosa pode ser prolongado, resultando numa minimização dos custos com manutenção. Segundo Levitt, J. (2003), com a adopção de um programa de manutenção preventiva condicional é possível obter benefícios como:

- Redução da dimensão das reparações
- Redução dos tempos de paragem
- Redução do número de reparações
- Aumento da vida útil dos equipamentos
- Aumento da segurança pública, do equipamento e do operador
- Aumento da qualidade do produto
- Aumento da disponibilidade dos equipamentos
- Redução do investimento em peças de substituição, reduzindo os stocks
- Redução dos custos totais de manutenção, através da optimização da mão-de-obra e dos materiais
- Permite identificar áreas críticas, nas quais é imperativo actuar.

Pelo descrito anteriormente, podemos resumir os tipos de manutenção existentes em: Manutenção de Melhoria; Manutenção Preventiva Reactiva; Manutenção Preventiva Baseada na Condição; Manutenção Preventiva Planeada ou Sistemática; Manutenção Correctiva Urgente; e Manutenção Correctiva Programada. Na Figura 2.1 encontra-se esquematizada a estrutura dos tipos de manutenção.

2.2 Fiabilidade

Segundo Dias, J. (2002), o conceito de fiabilidade começou a ser aplicado na década de 50. A aplicação de um programa de fiabilidade tem como objectivo aumentar a performance de um bem no domínio do tempo (Ascher, H. e Feingold, H., 1984, p. V), sendo o objectivo principal dos estudos de fiabilidade, a disponibilização da informação necessária à tomada de decisão (Dias, J., 2002).

Um estudo de fiabilidade deve ser iniciado com a clarificação objectiva do problema e dos objectivos que se pretendem alcançar, bem como identificar as limitações do estudo em função da informação disponível, uma vez que a forma como são recolhidos os dados pode condicionar a aplicação estatística a utilizar (Dias, J., 2002).

Ascher, H. e Feingold, H., (1984), afirmam que os modelos probabilísticos e as análises estatísticas por si só não contribuem directamente para a melhoria da fiabilidade. Tal contribuição só é possível se forem aplicadas mudanças de design dos equipamentos, melhoria do controlo de qualidade, entre outros.

A fiabilidade de um sistema composto por um elevado número de componentes ligados em série pode ser baixa, embora a fiabilidade individual dos componentes seja elevada (Dias, J., 2002).

O conceito de fiabilidade está directamente relacionado com a filosofia de gestão da manutenção preventiva. Esta ligação deve-se ao facto de apenas ser possível manter um nível definido e desejado de fiabilidade de um equipamento se este estiver abrangido por um programa de manutenção preventiva. Caso contrário, se a manutenção efectuada a esse equipamento se restringir à reposição do mesmo para o estado de funcionalidade anterior à falha, após a ocorrência da mesma (Manutenção Correctiva), a sua fiabilidade estará comprometida, apresentando, com o decorrer do tempo, uma tendência para piorar, até chegar ao ponto em que a diferença entre os custos associados

à sua reparação e o valor criado por esse equipamento, será inaceitável. Ao atingir este ponto, o equipamento terá chegado ao fim da sua vida útil.

Para contrariar esta degradação acelerada do estado do sistema, que culminará no fim precoce do ciclo de vida do equipamento, deverá então, ser aplicado um programa de manutenção preventiva ao mesmo, mantendo o equipamento num estado de conservação estável e, garantindo assim um nível de fiabilidade muito superior ao que sucederia sem a adopção desse programa.

Um baixo nível de fiabilidade dos equipamentos traduz-se, para as empresas, na incapacidade das mesmas para darem resposta às exigências do mercado, uma vez que estes equipamentos têm uma maior probabilidade de ocorrência de uma falha.

Em suma, se um equipamento for sujeito a um programa de manutenção preventiva, a probabilidade de ocorrência de uma falha no mesmo diminui drasticamente, aumentando assim a fiabilidade do mesmo. Com isto, podemos afirmar que a disponibilidade de um equipamento está directamente relacionada com a sua fiabilidade e, como tal, com a filosofia de gestão da manutenção definida para esse equipamento.

Com isto, se assumirmos que os equipamentos de uma unidade industrial são sujeitos a um programa de manutenção preventiva adequado, podemos afirmar que estes oferecem a garantia de um nível de fiabilidade mais elevado, assim como um nível, também elevado, de disponibilidade.

A fiabilidade dos equipamentos trás também benefícios ao nível do planeamento dos *stocks* para manutenção, uma vez que, desta forma torna-se possível prever quando e em que quantidades um determinado item será necessário. Por outro lado, uma baixa fiabilidade dos equipamentos traduz-se, entre outros, na impossibilidade de construir um plano de gestão dos níveis de inventário a longo prazo de forma satisfatória. Grande parte das vezes, uma vez que as empresas não podem estar sujeitas à paragem da produção causada pela falta de peças de substituição para os equipamentos, nestes casos é habitual serem criados elevados níveis de *stocks*, bem como equipas de manutenção constituídas por um elevado número de técnicos, uma vez que a manutenção não tem confiança na gestão dos inventários para a manutenção (Smith, R. e Hawkins, B., 2004, p.37).

2.2.1 Estatística das Falhas

A fiabilidade constitui um método de análise estatística frequentemente aplicado em estudos de mortalidade de sistemas industriais. Este baseia-se no estudo das ocorrências, e respectivos tempos de ocorrência, de falhas dos equipamentos industriais (Dias, J., 2002).

No estudo dos dados dos tempos de falha é necessário ter em conta dois aspectos, de difícil manipulação através dos métodos convencionais: dados censurados e covariáveis dependentes do tempo. Para que seja possível a manipulação dos dados censurados e das covariáveis dependentes do tempo, procede-se à análise dos tempos desde a última falha, o que permite dividir a informação em dados censurados e dados não censurados. Esta divisão permitirá então a obtenção de estimadores consistentes dos parâmetros (Dias, J., 2002).

2.2.1.1 Dados Censurados

Os dados referentes aos tempos desde a última falha apresentam, muitas vezes, informação censurada, ou seja, informação incompleta. Isto sucede quando não é conhecido o tempo exacto da última falha (Dias, J., 2002). Os dados censurados são divididos, vulgarmente, em dados censurados à esquerda e dados censurados à direita.

Os primeiros, os dados censurados à esquerda, correspondem aos dados cuja informação relativa ao momento da ocorrência da falha anterior é desconhecida. Isto pode acontecer nos casos em que o sistema já estava em funcionamento quando se iniciou a recolha dos dados. Neste caso, a primeira falha a ocorrer desde o início do ensaio corresponde a um dado censurado à esquerda.

Quando a análise das falhas de um sistema é limitada pelo tempo (independentemente do número de falhas ocorridas, o período de tempo disponível para recolha dos dados dos tempos de falha tem um prazo definido), o último dado registado das falhas ocorridas durante o período de observação corresponde a um dado censurado à direita. Isto deve-se ao facto de o término do período de observação poder não corresponder ao momento da ocorrência da última falha. Desta forma, sempre que o fim do período de observação não corresponde ao momento da ocorrência da última falha, estamos perante um dado censurado à direita.

2.2.1.2 Sistemas Reparáveis

Crow (1975) refere que grande parte dos sistemas existentes podem ser categorizados em dois tipos distintos: Sistemas Não Reparáveis (ou sistemas de uma única utilização), e Sistemas Reparáveis (ou renováveis).

Segundo Dias, J. (2002), grande parte dos equipamentos utilizados na indústria corresponde, no que respeita à fiabilidade, a sistemas reparáveis. Ascher, H. e Feingold, H. (1984) afirmam que no caso dos sistemas reparáveis, o número de falhas de um dado sistema tem tendência a seguir um

Processo de Poisson para o qual podem ser feitas inferências estatísticas e que este pode ser homogêneo ou não homogêneo.

Um Sistema Reparável corresponde a um grupo de elementos que funcionam em conjunto, e cuja falha de um ou mais destes elementos não implica o fim do ciclo de vida do sistema global. Este tipo de sistemas é caracterizado pela capacidade que possuem de, após a ocorrência de cada falha, serem reparados e retomarem a capacidade para desempenhar plenamente as suas funções. A ocorrência de uma falha num dos elementos destes sistemas não implica, portanto, o fim do ciclo de vida do conjunto.

Ascher, H. e Feingold, H. (1984) definem o Sistema Reparável como um sistema cujo estado de operacionalidade, após cada falha, possa ser reparado e volte a desempenhar de forma satisfatória as suas funções. Os Sistemas Reparáveis podem, no entanto, ser sujeitos a acções de manutenção adicionais que podem influenciar os intervalos de tempo entre falhas, sendo dessa forma possível atingir níveis de desempenho mais elevados. Deste modo torna-se então fundamental, ao iniciar qualquer estudo, analisar a tendência e a independência dos dados recolhidos.

Segundo Wang, P e Coit, D. W. (2004), se um sistema puder ser reparado para um estado “bom como novo”, após a ocorrência de cada falha, então o processo de falha é denominado de processo renovável. Os intervalos de tempo entre falhas dos processos renováveis são independentes e identicamente distribuídos (iid). Um caso especial desta situação é o Processo de Poisson Homogêneo, que apresenta tempos entre falhas independentes e exponenciais.

Contrariamente aos sistemas reparáveis, um sistema não reparável (SNR) é caracterizado como o tipo de equipamentos cujo ciclo de vida termina no momento da ocorrência da primeira falha.

Segundo Marques, S. G. (2009), embora não possa ser considerado como regra, o conceito de sistema reparável está habitualmente associado a equipamentos e o de sistema não reparável aos componentes e órgãos desses equipamentos.

Quando se estudam sistemas reparáveis é muito importante analisar os dados dos tempos entre falhas desses sistemas, a fim de verificar se estes apresentam algum tipo de tendência (O'Connor, P. D. T., 1994). A aplicação do teste de Laplace aos dados recolhidos permite identificar a homogeneidade do seu comportamento, ou se estes apresentam algum tipo de tendência. Esta tendência, caso exista, pode ser crescente ou decrescente. A aplicação deste teste é habitualmente considerada como suficiente para analisar o comportamento dos dados dos tempos de falha.

A análise da tendência dos dados dos tempos de falhas pode ser efectuada com base nos *tempos entre falhas*. É importante, antes de mais, distinguir os dados dos tempos de falhas dos dados dos tempos entre falhas.

Correspondendo x_1, x_2, \dots, x_n aos valores dos tempos de falha desde o início da observação ($x = 0$) e sendo X_1, X_2, \dots, X_n os valores dos tempos entre falhas sucessivas (1, 2, ..., n), representam-se de seguida os mesmos, graficamente, a fim de se compreender melhor a diferença entre ambos.

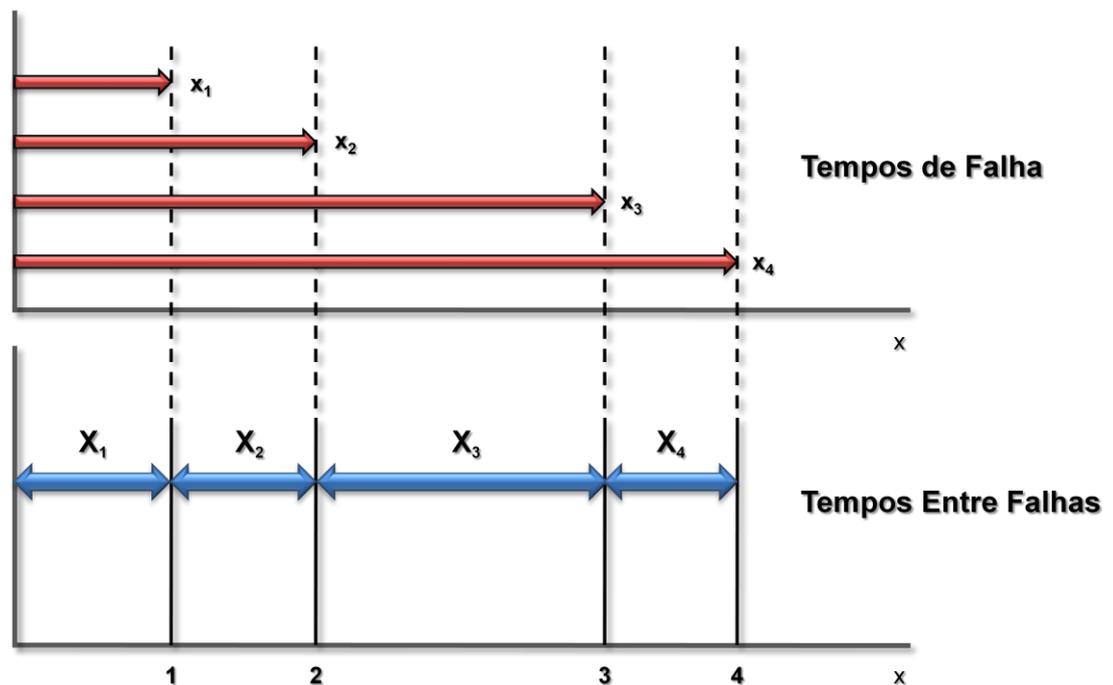


Figura 2.2- Exemplo de Tempos "De" e "Entre" Falhas

2.2.1.2.1 Teste de Laplace

O teste de Laplace permite compreender, com base numa estatística amostral, para um determinado nível de significância, se um sistema reparável se comporta como um Processo de Poisson Homogéneo (Hipótese Nula) ou, pelo contrário, se comporta como um Processo de Poisson Não Homogéneo (Hipótese Alternativa). Segundo Ascher, H. e Feingold, H. (1984), o teste de Laplace é suficiente para testar a presença de um Processo de Poisson Não Homogéneo.

Teste de Hipóteses:

$H_0 =$ *Processo de Poisson Homogéneo* (taxa de falhas constante)

$H_1 =$ *Processo de Poisson Não Homogéneo* (taxa de falhas variável no tempo)

Depois de formuladas as hipóteses Nula e Alternativa, procede-se então ao cálculo da estatística do teste (z_0).

Correspondendo $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$ aos valores dos tempos de falha desde o início da observação ($x = 0$), sendo n_f o número total de falhas ocorridas durante o tempo de duração do ensaio (T_0), o teste de Laplace é dado pela equação,

$$z_0 = \sqrt{(12 \cdot n_f)} \left(\frac{\sum_{i=1}^n \tau_i}{T_0 \cdot n_f} - 0,5 \right) \quad (2.1)$$

É de referir que é fundamental que os dados das falhas estejam por ordem cronológica.

Segundo Dias, J. (2002), no pressuposto de um Processo de Poisson, a estatística do teste de Laplace segue a distribuição Normal reduzida. Rejeita-se a hipótese de sistema reparável seguir um Processo de Poisson Homogéneo (hipótese nula, H_0) se $|z_0|$ for superior ao valor crítico ($z_{\alpha/2}$), para um nível de significância (α) definido. O mesmo é dizer que se rejeita a hipótese nula se os valores da estatística do teste (z_0) se encontrarem fora do intervalo de confiança.

2.2.1.3 Processos de Poisson

Um processo de Poisson (PP) tem por base a sequência de ocorrência das falhas de um sistema reparável, no decorrer do seu período de funcionamento. A sequência das falhas pode ser devida à ocorrência da falha de um, ou de mais componentes. Segundo Leitão (1989), os processos de Poisson podem apresentar a seguinte classificação:

- Processos de Poisson Homogéneos (PPH)
- Processos de Poisson Não Homogéneos (PPNH)
- Processos de Poisson Ramificados (PPR)
- Processos de Renovação (PR)
- Processos de Renovação Sobrepostos (PRS)

Na presente dissertação, contudo, serão estudados apenas os dois primeiros Processos identificados, PPH e PPNH.

Dias, J. (2002) refere que é prática vulgar considerar que um sistema constituído por um elevado número de componentes, com vários tipos de funções de risco, que não apresente tendência, constitui um Processo de Poisson Homogéneo.

2.2.1.3.1 Processos de Poisson Homogéneos

Segundo o disposto por Dias, J. (2002), considera-se que um processo estocástico pontual $\{N(t), t \geq 0\}$ é um Processo de Poisson Homogéneo se satisfizer três condições:

- 1) $N(0) = 0$
- 2) $\{N(t), t \geq 0\}$ é incrementado de forma independente
- 3) O número de falhas em qualquer intervalo Δt segue uma distribuição de Poisson com um valor médio $m = \lambda_0 \times \Delta t$.

Quando satisfeitas estas condições, a probabilidade de ocorrerem n_f falhas num dado intervalo de tempo Δt é dada por

$$P\{N(\Delta t) = n_f\} = \frac{e^{-m} \cdot m^{n_f}}{n_f!} \quad (2.2)$$

λ_0 é a constante que representa a taxa de falhas do sistema e o seu inverso corresponde ao MTBF.

Como demonstrado em Dias, J. (2002), a probabilidade de ocorrência de zero falhas pode ser obtida pela manipulação da equação anterior, de onde resulta

$$\begin{aligned} P\{N(0) = 0\} &= \frac{e^{-m} \cdot m^0}{0!} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow P\{N(0) = 0\} &= e^{-m} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow R(t) &= e^{-m} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow R(t) &= e^{-\lambda_0 \cdot \Delta t} \end{aligned} \quad (2.3)$$

A expressão obtida permite calcular a fiabilidade de um sistema, para um determinado intervalo de tempo Δt , quando a sequência de falhas do sistema segue um PPH.

Uma taxa de falhas constante pressupõe que os dados são independentes e identicamente distribuídos (i.i.d.)

2.2.1.3.1.1 Taxa de Falha Constante

No caso dos sistemas que apresentam Taxa de Falhas Constante, admite-se que os dados são i.i.d. e apresentam uma sequência aleatória, como é representado graficamente na Figura 2.3, a título de exemplo.

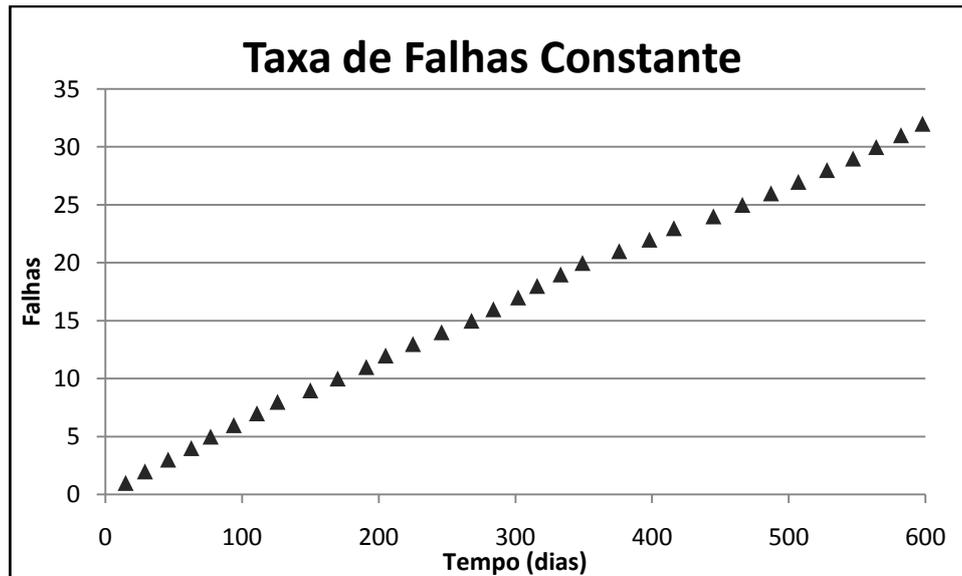


Figura 2.3 - Representação de um PPH, com taxa de falhas constante

Com a aplicação do teste de Laplace a este caso, verificar-se-ia que o $|z_0|$ seria inferior a $z_{\alpha/2}$, ou seja, não se rejeitaria a hipótese nula.

Segundo Dias, J. (2002), a presença de um Processo de Poisson Homogêneo pressupõe que o sistema apresenta uma taxa de falhas constante, sendo o número médio de falhas dado por

$$N(\tau) = \lambda \cdot \tau \quad (2.4)$$

Onde

$$\lambda = \frac{n_f}{T_0} \quad (2.5)$$

Sendo λ a taxa de falhas de um dado sistema cujas falhas seguem um Processo de Poisson Homogéneo, o tempo médio entre falhas, vulgarmente conhecido por MTBF, corresponde ao inverso de λ ,

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (2.6)$$

É importante referir que, segundo Dias, J. (2002), o facto de um sistema se comportar como um Processo de Poisson e de os tempos desde a última falha seguirem uma distribuição Exponencial negativa, não implica que os componentes que o constituem apresentem uma função de risco constante.

2.2.1.3.2 Processos de Poisson Não Homogéneos

Quando se está perante uma taxa de falhas que apresenta uma tendência (crescente, ou decrescente), a análise dos dados não pode ser efectuada do mesmo modo que no caso de se tratar de uma taxa de falhas constante. Quando os tempos entre falhas não são amostras aleatórias independentes, a ordem cronológica destas falhas é muito importante, de modo a se poder analisar os dados e estudar a tendência dos mesmos.

Segundo Dias, J. (2002), a presença de um Processo de Poisson Não Homogéneo é caracterizada por uma taxa de falhas dependente do tempo. Isto significa que os intervalos de tempo entre as falhas tendem a aumentar ou diminuir.

Em Dias, J. (2002), é possível observar a expressão não paramétrica utilizada para o cálculo da taxa de falhas de sistemas reparáveis que se apresentem como Processos de Poisson Não Homogéneos:

$$\rho_{(\tau)} = \lambda^* \beta^* \tau^{\beta^* - 1} \quad \lambda^*, \beta^* > 0, \tau \geq 0 \quad (2.7)$$

A expressão $\rho_{(\tau)}$ foi desenvolvida por Crow, sendo designada de modelo de Crow. Este modelo é aplicável a sistemas cujo comportamento siga um Processo de Poisson Não Homogêneo. A expressão do modelo de Crow permite estimar a taxa de falhas de um sistema que apresente uma taxa de falhas com tendência. As constantes do modelo de Crow ($\hat{\lambda}^*$ e $\hat{\beta}^*$) podem ser facilmente calculadas com o recurso à função de máxima verosimilhança:

$$\hat{\beta}^* = \frac{n_f}{\sum_{i=1}^{n_f} \left(\frac{T_0}{\tau_i} \right)} \quad (2.8)$$

e

$$\hat{\lambda}^* = \frac{n_f}{T_0} \quad (2.9)$$

sendo T_0 o tempo total de duração do ensaio e τ_i o tempo de vida do sistema no momento da n_i falha.

2.2.1.3.2.1 Taxa de Falhas Decrescente

Quando, ao analisar graficamente os tempos de vida do sistema no momento da falha, se verifica uma tendência crescente dos intervalos de tempo, prevê-se que o sistema apresenta uma taxa de falhas decrescente. No entanto, esta análise gráfica (Figura 2.4) pode ser enganadora e não dispensa a utilização do teste de Laplace.

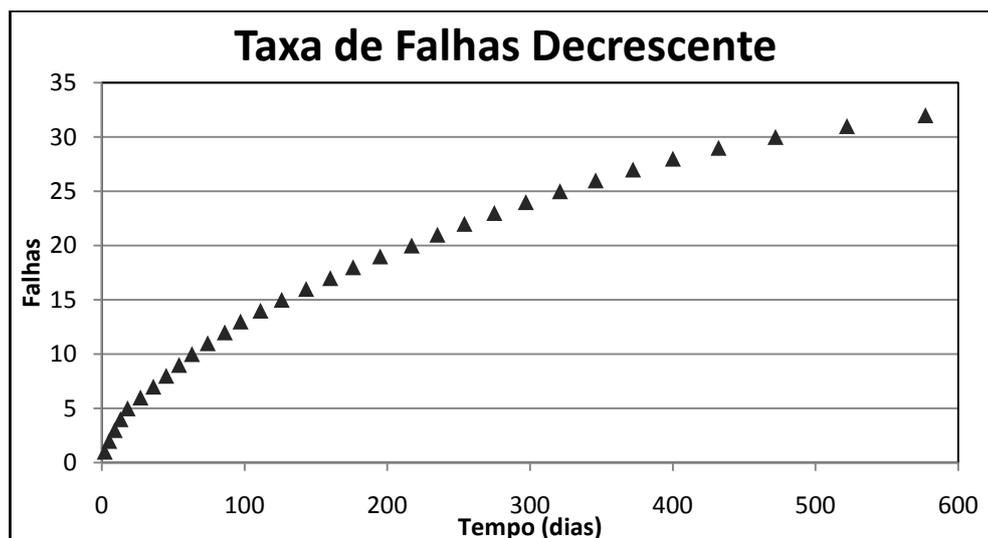


Figura 2.4- Representação de um PPNH, com taxa de falhas decrescente

No caso de o sistema em estudo apresentar uma taxa de falhas decrescente, é necessário perceber a razão dessa tendência. Esta pode ser devida ao facto de o equipamento se encontrar na região esquerda da curva da banheira (Figura 2.5), vulgarmente conhecida por região de mortalidade infantil, onde a taxa de falhas geralmente é alta, porém, decrescente. Esta corresponde à fase inicial do ciclo de vida de um sistema em que ocorrem inúmeras falhas causadas por erros de projecto, componentes inadequados, defeitos de instalação, entre outros. Nesta situação, a taxa de falhas do sistema tem tendência a diminuir, uma vez que as causas das falhas vão sendo corrigidas, até o sistema atingir a região do tempo de ciclo de vida útil da curva da banheira, ou seja, até a taxa de falhas estabilizar.

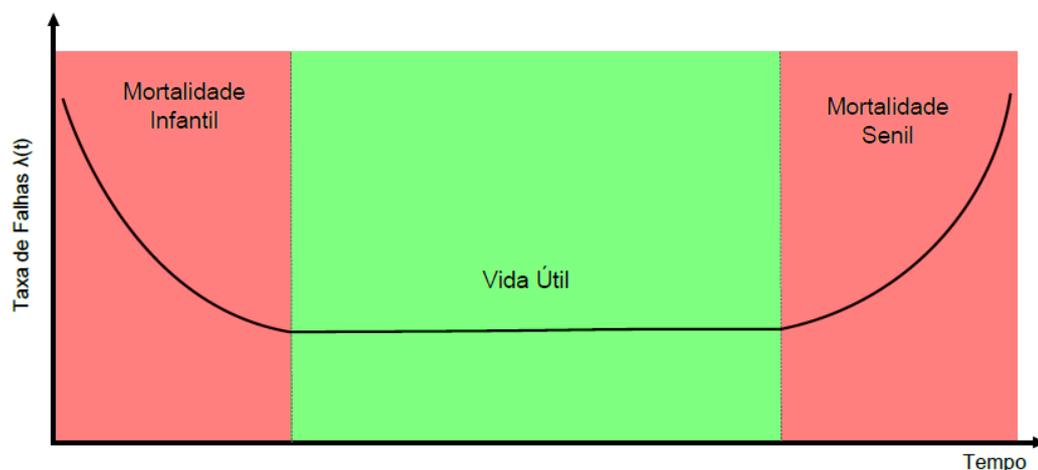


Figura 2.5- Curva da Banheira

2.2.1.3.2.2 Taxa de Falhas Crescente

Contrariamente ao sucedido para a taxa de falhas decrescente, quando se verifica, através da análise gráfica, que os tempos de vida do sistema no momento da falha apresentam uma tendência decrescente, prevê-se que a taxa de falhas do sistema seja crescente. Tal como foi referido no ponto anterior para a análise da tendência dos dados, a análise gráfica não substitui a necessidade de utilizar o teste de Laplace para confirmar essa tendência.

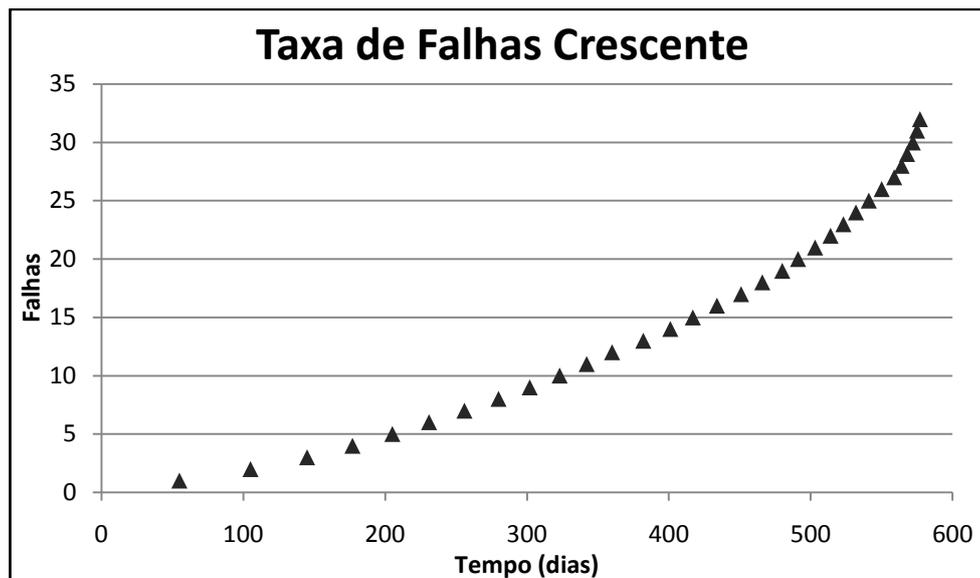


Figura 2.6- Representação de um PPNH, com taxa de falhas crescente

Quando um sistema apresenta uma taxa de falhas crescente é necessário, antes de mais, identificar a causa para essa tendência. Dias, J. (2002) refere três situações possíveis para este caso:

- Existência de uma causa especial, como a influência de um operador através de utilização incorrecta do sistema. Após corrigida a causa especial as falhas do sistema devem voltar a apresentar um comportamento aleatório.
- Existência de componentes com função de risco crescente na constituição do sistema. A solução para esta situação poderá passar por uma intervenção no componente em causa.
- Término do tempo de vida útil do sistema (entrada na região de desgaste por uso ou mortalidade senil). Nesta situação deixa de ser viável modelar o comportamento do sistema, sendo a sua substituição a solução mais adequada.

2.2.1.3.3 Distribuição de Weibull

Em 1951, W. Weibull, da *Royal Institute of Technology, Stockholm*, desenvolveu uma expressão empírica simples, que permite representar uma grande variedade de dados (Govil, A. K., 1983).

A distribuição de Weibull tem a vantagem de, em trabalhos relacionados com a fiabilidade, poder ser adaptada a várias distribuições, através do ajustamento dos seus parâmetros (O'Connor, P. D. T. (1994).

β e η são os parâmetros de forma e escala, respectivamente, da distribuição de Weibull.

Quando $\beta = 1$, a função de risco é constante.

Valores de $\beta < 1$, indicam que a função de risco é uma função decrescente no tempo.

Quando $\beta > 1$, a função de risco é uma função crescente no tempo.

Um exemplo da flexibilidade desta distribuição pode ser verificado quando $\beta = 3,44$, caso em que a distribuição se aproxima da distribuição Normal (Govil, A. K., 1983).

A Função de Distribuição Cumulativa é dada por,

$$F(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{\eta} \right)^\beta \right] \quad (2.10)$$

Derivando $F(t)$, obtém-se a Função Densidade de Probabilidade em função do tempo é dada por,

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta^\beta} t^{\beta-1} \exp \left[- \left(\frac{t}{\eta} \right)^\beta \right] \quad (2.11)$$

Para $t \geq 0$.

A Função de Fiabilidade correspondente é dada por,

$$R(t) = 1 - F(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{\eta} \right)^\beta \right] \quad (2.12)$$

Dividindo a Função Densidade de Probabilidade pela Função de Fiabilidade, obtém-se a Função de Risco,

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\frac{\beta}{\eta^\beta} t^{\beta-1} \exp \left[- \left(\frac{t}{\eta} \right)^\beta \right]}{\exp \left[- \left(\frac{t}{\eta} \right)^\beta \right]} = \frac{\beta}{\eta^\beta} t^{\beta-1} \quad (2.13)$$

2.2.2 Indicadores de Desempenho

A implementação de um programa de manutenção preventiva permite garantir a fiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos.

Só é possível dar a verdadeira importância à manutenção monitorizando indicadores de desempenho dos equipamentos e do processo de manutenção. Tal como é dito por Peter Drucker, não é possível gerir algo que não se consegue medir (“*If you can’t measure it, you can’t manage it.*”). Assim só definindo indicadores é possível quantificar os resultados obtidos e analisar áreas onde é possível implementar melhorias.

A combinação de várias métricas resulta em indicadores chave de desempenho, muitas vezes referidos como KPI’s (*Key Performance Indicators*). Estes permitem efectuar uma avaliação da evolução das metodologias aplicadas.

Relativamente à condição dos equipamentos de uma unidade industrial, a definição de indicadores de desempenho permite compreender a evolução do sistema através da análise do comportamento das falhas, dos níveis de disponibilidade dos equipamentos, do tempo despendido em acções correctivas, entre outros (Smith, R. and Hawkins, B., 2004, p.38).

A discussão, a definição e a refinação dos indicadores de desempenho para a eficácia da manutenção são levadas a cabo desde o aparecimento da manutenção preventiva. (Smith, R. and Hawkins, B., 2004, p.39).

Relativamente à manutenção industrial podem ser consideradas duas categorias de indicadores:

- Indicadores de estado dos equipamentos - são indicadores relacionados com o próprio equipamento e com as suas condições;
- Indicadores do processo de manutenção - são relativos à gestão dos processos e das pessoas envolvidas na manutenção;

Enquanto os primeiros avaliam os equipamentos, a estratégia e o plano de manutenção, os segundos avaliam os processos, a execução e as pessoas.

Os indicadores de desempenho podem ser utilizados, por exemplo, na monitorização do custo, fiabilidade, *downtime*, execução da manutenção ou melhoria do processo de manutenção.

Os indicadores podem ser uma “faca de dois gumes” pois se por um lado ajudam as organizações a focarem-se nos resultados, poderão levar a decisões erradas caso não definam correctamente os resultados que são pretendidos.

Segundo Smith, R. e Hawkins, B. (2004) é muito importante, antes de mais, definir claramente os objectivos da empresa, no que diz respeito à gestão da manutenção, assim como definir os indicadores de desempenho mais adequados à monitorização desses mesmos objectivos. Os autores realçam ainda o facto de os indicadores de desempenho poderem ser definidos de uma forma hierárquica e interligada, permitindo assim à gestão da manutenção identificar a raiz das falhas do sistema.

Os custos de manutenção representam, normalmente, uma fracção importante dos custos operacionais. Por essa razão, estes representam potenciais melhorias a curto-prazo. Atrasos, produtos rejeitados, tempo de paragem para manutenção planeada, custos de mão-de-obra, horas extra e peças e substituição são factores que geralmente contribuem para os custos de manutenção (Mobley, R. K., 2004, p.1).

2.3 Manutibilidade

Sendo a garantia da fiabilidade dos equipamentos um factor fundamental para a sobrevivência das empresas industriais, é então necessário ter em conta um aspecto muito importante, a manutibilidade dos equipamentos.

Os sistemas de engenharia actuais são cada vez mais complexos, o que torna cada vez mais importante a melhoria da manutibilidade dos equipamentos, principalmente na fase de concepção dos mesmos. A manutibilidade de um equipamento diz respeito à característica intrínseca ao mesmo, que reflecte a precisão, segurança, eficácia dos custos, facilidade e tempo requeridos para executar qualquer actividade de manutenção exigida ao mesmo. (Dhillon, B. S., 2007a)

A preocupação com a manutibilidade dos equipamentos não é uma questão recente. O início do conceito de manutibilidade remonta a 1901, quando os irmãos Wright assinaram contrato com a United States Army Signal Corps para o desenvolvimento de um avião. Uma das cláusulas definidas no contrato indicava que este deveria ser simples de operar e de manter (Dhillon, B. S., 2008).

Segundo Dhillon, B. S., (2007a) a manutibilidade divide-se em 6 subfactores: modularidade, simplicidade, consistência, acessibilidade documental, codificação e guias da documentação e auto-descrição.

Os requisitos de manutibilidade têm como objectivo determinar os esforços que serão exigidos aos potenciais utilizadores dos equipamentos e do pessoal da manutenção para a identificação das razões da ocorrência de falhas, para as corrigir e para verificar se estas foram corrigidas com sucesso (Dhillon, B. S., 2007a).

A redução do tempo e custos da manutenção projectada, a determinação do tempo e recursos dispendidos nessas manutenções e do tempo de paragem devido à manutenção são algumas das principais razões pelas quais devem ser aplicados os princípios de engenharia da manutibilidade (Dhillon, B. S., 2007a)

A procura pela optimização dos equipamentos, associada à aplicação de princípios de engenharia da manutibilidade permite assim obter benefícios ao nível da redução dos tempos e custos projectados para as actividades de manutenção, com base em alterações de projecto, focadas na facilitação da realização das actividades de manutenção, na redução do número de horas de trabalho exigidas e dos recursos envolvidos nessas actividades.

A análise dos dados referentes à manutibilidade dos equipamentos, juntamente com os dados referentes à fiabilidade dos mesmos permite então determinar a disponibilidade desses equipamentos.

A análise da manutibilidade dos equipamentos deve ser vista como um processo de melhoria contínua, com especial destaque na fase de concepção dos mesmos. No processo de melhoria contínua da manutibilidade dos equipamentos, utilização de *checklists* como ferramenta de suporte é uma mais-valia pois é uma ferramenta simples, económica e de fácil desenvolvimento. Segundo Dhillon, B. S. (2007a) as *checklists* devem ser desenvolvidas pelos próprios profissionais da manutenção, com foque nas áreas consideradas essenciais, podendo ser posteriormente serem utilizadas na revisão do *design* dos equipamentos ao longo das várias fases do seu ciclo de vida, assim como na previsão da manutibilidade dos equipamentos.

O conceito de manutibilidade foca então, a importância da determinação dos esforços necessários para a identificação das razões da ocorrência de falhas, com a sua correcção e avaliação do sucesso das acções realizadas nesse intuito.

A importância da obtenção de níveis elevados de fiabilidade dos equipamentos industriais, de forma eficaz e eficiente exige então a aplicação de um programa de manutenção preventiva a esses equipamentos, bem como uma análise das causas das falhas ocorridas nestes, de forma a efectuar um estudo de reengenharia destes equipamentos. Simultaneamente, é necessário optimizar a gestão da manutenção, de modo a padronizar procedimentos de trabalho, e a criar ferramentas de

apoio às actividades de manutenção. Para tal, propõe-se a adopção de conceitos e ferramentas baseados na filosofia *Lean*, cujo objectivo é a optimização dos processos através da reorganização dos mesmos e da eliminação dos desperdícios.

2.4 Gestão *Lean* da Manutenção

2.4.1 A Filosofia *Lean*

Desde a segunda guerra mundial, o acesso facilitado ao mercado trouxe mudanças ao nível do ambiente global de competitividade. Estas forças de mercado impulsionaram também a mudança do pensamento e técnicas da gestão da produção. Todas as gerações, desde há cerca de 200 anos atrás, contribuíram para a evolução dos sistemas de gestão e tecnologias de produção. Nestas contribuições estão incluídos os 14 maiores sistemas de gestão e inovações tecnológicas, bem como as 8 tecnologias que levaram ao desenvolvimento do sistema de gestão *Lean*, como se pode observar na Figura 2.7.

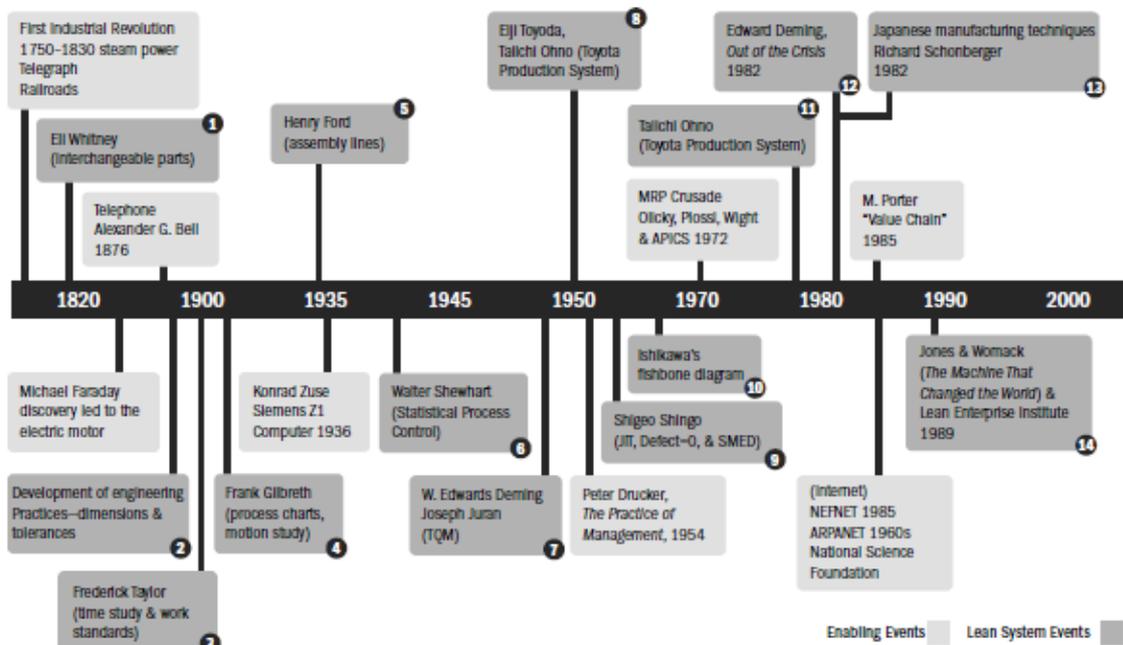


Figura 2.7- Cronograma do Sistema de Gestão da Produção (Fonte: Schmidt, J. e Lyle, D., 2010)

O principal objectivo da filosofia *Lean* é a maximização da criação de valor através da redução do desperdício, ou seja, criar mais valor com menos recursos (*Lean Enterprise Institute, 2008*).

Uma organização *Lean* compreende o que é o valor para o cliente e foca-se nos processos chave para aumentá-lo. O objectivo final será a criação perfeita de valor para o cliente, através de um processo perfeito de criação de valor. (*Lean Enterprise Institute, 2008*).

Para atingir esse objectivo, a filosofia *Lean* foca-se na optimização do fluxo de produtos e serviços, segundo uma gestão horizontal das tecnologias, bens e departamentos. (*Lean Enterprise Institute, 2008*).

Com a eliminação dos desperdícios ao longo do fluxo de valor, em vez de esta ser feita apenas em pontos isolados, são criados processos que necessitam de menos recursos humanos, menos espaço, menos capital e menos tempo para fazer produtos a um custo muito inferior e com muito menos defeitos, quando comparados com os sistemas tradicionais de negócio. As empresas adquirem a capacidade de resposta às mudanças das exigências dos clientes, com um elevado nível de qualidade, baixo custo e com tempos muito reduzidos de mudança. Adicionalmente, a gestão da informação também se torna mais simples e eficaz (*Lean Enterprise Institute, 2008*).

O primeiro, e bem conhecido, engenheiro industrial Frederick Winslow Taylor, considerado o pai da gestão científica, observou de perto o modo como eram efectuados os trabalhos nas fábricas de aço, medindo o seu *output* para descobrir o método mais eficiente de executar as tarefas necessárias (Schmidt, J. e Lyle, D., 2010).

Taiichi Ohno separou os desperdícios em sete tipos diferentes:

- Excesso de produção
- Stocks
- Transporte desnecessário
- Tempo de espera/armazenamento
- Processos/técnicas de trabalho impróprios
- Movimentos desnecessários
- Desperdício de material e reparações

Efectuando uma analogia entre os processos produtivos e as actividades de manutenção podemos considerar o “excesso de produção” como sendo equivalente ao excesso de actividades de

manutenção, efectuadas com base num planeamento incorrecto, com tempos demasiado curtos entre actividades de manutenção.

A criação de *stocks* tem a mesma finalidade, quer seja associada a um processo produtivo ou a actividades de manutenção, que consiste em garantir um nível mínimo de existências de um determinado bem. O objectivo da aplicação da filosofia *Lean* à gestão das existências de produtos, neste caso peças de substituição, é a optimização da gestão das existências destas peças, de modo a garantir a quantidade mínima e necessária, de modo a reduzir os custos de armazenamento e de posse.

Numa linha de produção, o transporte dos produtos entre as várias estações de trabalho corresponde a um desperdício, quer do tempo despendido, quer de energia gasta nesse mesmo transporte. O tempo de espera entre as várias fases do processo produtivo é também considerado uma fonte de desperdício. Do mesmo modo, o tempo de espera provocado pela organização ineficiente do trabalho de manutenção a efectuar, corresponde a um desperdício.

A adopção de processos ou técnicas de trabalho impróprias provoca desperdícios de recursos de tempo e de energia despendidos a executar tais processos e técnicas. O mesmo princípio se aplica à manutenção, cuja adopção de procedimentos e técnicas impróprias de execução das tarefas de manutenção provoca desperdícios de tempo e energia.

Uma análise de campo às actividades realizadas pelas equipas, quer sejam de produção ou de manutenção, permite identificar e propor soluções para eliminar desperdícios de movimentação. Este tipo de desperdício diz respeito a movimentações desnecessárias que, quando eliminadas, permitem efectuar as mesmas actividades num menor espaço de tempo.

Muitas vezes, na realização das actividades de manutenção são utilizados mais recursos do que necessário. Um exemplo disso é a utilização excessiva de consumíveis como desengordurantes ou outros produtos.

A identificação dos desperdícios presentes nas actividades de manutenção possibilita o estudo de soluções que permitam eliminar tais desperdícios. A identificação do desperdício é, portanto, o primeiro passo a tomar na adopção de uma filosofia *Lean*, seja ela aplicada aos processos produtivos, às actividades de manutenção, ou a qualquer outra área.

Sendo este um estudo cujo objectivo se prende na optimização da condição dos equipamentos de transporte de granéis sólidos de uma unidade de extracção de oleaginosas e baseando-se a filosofia *Lean* na eliminação de desperdícios e melhoria produtiva, procurou-se enquadrar esta filosofia na gestão da manutenção destes equipamentos.

Santos, et al. (2006) e Levitt, J. (2005) identificam, com base na filosofia *Lean*, a existência de seis causas principais de perda que afectam a produtividade dos equipamentos, com base nas perdas de valor de três tipos. São elas:

- 1) Tempos de paragem
 - a) **Avarias** (tempo em que os equipamentos estão parados para reparação).
 - b) **Setups** (tempo de paragem devido a mudanças de ferramenta)

- 2) Perdas de Velocidade
 - a) **Pausas “menores” ou tempos de imobilização** (tempos de paragem causados pela aleatoriedade dos processos ou pela complexidade do ciclo homem-máquina)
 - b) **Velocidade de produção reduzida** (causada pelo desgaste dos componentes)

- 3) Defeitos
 - a) **Defeitos ou re-trabalho** (perdas de tempo produtivo devido à falta de qualidade dos produtos)
 - b) **Perdas de arranque** (correspondem a defeitos de produção causados pelo equipamento no momento de arranque, até este atingir um estado de operacionalidade estável)

Como descrito anteriormente, existem seis tipos principais de perdas, baseadas nas perdas de valor de três tipos. As avarias, bem as mudanças de ferramenta, implicam perdas relacionadas com a paragem dos equipamentos. As perdas de velocidade podem dever-se a tempos aleatórios de imobilização dos equipamentos ou ainda ao desgaste dos componentes, que obrigue à redução da velocidade de trabalho. Relativamente às perdas relacionadas com defeitos, estas podem ser causadas pelo funcionamento incorrecto dos equipamentos, obrigando à produção de novos produtos ou à recuperação dos produtos defeituosos. As perdas relacionadas com a ocorrência de defeitos do produto podem ainda ser devidas á fase de arranque dos equipamentos. Neste caso, quando é passada a fase de arranque dos equipamentos e estabilizado o seu funcionamento, estes devem iniciar a produção livre de defeitos.

2.4.2 *Lean Maintenance* (Manutenção *Lean*)

Segundo Smith (2004), o *Lean Maintenance* (manutenção *Lean*, ou livre de desperdícios) deriva da filosofia TPM. O TPM, filosofia de gestão da manutenção introduzida por Nakajima no processo de melhoria da Toyota nos anos 70, tem como principal objectivo a optimização da fiabilidade e eficácia dos equipamentos industriais. O TPM resulta da combinação efectuada por

Nakajima entre teorias de manutenção preventiva e o conceito de qualidade total. Nakajima desenvolveu um indicador de desempenho global, que pode ser considerado um dos elementos chave do TPM, a Eficiência Global dos Equipamentos (OEE – *Overall Equipment Efficiency*).

A Eficiência Global dos Equipamentos indica o rácio entre a produção efectiva e a produção ideal, da fábrica, da secção ou do equipamento que se pretende estudar (Levitt, J., 2005).

Smith (2004) afirma que a manutenção *Lean* corresponde à optimização das operações de manutenção preventiva que conjugam as actividades de manutenção planeadas e calendarizadas, através de práticas de Manutenção Produtiva Total (TPM), com o recurso a estratégias de manutenção desenvolvidas segundo uma lógica de decisão da manutenção centrada na fiabilidade, com a aplicação dos processos 5S, actividades semanais de melhoria contínua (*Kaizen*) e manutenção autónoma efectuada por técnicos de manutenção multi-disciplinados, tendo por base um sistema de ordens de trabalho e um sistema de gestão da manutenção computadorizado (CMMS).

Segundo a filosofia *Lean Maintenance*, os técnicos de manutenção devem ser apoiados pelo armazém de peças de substituição que, baseado nas ordens de requisição de material (MRO), fornece os materiais necessários à manutenção numa base *Just-In-Time* (JIT), bem como o apoio do grupo de engenharia da fiabilidade que analisa a raiz das causas de falhas (RCFA), assim como as próprias peças que falharam, de modo a futuramente actuar de forma mais eficaz e eficiente na raiz dos problemas. O grupo de engenharia da fiabilidade é ainda responsável por efectuar análises da eficiência dos procedimentos de manutenção, análises à manutenção preditiva, bem como efectuar o rastreio da tendência e análise dos resultados de monitorização da condição dos equipamentos (Smith, 2004).

A melhoria contínua do programa de gestão da manutenção exige uma atitude proactiva e um envolvimento, desde o início, da parte de todos os intervenientes na organização, devendo partir da gestão de topo para ser implementada com sucesso (Dhillon, B. S., 2002a).

Segundo Dhillon, B. S. (2002a), o processo de melhoria contínua do programa de gestão da manutenção exige a execução de 9 passos sequenciais:

1. Identificar as fontes de desperdício, com recurso à análise de indicadores de desempenho e entrevistas às equipas de manutenção;
2. Definir os objectivos da manutenção, com vista à eliminação dos desperdícios identificados no primeiro passo e à redefinição/melhoria de objectivos anteriores;
3. Definir prioridades por ordem de poupanças geradas;
4. Definir os Indicadores de desempenho para cada objectivo definido;

5. Discutir e definir, com todos os intervenientes, planos e objectivos de manutenção preventiva de curto e longo-prazo;
6. Implementar o plano de manutenção preventiva de curto-prazo;
7. Elaborar relatórios periódicos relativos ao cumprimento dos objectivos de curto prazo traçados;
8. Acompanhar continuamente este processo, efectuando uma revisão global no final de cada ano, comparando os resultados obtidos com os objectivos traçados;
9. Renovar o plano de manutenção para o ano seguinte, tendo em conta os objectivos traçados a longo-prazo e os ajustamentos efectuados no plano anterior (a nível de acções, recursos, custos, etc).

De forma simplista e resumida, a manutenção *Lean* é um pensamento *Lean* aplicado à Gestão da Manutenção. Este procura, através da eliminação dos desperdícios, acrescentar valor à Gestão da Manutenção (Baptista, L.L., Dias, J.M e Couto, L., 2011).

A implementação de um projecto de melhoria da gestão da manutenção conduzirá, segundo Santos, et al. (2006), a uma melhoria da Eficiência Global dos Equipamentos (OEE).

A adaptação da filosofia *Lean* à gestão da manutenção não é, normalmente, um processo fácil nem rápido, devido à resistência que o ser humano tende a apresentar em relação à mudança. A implementação desta, ou de qualquer outra filosofia, numa organização só faz sentido se a importância da sua adopção for compreendida pela gestão de topo, pois é esta que define o rumo a tomar e que têm o poder para decidir se deve, ou não, ser investidos esforços na implementação dessa metodologia. A gestão de topo tem também, como autoridade superior nas empresas, a obrigação de incentivar e sensibilizar a restante organização para a importância da adopção dos novos métodos ou políticas de trabalho. Para isso pode promover acções de formação com objectivo de demonstrar aos seus colaboradores os benefícios da implementação desses novos métodos ou políticas de trabalho.

A implementação de uma nova filosofia de gestão da manutenção é, pelo descrito anteriormente, um passo muito importante a dar pelas empresas industriais, não podendo, no entanto, ser visto como um passo único, ou seja, a adopção de uma filosofia *Lean Maintenance* pressupõe um processo de melhoria contínua, cujo sucesso de implementação depende do empenho de toda a organização, desde os operadores dos equipamentos até à gestão de topo.

2.4.3 Ferramentas *Lean*

O pensamento *Lean*, como filosofia de gestão, tem por base um conjunto de ferramentas e técnicas de apoio à criação de valor e à eliminação de desperdícios. Desta forma, o pensamento *Lean* é uma filosofia permeável a propostas de melhoria, como a adopção de novas ferramentas que permitam a criação de maior valor e/ou a eliminação de desperdício. A implementação dos 5S, a adopção de eventos *Kaizen* (reuniões de melhoria contínua) semanais, a uniformização dos procedimentos de trabalho, a mudança rápida de ferramenta (SMED – *Single Minute Exchange Die*), o mapeamento dos processos (VSM – *Value Stream Mapping*), a criação de meios de controlo visuais dos processos ou a criação de um quadro de objectivos são apenas algumas das ferramentas utilizadas na adopção da filosofia *Lean*. Estas ferramentas contribuem para a optimização dos processos através da procura pela eliminação de todos os tipos de desperdício.

Estas ferramentas, conceitos e padrões de trabalho *Lean* são, habitualmente aplicados à área da produção (*Lean Manufacturing*), podendo, no entanto, ser aplicados a qualquer outra área. No presente trabalho, como foi definido nos objectivos da dissertação, pretende-se efectuar uma análise prática dos sistemas de transporte de sólidos e elaborar planos de manutenção preventiva para cada sistema de transporte, recorrendo a ferramentas *Lean*. Estas permitam otimizar a função gestão da manutenção destes equipamentos. Este trabalho académico pretende focar-se na componente operacional da melhoria da gestão da manutenção, com base na adopção de métodos e conceitos *Lean*, a presente dissertação procura aplicar estes conceitos ao caso prático em estudo. Dessa forma pretende-se analisar os benefícios resultantes dessa aplicação, como a redução dos custos de manutenção, e a optimização da função gestão da manutenção, com vista à redução dos recursos humanos e tempo necessários à realização das actividades de manutenção.

Cada actividade deve ser analisada de modo a identificar e eliminar as fontes de desperdício, reduzir as actividades não criadoras de valor, mas necessárias, e optimizar a segurança dos trabalhadores (Schmidt, J. e Lyle, D., 2010).

A prática dos 5S, por exemplo, é uma filosofia que visa incorporar os valores de selectividade, organização, limpeza, uniformização e disciplina no local de trabalho. Este é um dos primeiros métodos utilizados nas empresas na adaptação da filosofia *Lean* aos seus processos (Bayo-Moriones, A., Bello-Pintado, A. e Cerio J. M. D, 2010).

Esta é uma ferramenta organizacional que tem como objectivo a simplificação das áreas de trabalho, permitindo assim melhorar os processos, reduzir a área necessária à sua execução e a resolução de problemas de produtividade (Borris, 2006, p154).

Oriundos do Japão, os 5S's significam, segundo Keller, P. A. (2001): Seiri (Seleção), Seiton (Organização), Seiso (Limpeza), Seiketsu (Uniformização) e Shitsuke (Disciplina).

1. Seiri – Eliminar o desnecessário
2. Seiton – Organizar o local de trabalho
3. Seiso – Limpar o local de trabalho
4. Seiketsu – Implementar procedimentos de limpeza e manutenção regular
5. Shitsuke – Manter um processo de melhoria contínua

Uma prática utilizada para identificar a raiz das causas das falhas é denominada de *5Whys* (os 5 Porquês). Esta é uma ferramenta que, como o próprio nome indica, procura descobrir a razão da ocorrência dos problemas com a realização de cinco questões. A primeira questão é a mais vaga, define o objectivo a atingir, como “porque é que ocorreu o problema”. As questões seguintes são sucessivamente mais objectivas, até que na última questão é descoberta a raiz do problema. Segundo Schmidt J. G. e Lyle D. (2010), o Sistema Produtivo da Toyota foi desenvolvido com a prática e evolução desta abordagem científica. Ao responder a cinco questões, podemos chegar à verdadeira causa do problema, que muitas vezes está escondido por outros sintomas.

Depois de encontrada a causa do problema é tempo de resolvê-la, recorrendo à metodologia PDCA (*Plan-Do-Check-Act*), ou ciclo de Deming (Kahn M., 2003), que tem por base um ciclo composto por quatro passos: *Plan* (Planear); *Do* (Executar); *Check* (Verificar) e *Act* (Actuar).

O primeiro passo desta metodologia consiste em pegar na causa encontrada, responsável pela ocorrência do problema e propor uma solução para evitar a recorrência da mesma.

O segundo passo a tomar é testar a solução proposta para a resolução do problema inicial e, no terceiro passo, verificar a sua eficácia.

Depois de analisada e verificada a eficácia da solução proposta, procura-se aperfeiçoá-la (quarto passo da metodologia PDCA). Esta é uma metodologia de melhoria contínua, como representado na Figura 2.8.

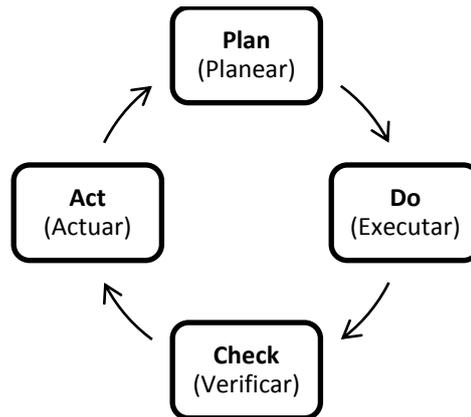


Figura 2.8 - Ciclo de Deming, ou metodologia PDCA

Com a aplicação destas metodologias é feita uma procura diária pela melhoria operacional dos sistemas, através da eliminação dos desperdícios. A utilização conjunta das metodologias *5Whys* e PDCA segue, portanto, os seguintes passos:

1. Identificação do problema
2. Determinação da raiz do problema
3. Definir as medidas a tomar para controlar a raiz dos problemas
4. Implementar as medidas definidas
5. Medir a eficácia das medidas implementadas
6. Repetir o processo de resolução do problema se a causa original persistir.

2.4.4 Áreas de Actuação da Gestão *Lean Maintenance*

Segundo Baptista, L.L., Dias, J.M e Couto, L. (2011), existem diversos campos na gestão da manutenção que, funcionando eficientemente, podem ser a chave para o sucesso desta actividade. Os autores listam nove campos da gestão da manutenção que, quando correctamente definidos e desenvolvidos, permitem garantir uma gestão da manutenção eficaz e eficiente, são eles

1. Política de Manutenção

A política de manutenção é um dos mais importantes elementos da gestão da manutenção. Esta é essencial para a continuidade das operações e para um entendimento claro do programa de gestão da manutenção.

2. Controlo do material

A experiência indica que, em média, 30 a 40% dos custos directos totais da manutenção são atribuídos aos custos dos materiais. A eficiência das equipas de manutenção depende largamente da eficiência da gestão dos materiais. O planeamento, a coordenação com as compras, com os fornecedores e uma boa gestão das peças de reserva podem ajudar a reduzir os problemas relacionados com os materiais.

3. Sistema de Ordens de Trabalho

Uma ordem de trabalho autoriza e orienta um indivíduo, ou equipa, para a execução de uma dada tarefa. As ordens de trabalho bem definidas devem incluir todos os trabalhos de manutenção requeridos e realizados.

4. Registos dos Equipamentos

O registo dos equipamentos desempenha um papel fundamental na eficiência e eficácia na organização dos trabalhos de manutenção. Os registos são, habitualmente, agrupados em quatro categorias: a) obras de manutenção; b) custos de manutenção; c) inventário; d) documentação técnica.

- a) O registo das obras de manutenção realizadas permite ter acesso ao histórico de intervenções realizadas ao longo da vida dos equipamentos, quer estas sejam de carácter correctivo ou preventivo.
- b) A categoria dos custos de manutenção contém o perfil histórico, a acumulação do trabalho e os custos de manutenção, por equipamento.
- c) No inventário deverão estar informações relativas aos equipamentos e respectivos componentes, tais como o custo e data da sua aquisição, o número de fabrico, fabricante, a sua localização nas instalações da empresa, entre outros.
- d) Na documentação técnica deverão estar guardados os manuais de operação e serviço dos equipamentos, bem como as garantias e desenhos dos mesmos, entre outros.

5. Manutenção Preventiva e Correctiva

A manutenção preventiva tem como finalidade manter os equipamentos numa condição satisfatória, pré-estabelecida, através da sua inspecção e da correcção de deficiências numa fase inicial. A fiabilidade dos equipamentos, o custo da operação de manutenção e a conformidade com os padrões de funcionamento estabelecidos constituem a exigência e âmbito da acção da manutenção preventiva.

6. Planeamento e Calendarização dos trabalhos

Na gestão da manutenção, o planeamento dos trabalhos a executar é um elemento fundamental, uma vez que permite que outras tarefas, das quais depende a actividade de manutenção, sejam programadas e realizadas, tais como a aquisição de peças, ferramentas e materiais, a definição de métodos e sequências de trabalho, a coordenação com outros departamentos (por exemplo com a produção) e ainda assegurar o cumprimento das regras de segurança. A calendarização da manutenção é de igual modo importante.

7. Controlo de Atrasos

Um dos factores determinantes dentro da organização da manutenção é a quantidade e dimensão dos atrasos das actividades de manutenção. Identificar atrasos na realização das actividades de manutenção é um passo muito importante para que seja possível ajustar a capacidade de resposta à carga de trabalho. Identificar os atrasos é ainda importante no que respeita à tomada de decisões relativas ao recurso a horas extraordinárias, contratação, subcontratação, entre outros.

8. Sistemas de Prioridades

A definição de prioridades dos trabalhos a executar é de extrema importância, uma vez que os recursos disponíveis para a manutenção podem não ser suficientes para dar resposta a todos os trabalhos exigidos num determinado espaço de tempo.

A definição das prioridades deve ter em conta factores como a importância do equipamento em termos da implicação na disponibilidade total do sistema produtivo, o tipo de manutenção a efectuar, os prazos para execução dos mesmos e tendo em conta também o planeamento da produção, tentando minimizar as perdas causadas pela paragem.

9. Medição do Desempenho

A análise do desempenho das organizações de manutenção é também um factor muito importante, pois esta permitirá perceber qual o tempo de inactividade dos equipamentos, bem como identificar peculiaridades no comportamento operacional da organização e assim contribuir para a melhoria e desenvolvimento de planos de manutenção futuros.

2.4.5 Princípios da Gestão *Lean Maintenance*

A gestão da manutenção tem vindo a evoluir ao longo do tempo, tendo sido desenvolvidos vários princípios de gestão da manutenção. Associados à gestão *Lean* da manutenção foram desenvolvidos seis princípios considerados fundamentais, que devem ser aplicados sistematicamente de modo a atingir uma gestão da manutenção mais eficiente e eficaz (Baptista, L.L., Dias, J.M e Couto, L., 2011). São eles:

- Máxima Produtividade dos recursos humanos envolvidos na manutenção, possível apenas com um sistema de instruções claras e sistemáticas (princípio de gestão científica formulado por Frederick W. Taylor no final do século XIX, mas mantém-se actualizado);
- Calendarização das Acções de Controlo, que permitam a detecção atempada das avarias, para que se possam preparar as intervenções;
- Registo das Acções de Controlo, para que se possam comparar os resultados obtidos com os objectivos traçados;
- Estrutura Organizacional Correcta, que permita controlar as operações de manutenção e, assim, apoiar as equipas de manutenção;
- Responsabilização Individual dos Intervenientes no controlo dos trabalhos de manutenção executados. É da responsabilidade do departamento de manutenção desenvolver, implementar e dar suporte operacional para o planeamento e programação dos trabalhos;
- As tarefas de manutenção a realizar devem ser planeadas de forma a necessitarem dos mínimos recursos possíveis.

Na adopção de uma filosofia *Lean* de gestão da manutenção é portanto muito importante garantir a aplicação contínua destes princípios, pois somente dessa forma será possível obter uma gestão da manutenção mais eficiente e eficaz.

CAPÍTULO 3 - ANÁLISE PRÁTICA DOS SISTEMAS REPARÁVEIS

A análise prática dos sistemas reparáveis em estudo teve por base os dados das falhas recolhidos das três famílias de equipamentos de transporte de granéis sólidos. Embora tenham sido disponibilizados dados relativos às falhas destes equipamentos desde o ano 2004, consideraram-se válidos apenas os dados recolhidos no período de tempo decorrido entre Setembro de 2009 (inclusive) e Dezembro de 2010 (fim da recolha de dados). O período total de ensaio foi de 456 dias. Os dados relativos ao período anterior a Setembro de 2009 foram considerados inválidos porque o registo dos dados das falhas não era, até então, efectuado com o devido rigor, existindo registos de falhas com tempos de resolução da falha na ordem dos 30 dias, não podendo ser, portanto, considerados fiáveis esses dados. O registo de tais dados deveu-se, principalmente, à falta de sensibilização da equipa de manutenção, até à data definida para o início do ensaio, para o rigor necessário no registo dos tempos e causas das falhas, sendo registadas as aberturas das ordens de trabalho de manutenção no momento da ocorrência das falhas, mas não sendo efectuado o seu fecho logo após efectuadas as acções realizadas. A data do fecho das ordens de trabalho define então o tempo de correcção das falhas.

Estando definidos os tempos de início e duração do ensaio, procedeu-se então ao tratamento dos dados recolhidos nesse período. Uma vez que os dados recolhidos das falhas ocorridas não distinguiam os sistemas responsáveis pelas falhas, foi necessário antes de mais, identificar esses sistemas. Os sistemas objecto de estudo correspondem a três famílias de equipamentos: Transportador de Corrente (Vulgarmente e de ora em diante denominado de Redler); Transportador do tipo Sem-Fim (de ora em diante denominado de Sem-Fim) e Transportador do tipo Elevador de Alcatruzes (de ora em diante denominado de Elevador). As três famílias de equipamentos são descritas, sucintamente, a seguir.

3.1 Descrição dos Sistemas-Transportador

3.1.1 Transportador tipo Redler

Os transportadores de corrente existentes na unidade industrial em estudo são do tipo Redler. Estes equipamentos podem ser utilizados na movimentação de granéis sólidos em

planos horizontais, inclinados e também em planos verticais. Os Redlers são constituídos pelo corpo do Redler (vulgarmente denominado de “caldeiraria”), pelo conjunto de arraste, pelo accionamento e pelas estações motriz e tensora, vulgarmente designadas por, respectivamente, cabeça e pé.

O corpo do Redler tem uma estrutura paralelepípedica, hermeticamente fechada, e é constituído pelos painéis laterais, pelo painel de fundo e pelo painel de topo. Dependendo da configuração do equipamento, o corpo do Redler pode também incluir um fundo intermédio e/ou uma guia de desgaste montada nos painéis do fundo ou intermédios. A guia de desgaste consiste numa “barra” guia, sobre a qual a corrente de arrasto desliza, e que tem como objectivo prevenir o desgaste da corrente de arrasto pelo contacto directo com os painéis do fundo ou intermédios, caso existam.

Dependendo das características da utilização pretendidas, o corpo do Redler pode ser construído em diferentes materiais, como aço carbono, galvanizado ou não, ou aço inoxidável, geralmente utilizado em ambientes húmidos ou corrosivos. Os painéis podem ainda ser revestidos por um painel de protecção dos mesmos, quando são feitos de aço carbono e transportam material húmido ou corrosivo. A corrente de arraste destes transportadores pode ter diversas configurações, dependendo a sua escolha do material a transportar.

A configuração dos Redlers depende, portanto, da finalidade de utilização dos mesmos. Os Redlers podem apresentar uma configuração simples, dupla ou mista e podem ainda painéis de fundo intermédio. Uma das grandes vantagens dos Redlers é o facto de estes equipamentos serem constituídos por módulos, o que torna relativamente fácil a sua montagem e desmontagem, para reparação, reconfiguração ou simplesmente para mudar a sua localização. Os painéis têm, geralmente, 2500mm ou 3000mm de comprimento, permitindo assim a fácil reparação ou substituição dos Redlers por módulos, bem como para a reconfiguração do mesmo se necessário (ex: o seu comprimento total do Redler pode ser encurtado ou acrescentado, de acordo com as necessidades, bem como a sua inclinação também pode ser ajustada).

No caso de o accionamento ser indirecto, este é composto pelo moto-redutor (em alguns casos o moto-redutor é substituído pelo conjunto “motor + caixa redutora”), acoplamento (rígido ou elástico) e transmissão. Se o accionamento for directo, a força motriz é passada directamente do veio do moto-redutor para o veio da estação motriz, com acoplamento rígido ou elástico.

É apresentado, de seguida, um exemplo de um transportador do tipo redler.

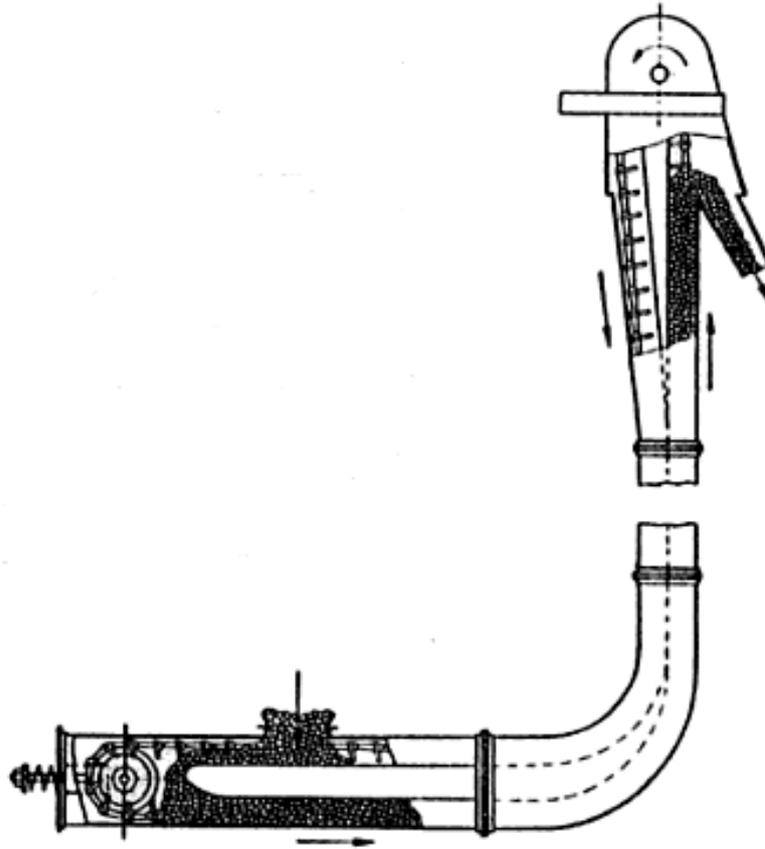


Figura 3.1 - Exemplo de um transportador do tipo Redler (Fonte: Sass F. et al, 1974)

3.1.2 Transportador tipo Sem-Fim

O corpo dos transportadores do tipo Sem-Fim pode apresentar, geralmente, dois tipos de configuração: a estrutura do corpo do transportador pode ser do tipo “calha” (em forma de “U”), tapada na parte superior com uma tampa (à semelhança dos Redlers), ou pode apresentar uma estrutura tubular fechada, com janelas de inspeção localizadas ao longo do corpo do transportador. Dentro do corpo do transportador existe um helicóide, vulgarmente designado “sem-fim”, que dá o nome ao transportador.

O accionamento deste tipo de transportadores pode ser directo ou indirecto, sendo que a grande parte dos transportadores deste tipo existentes na unidade industrial em estudo são de accionamento indirecto. O material é depositado na boca de carga localizada na extremidade oposta ao moto-reductor, sendo arrastado até à boca de descarga de material existente na extremidade onde se encontra o moto-reductor. O arrastamento do material deve-se ao movimento circular do helicóide que, à semelhança de um parafuso, ao ser rodado, o sem-fim

arrasta o material ao longo do corpo do transportador. É apresentado de seguida, um desenho ilustrativo deste tipo de transportadores.

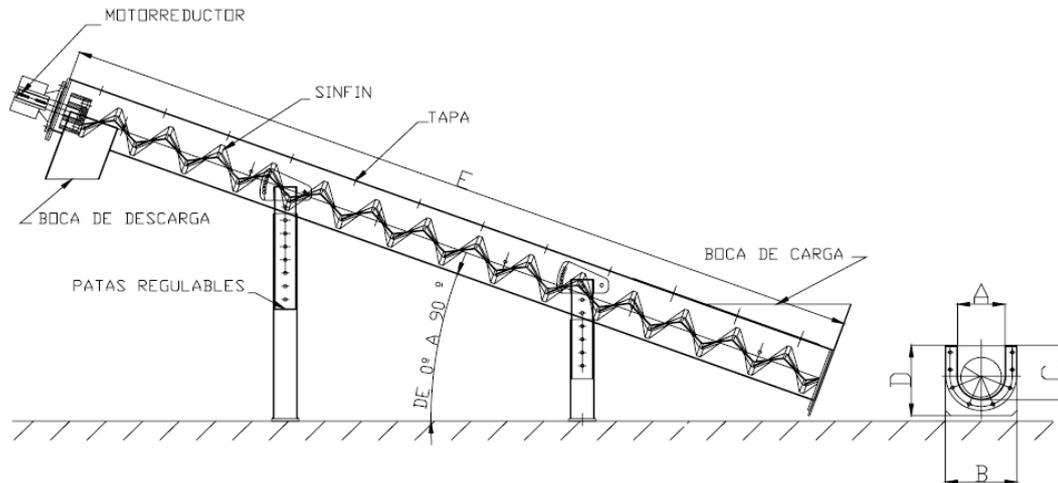


Figura 3.2 - Exemplo de um transportador do tipo Sem-Fim (Fonte: Tecnor Medio Ambiente S.L.)

3.1.3 Transportador tipo Elevador

Os Elevadores de Alcatruzes são equipamentos de movimentação de granéis sólidos no plano vertical. À semelhança dos transportadores do tipo Redler, os Elevadores de Alcatruzes são compostos pelo corpo do Elevador (vulgarmente denominado de “caldeiraria”), pelo conjunto de arraste, pelo accionamento e pelas estações motriz e tensora, vulgarmente designadas por, respectivamente, cabeça e pé.

O corpo do Elevador apresenta uma estrutura paralelepípedica, hermeticamente fechada, que pode ser simples, ou composta por dois canos. Este, à semelhança dos Redlers, pode ser feito em diferentes materiais como aço carbono, galvanizado ou não, ou aço inoxidável, mais utilizado em ambientes húmidos ou corrosivos. Os painéis exteriores podem ainda ser revestidos por um painel interior de protecção dos mesmos, quando são feitos de aço carbono e transportam material húmido ou corrosivo.

Os baldes transportadores podem ter muitas configurações diferentes, de acordo com o material a transportar.

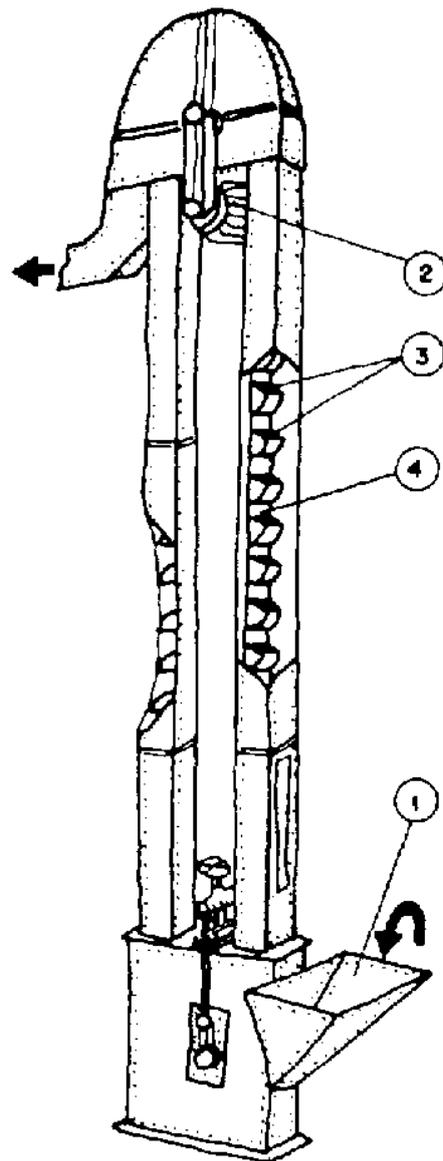


Figura 3.3 - Exemplo de um transportador do tipo Elevador de Alcatruzes (Fonte: Juncor)

3.2 Análise das Falhas dos Sistemas de Transporte

3.2.1 Análise das Falhas do Sistema Global de Transporte

O estudo dos sistemas de transporte teve início com a análise do conjunto global dos sistemas de transporte de grãos sólidos, ou seja, foi efectuada uma primeira análise ao

conjunto “Redler + Sem-Fim + Elevador”, de modo a ter uma ideia do comportamento do conjunto de equipamentos de transporte como um sistema global de transporte, ao longo dos 456 dias de duração do ensaio. No período de ensaio verificou-se a ocorrência de 189 falhas, das quais 70 dizem respeito aos Redlers, 74 aos Elevadores e as restantes 45 dizem respeito aos Sem-Fim.

Recorreu-se então ao teste de Laplace, referido por Ascher, H. e Feingold, H. (1984) como suficiente, para testar a presença de um Processo de Poisson Não Homogéneo, sendo apresentados os valores da estatística de teste e do valor crítico na Tabela 3.1, bem como a identificação do comportamento das falhas do sistema global de transporte.

Tabela 3.1- Teste de Laplace - Sistema Global de Equipamentos de Transporte

<p style="text-align: center;">Teste de Laplace (Sistema Global de Equipamentos de Transporte)</p>	
$z_{0,05}$	1,65
n_f	189
$\sum_{i=1}^n \tau_i$	42844
T_0	456
z_0	-0,137
$ z_0 < 1,65$	
Taxa de Falhas	Constante

Como se pode verificar na Tabela 3.1, para um nível de significância de 10% (intervalo de confiança de 90%), o valor crítico correspondente é 1,65. Calculando a estatística de teste obtém-se o valor $z_0 = -0,137$. Confrontando o valor da estatística de teste com o valor crítico definido, é possível verificar que as falhas do sistema global de transporte se comportam segundo um PPH. Isto é, a taxa de falhas do sistema é constante. A evolução gráfica das falhas do conjunto das três famílias pode ser observada na

Figura 3.4.

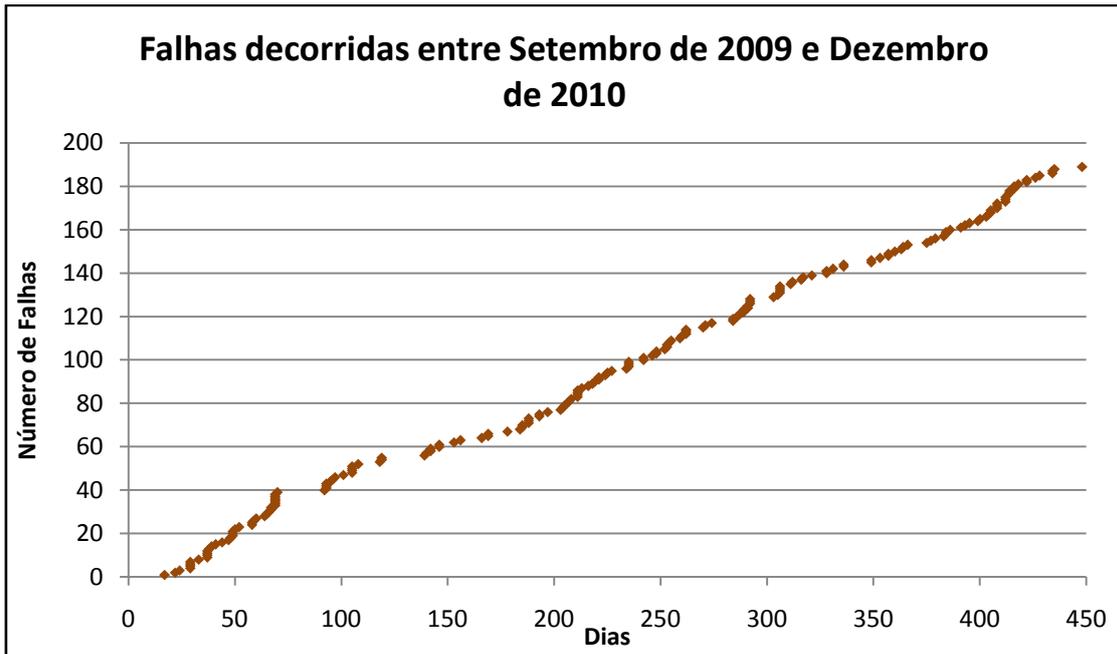


Figura 3.4- Número de falhas ocorridas no período em estudo.

Uma vez que os dados das falhas do sistema global de transporte seguem um PPH, é possível calcular a taxa de falhas do sistema, bem como o seu MTBF.

Deste modo, dividindo o número de falhas total pelo tempo de observação, o sistema global de transporte apresenta então uma taxa de falhas igual a 0,41 falhas por dia, o que equivale a um MTBF de 2,41 dias.

Embora o sistema global de transporte se comporte segundo um PPH, cuja taxa de falhas é constante, é importante referir que o valor do MTBF é muito reduzido. Este facto pode afectar gravemente a capacidade produtiva de toda a unidade industrial, sendo que estes equipamentos são responsáveis pelo fluxo da matéria-prima ao longo das várias fases do processo de extracção, que tem início na recepção das sementes nos armazéns de recepção e termina com a deposição da casca nos armazéns de farinha para expedição.

Analisando quantitativamente as falhas de cada sistema verifica-se que, relativamente ao número de falhas ocorridas em cada família de equipamentos, a família dos Elevadores é a que apresenta maior criticidade, com 74 falhas durante o período de ensaio, a par com a família dos Redlers que apresentou 70 falhas. A família dos Sem-Fim é a que menor número de falhas apresentou, ao longo do período em análise, tendo sido registadas apenas 45 falhas. A representação gráfica desta análise quantitativa é apresentada na Figura 3.5.

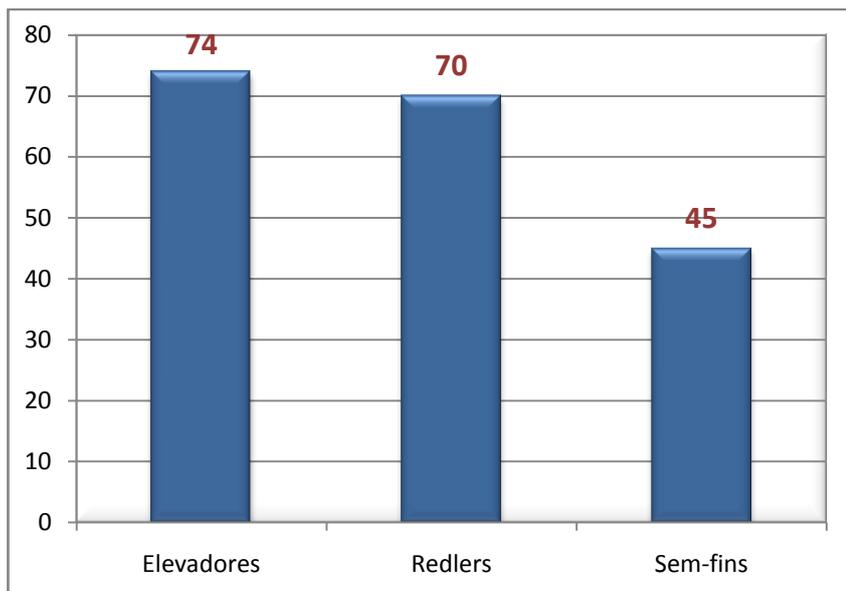


Figura 3.5- Número de falhas por família de equipamentos

Como se pode verificar na Tabela 3.2, o conjunto das falhas das famílias dos Elevadores e dos Redlers corresponde a, aproximadamente, 76% do número total de falhas.

Tabela 3.2- Número de falhas por família de equipamentos

Família de Equipamentos	Número de Falhas	Percentagem de Falhas
Elevadores de Alcatruzes	74	39%
Redlers	70	37%
Sem-Fins	45	24%
Total	189	100%

Relativamente à análise dos tempos de paragem causados pela ocorrência das falhas, é possível observar na Figura 3.6 que a família dos Elevadores volta a ser a mais crítica, distanciando-se claramente das famílias dos Redlers e dos Sem-Fim.

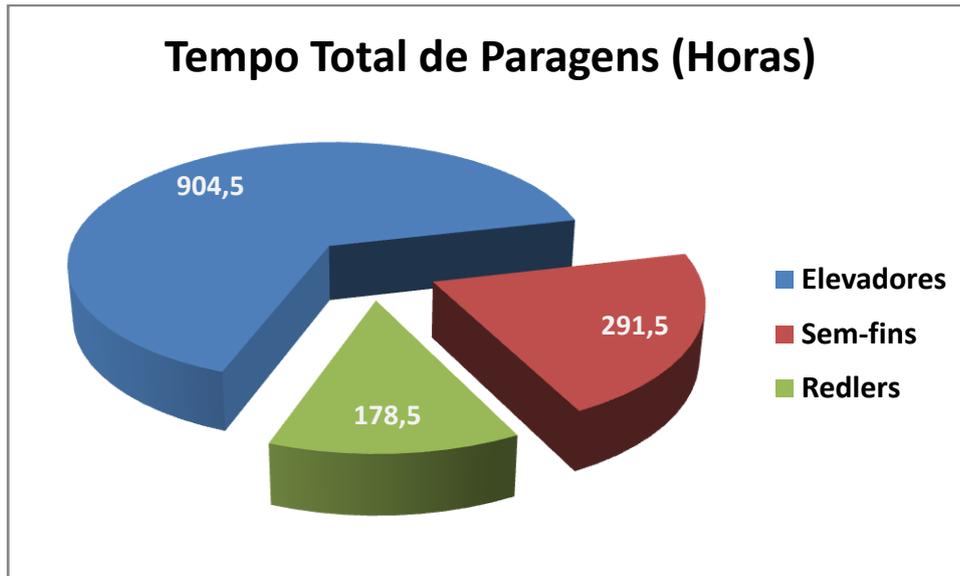


Figura 3.6- Tempo de paragem, devido a falhas, por família de equipamentos

É também muito importante conhecer o comportamento de cada uma das famílias de equipamentos. Para tal, proceder-se-á de seguida à análise individual de cada uma destas famílias de equipamentos.

3.2.2 Análise Estatística dos Redlers

Como foi referido anteriormente, com a família dos Redlers que apresentou um total de 70 falhas durante o período de ensaio. É possível analisar, graficamente, o comportamento das falhas desta família de equipamentos, com recurso à Figura 3.7.

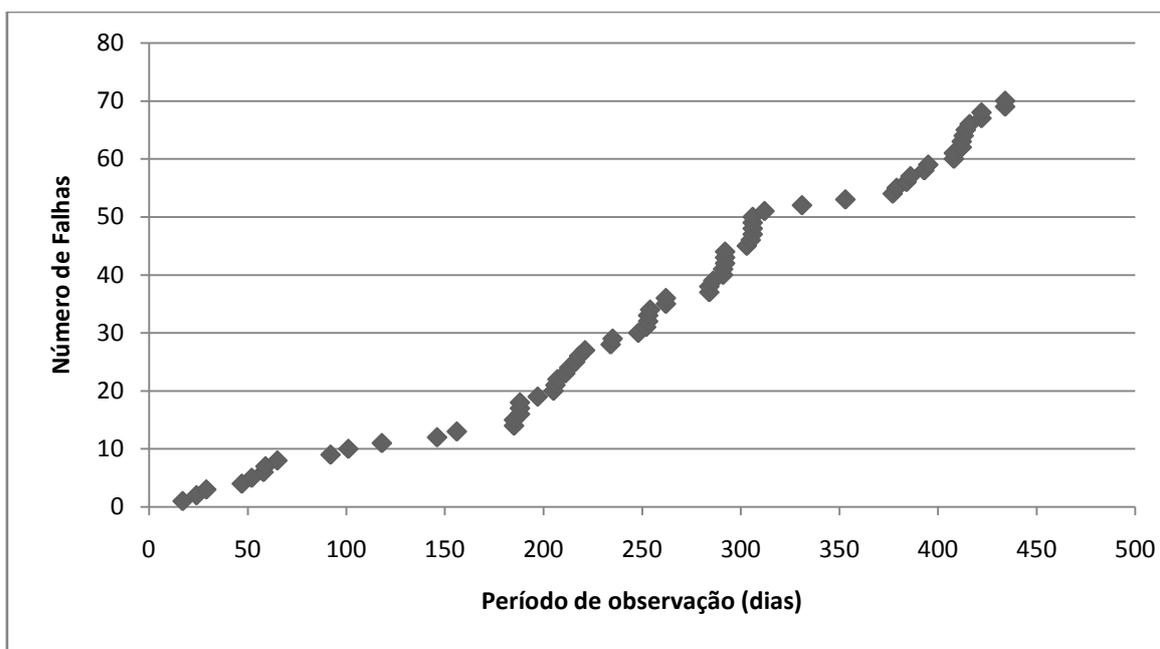


Figura 3.7- Número de falhas dos Redlers

Analisando, graficamente, a Figura 3.7, verifica-se que esta apresenta algumas variações. Entre o início do ensaio e o dia 70, as falhas apresentam tendência de ocorrência crescente. Durante o período entre, aproximadamente, os dias 70 e 170 verifica-se a ocorrência de poucas falhas, não sendo possível analisar graficamente a sua tendência. No entanto, do dia 170 em diante, a análise gráfica do comportamento das falhas dos Redlers apresenta uma tendência crescente de ocorrência de falhas, à excepção do período de tempo entre os dias 320 e os 370 do ensaio, onde, se voltou a verificar a ocorrência de poucas falhas. Estes dois períodos, durante os quais se verificaram poucas ocorrências de falhas, podem ser explicados por uma falta de registo das falhas ocorridas durante esses períodos.

Não nos devemos esquecer que a análise gráfica do comportamento dos sistemas não substitui a utilização do teste de Laplace, deste modo, efectuou-se então o teste de Laplace para a família os Redlers, obtendo-se os valores apresentados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3- Teste de Laplace – Redlers

Teste de Laplace (Família dos Redlers)	
$z_{0,05}$	1,65
n_f	70
$\sum_{i=1}^n \tau_i$	18094
T_0	456
z_0	1,937
$z_0 > 1,65$	
Taxa de Falhas	Crescente

Como se pode verificar na Tabela 3.3, e à semelhança da conclusão retirada através da análise gráfica, o sistema composto pela família dos equipamentos de transporte do tipo Redler apresenta uma taxa de falhas crescente.

Uma vez que o comportamento das falhas do sistema segue um PPNH, cuja taxa de falhas é crescente, não é possível calcular o MTBF deste sistema. Nesta situação, o primeiro passo a tomar é a aplicação das devidas medidas de manutenção aos equipamentos em questão, de forma a estabilizar o comportamento das falhas dos mesmos, ou seja, de forma a tornar constante a sua taxa de falhas.

De forma a identificar os equipamentos da família dos Redlers que mais contribuem para a quebra da fiabilidade do conjunto dos Redlers, aplicou-se o diagrama de Pareto (Figura 3.8) ao conjunto de equipamentos constituintes desta família de transportadores.

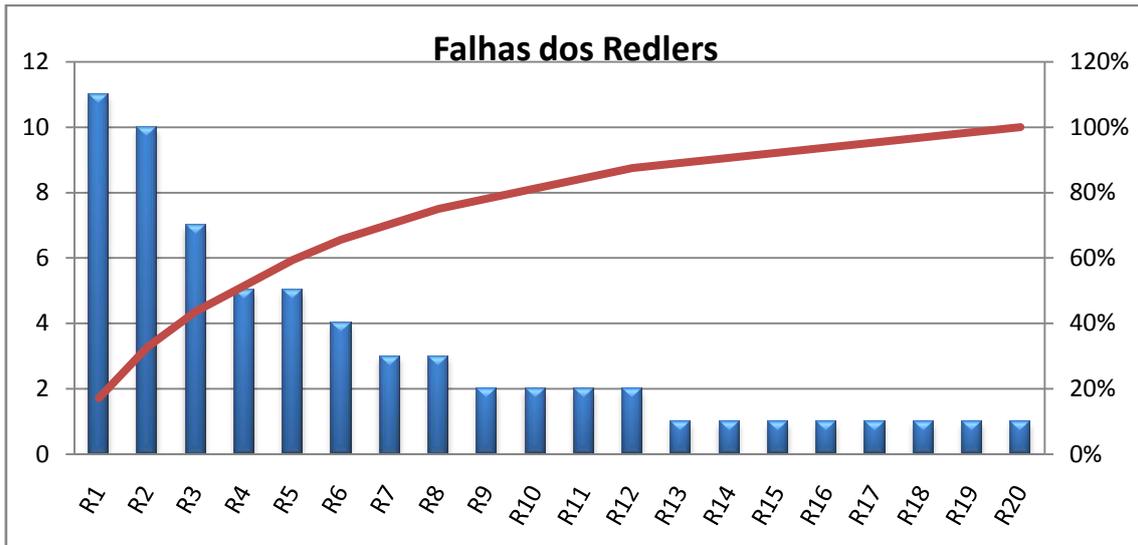


Figura 3.8- Diagrama de Pareto aplicado aos Redlers.

Verifica-se então, pela análise da Figura 3.8, que as falhas dos equipamentos R1 a R7 correspondem a cerca de 70% das falhas ocorridas no período em estudo.

3.2.3 Análise Estatística dos Elevadores de Alcatruzes

Analisando graficamente a

Figura 3.9, verifica-se que a família dos equipamentos de transporte do tipo “Elevador de Alcatruzes” aparenta apresentar, numa fase inicial, uma taxa de falhas crescente, estabilizando a partir do instante 150 do ensaio.

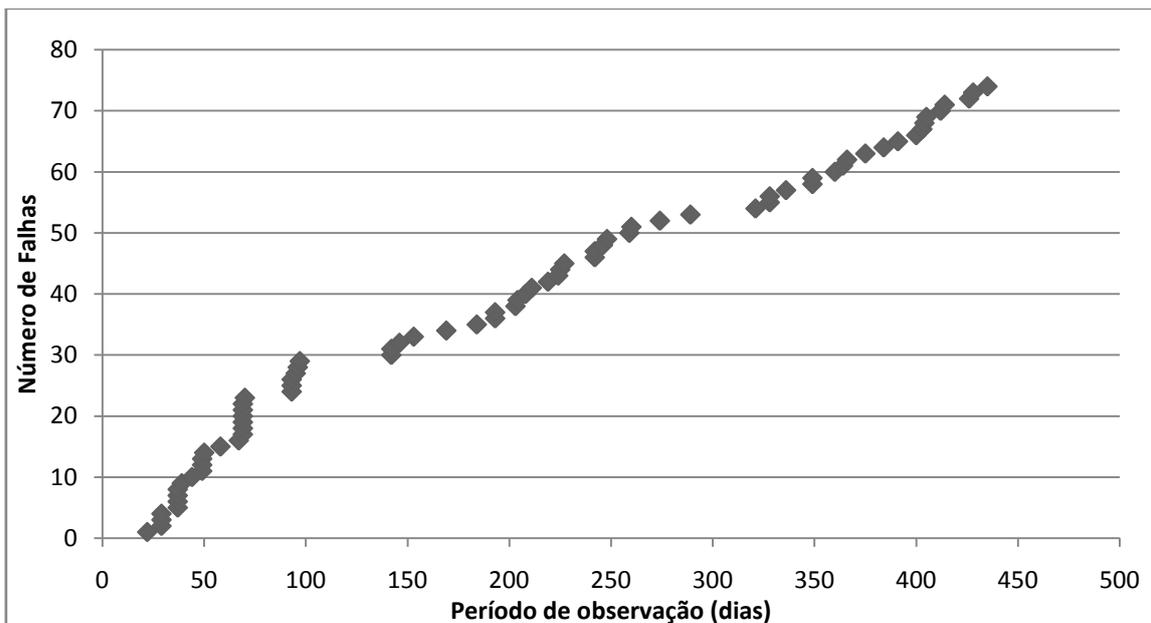


Figura 3.9- Número de falhas dos Elevadores de Alcatruzes

Aplicando o teste de Laplace, como já foi aplicado anteriormente no estudo do conjunto global dos equipamentos de transporte, assim como no estudo do comportamento das falhas dos Redlers, é então possível verificar se estes sistemas se comportam segundo um PPH ou não. Na Tabela 3.4 é apresentado um resumo do teste.

Tabela 3.4- Teste de Laplace – Elevadores de Alcatruzes

Teste de Laplace (Família dos Elevadores)	
$z_{0,05}$	1,65
n_f	74
$\sum_{i=1}^n \tau_i$	15250
T_0	456
z_0	-1,432
$ z_0 < 1,65$	
Taxa de Falhas	Constante

Com a aplicação do teste de Laplace aos dados das falhas dos Elevadores verifica-se, que o comportamento das falhas ocorridas nestes segue um PPH, apresentando uma taxa de falhas constante.

Uma vez que as falhas dos Elevadores se comportam segundo um PPH, foi possível calcular a taxa de falhas destes equipamentos, cujos resultados podem ser observados na Tabela 3.5.

Tabela 3.5- Taxa de Falhas e MTBF dos Elevadores

Taxa de Falhas	0,16 Falhas/Dia
MTBF	6,2 Dias

Como já foi referido também anteriormente, o inverso da Taxa de Falhas corresponde ao MTBF, tendo este sido também apresentado na Tabela 3.5.

Aplicando o diagrama de Pareto às falhas por equipamento, da família dos Elevadores, verifica-se que 50% das falhas dizem respeito a um único equipamento (Figura 3.10). É necessário, portanto, perceber as causas responsáveis por esta situação.



Figura 3.10- Diagrama de Pareto aplicado aos Elevadores

3.2.4 Análise Estatística dos Sem-Fim

Uma análise gráfica preliminar da Figura 3.11 permite verificar que o comportamento das falhas dos equipamentos de transporte de granéis sólidos do tipo Sem-Fim apresenta aleatoriedade na ocorrência das mesmas. Não dispensando a necessidade da aplicação do teste de Laplace, através da análise gráfica do comportamento das falhas destes equipamentos, é possível pressupor que a taxa de falhas destes não apresentará tendência, ou seja, será uma taxa de falhas constante.

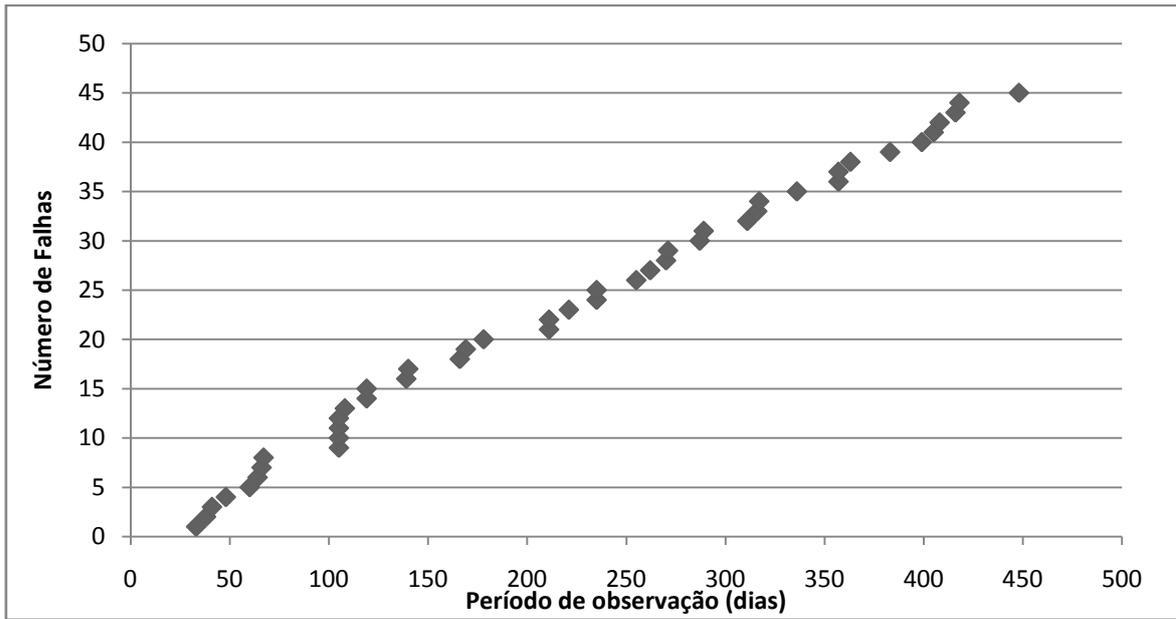


Figura 3.11- Número de falhas dos Sem-Fim

Aplicando então o teste de Laplace aos dados das falhas dos equipamentos de transporte do tipo Sem-Fim verifica-se que estas seguem um PPH, com taxa de falhas constante.

Tabela 3.6- Teste de Laplace – Sem-Fim

Teste de Laplace (Família dos Sem-Fim)	
$z_{0,05}$	1,65
n_f	45
$\sum_{i=1}^n \tau_i$	9956
T_0	456
z_0	-0,344
$ z_0 < 1,65$	
Taxa de Falhas	Constante

Esta é, das três famílias de equipamentos, a que menos cuidados inspira ao nível da fiabilidade dos equipamentos que as constituem, uma vez que a sua taxa de falhas é constante e

o número de falhas ocorridas no período de ensaio corresponde a menos de um terço das falhas, como foi apresentado na Figura 3.5.

Uma vez que se verificou que a família dos Sem-Fim apresenta uma taxa de falhas constante, calculou-se o valor dessa mesma taxa, bem como o seu inverso (MTBF). Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 3.7. Aplicando o diagrama de Pareto aos equipamentos desta família, verifica-se que as falhas dos equipamentos desde S1 a S9 correspondem a aproximadamente 70% do total das falhas. Deste Modo, é imperativo actuar primeiramente sobre estes, de modo a estabilizar as suas falhas.

Tabela 3.7 - Taxa de Falhas e MTBF dos Sem-Fim

Taxa de Falhas	0,10 Falhas/Dia
MTBF	10,13 Dias

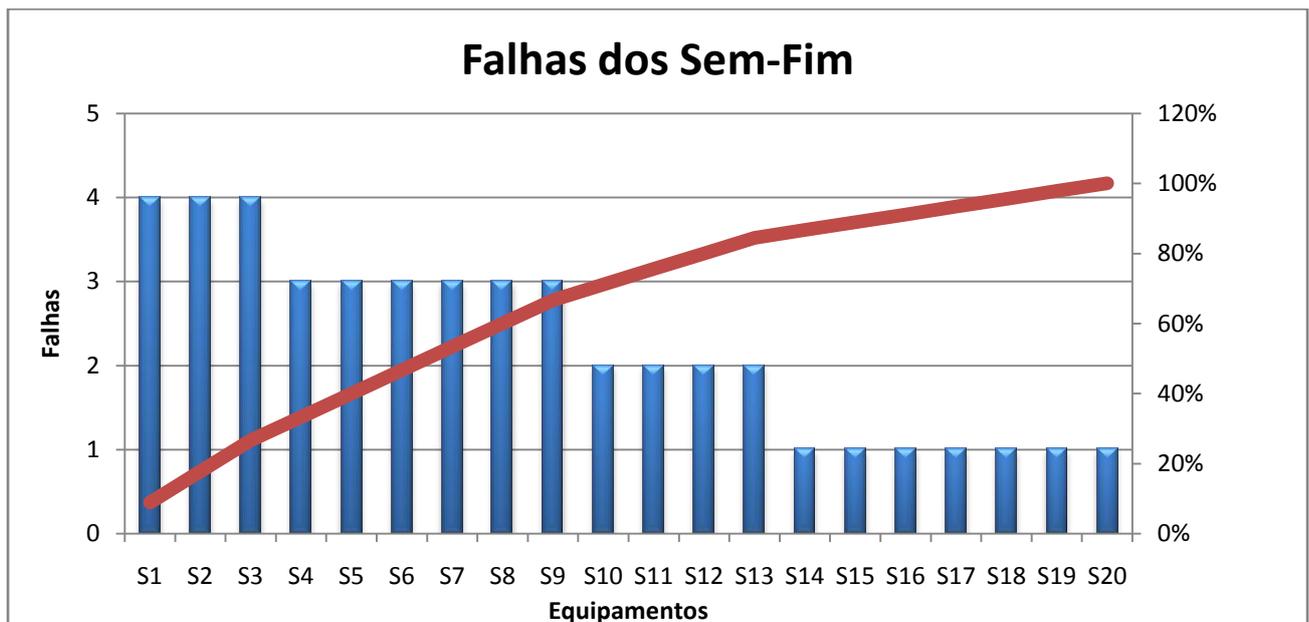


Figura 3.12 - Diagrama de Pareto aplicado aos Sem-Fim

3.2.5 Análise Comparativa dos Três Tipos de Sistema de Transporte

Na Tabela 3.8 são apresentados os valores das estatísticas de teste calculadas no passo anterior. Para o cálculo do valor crítico $z_{\alpha/2}$ foi considerado um nível de significância de 10%.

Comparando as três famílias, verifica-se que as famílias dos Elevadores e dos Sem-Fins apresentam taxas de falhas constantes, enquanto a família dos Redlers apresenta uma taxa de falhas crescente. É de notar que, embora a família dos elevadores apresente uma taxa de falhas constante, o valor de z_0 está muito próximo do limite inferior do valor crítico, sendo que a taxa de falhas destes equipamentos tende a tornar-se decrescente.

Tabela 3.8 - Taxas de Falhas dos Sistemas de Transporte de Granéis Sólidos

	REDLERS	ELEVADORES	SEM-FIM
	$Z_{0,05}=1,65$		
Z_0	1,937	-1,432	-0,344
Taxa de Falhas	Crescente	Constante	Constante

Como se pode verificar pela comparação da Tabela 3.1 com a Tabela 3.8, o facto de a análise global do sistema de equipamentos de transporte indicar que este apresenta uma taxa de falhas constante, isso não implica obrigatoriamente que os subsistemas que o compõem, neste caso as três famílias de equipamentos, apresentem também todas taxas de falhas constantes.

3.3 Estabilização do comportamento das Falhas dos Redlers

Uma vez que, no caso prático em estudo, a taxa de falhas da família dos *Redlers* apresenta uma tendência crescente, recorre-se ao modelo de *Crow* para fazer a estimação não paramétrica da Taxa de Falhas Crescente (ROCOF), como se apresenta de seguida, na Figura 3.13.

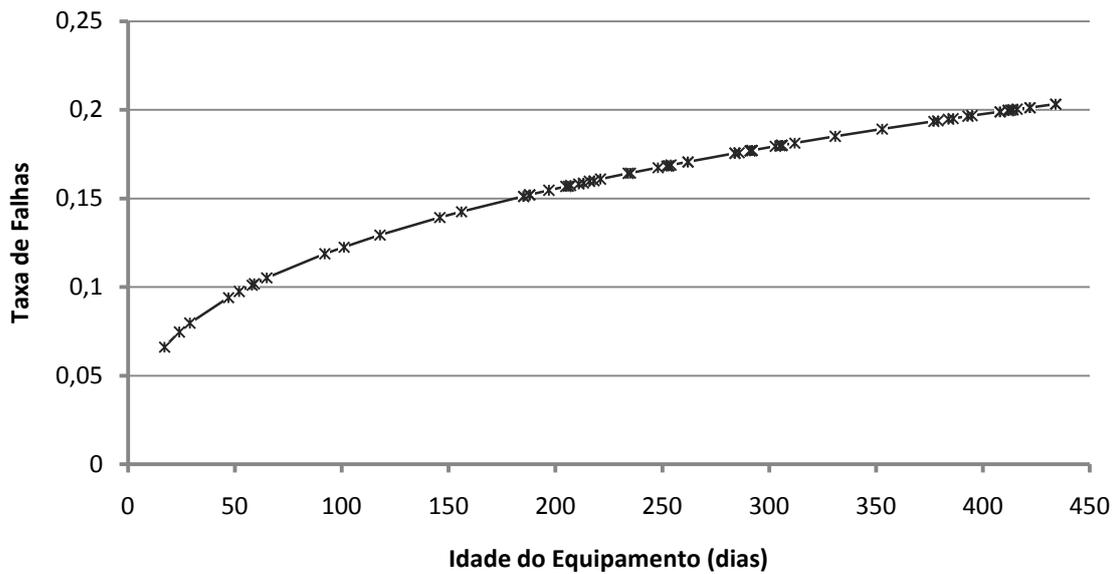


Figura 3.13- Taxa de falhas Crescente dos Redlers

Como foi referido anteriormente é necessário, antes de mais, estudar as principais causas da ocorrência das falhas recorrentes dos Redlers de forma a eliminá-las e, desta forma, estabilizar a taxa de falhas. As falhas recorrentes dizem respeito a falhas cuja ocorrência é devida a reparações imperfeitas, muitas vezes causadas pelas enormes pressões para voltar a estabelecer o funcionamento dos sistemas. Estas pressões não permitem efectuar uma manutenção correcta, sendo efectuada a reparação mínima necessária para restabelecer o funcionamento do sistema, o que levará à ocorrência, precoce, de uma nova falha.

De modo a melhor compreender o que são as falhas recorrentes, na Tabela 3.13 (adaptada de Baptista, L.L., Dias, J.M e Couto, L. 2011) é representado esquematicamente um conjunto de falhas onde, 1, 2 e 3 representam as falhas principais do sistema, Y_1, Y_2 e Y_3 representam as falhas recorrentes, t_{11}, \dots, t_{14} representam os tempos entre falhas recorrentes e Z_1 e Z_2 representam os tempos entre falhas principais.

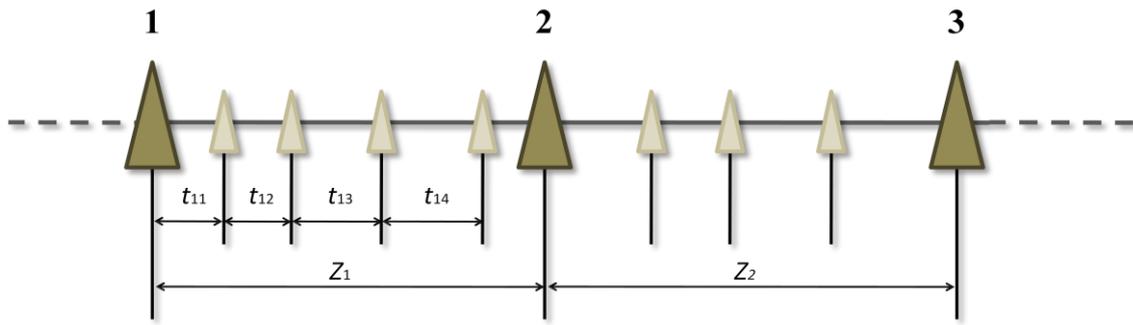


Figura 3.14- Representação típica de um Processo de Poisson Ramificado

Analisaram-se então os dados das falhas dos redlers e identificaram-se as falhas correspondentes a reparações imperfeitas, responsáveis pela ocorrência das falhas recorrentes. Para tal, assumiu-se que todas as falhas, cujos tempos desde a última falha, fossem inferiores a 8 dias correspondem a falhas recorrentes. Fez-se então uma compilação destas falhas, de forma a separá-las pelos sub-sistemas responsáveis pela sua ocorrência. O passo seguinte consistiu em efectuar uma análise técnica das mesmas e, com base nesta e na aplicação da filosofia *Lean Maintenance*, propôs-se a aplicação de um plano para a eliminação das falhas recorrentes (Tabela 3.9), com o objectivo de, simultaneamente, reduzir a necessidade de recursos.

3.3.1 Plano de Acções Correctivas para Eliminação das Falhas Recorrentes

Tabela 3.9 - Plano de acções correctivas para a família dos Redlers.

Avaria(s) Recorrente(s)	Causas Possíveis	Medidas propostas
Defeito rotação	Sensor “degolado” Cabo do sensor partido Sensor mal posicionado Mau contacto	Reinstalação dos sensores indutivos instalados na estação tensora, na estação motriz; Verificar e corrigir a fixação (posição, distância de montagem, protecção mecânica, vibrações) dos sensores indutivos; Reajuste periódico do aperto do quadro comando: fonte de alimentação, retorno do sinal ao autómato
Falha no Motor Eléctrico	Sobreaquecimento do motor Alhetas de refrigeração tapadas com farinha Mau contacto na caixa de bornes	Inspeccionar as condições envolventes do funcionamento do motor (Limpar ventoinha e alhetas de refrigeração); Reajuste periódico do aperto do quadro comando e caixa de bornes: vibração Controlo da intensidade de corrente a plena carga
Rolamentos / veios danificados	Falta de Lubrificação	Cumprimento do plano regular de lubrificação Cumprimento das inspecções periódicas: ruído e temperatura (termografia)
Corrente de transmissão partida	Falta de lubrificação Corrente de transmissão com folga excessiva	Cumprimento do plano regular de lubrificação Cumprimento das inspecções periódicas: ruído e temperatura (termografia) Verificar e reajustar a tensão da corrente
Corrente de transporte danificada	Corrente de transporte com folga excessiva Presença de objecto estranho no corpo	Aplicação de um plano para reajuste da tensão da corrente de transporte. Criar um plano de verificação visual da guia de desgaste da corrente de transporte
Fugas no corpo do Redler	Desgaste excessivo dos painéis do fundo Presença de corpo estranho no corpo do Redler	Verificar o desgaste dos painéis e substituir, caso seja necessário Substituir a guia de desgaste da corrente de transporte, caso necessário
Desgaste da roda mandante	Corrente de transporte com folga Corrente de transporte com desgaste excessivo	Controlar o ruído de funcionamento Criar um plano para inspecção visual
Raseira presa	Raseira suja com farinha	Ensaio de abertura/fecho das raseiras em vazio

Capítulo 3

Análise Prática dos Sistemas Reparáveis

Com a aplicação do plano de acções correctivas proposto na Tabela 3.9 para a eliminação das falhas recorrentes prevê-se então, no espaço de três meses, prevenir a ocorrência de falhas recorrentes nos Redlers e, assim, estabilizar a taxa de falhas desta família de equipamentos.

Após ser estabilizada a taxa de falhas desta família de equipamentos de transporte é então elaborado um plano de manutenção preventiva para os mesmos, segundo uma filosofia *Lean*, de modo a implementar acções correctivas que permitam aumentar a fiabilidade dos equipamentos e reduzir os custos de manutenção.

Na Figura 3.15 é apresentada a representação gráfica prevista da evolução do CMTBF ao longo do tempo. Partindo da situação actual (taxa de falhas de 0,2 falhas/dia), passando pelo período estimado de meses para a estabilização da taxa de falhas (eliminação das falhas recorrentes), pretende-se atingir, ao fim de 9 meses uma redução em 80% das falhas destes equipamentos (diminuição da taxa de falhas para 0,04 falhas/dia), o equivalente ao aumento do CMTBF de 5 para 25 dias. No entanto, tal como se pretendeu representar na Figura 3.15, essa evolução poderá ser mais morosa.

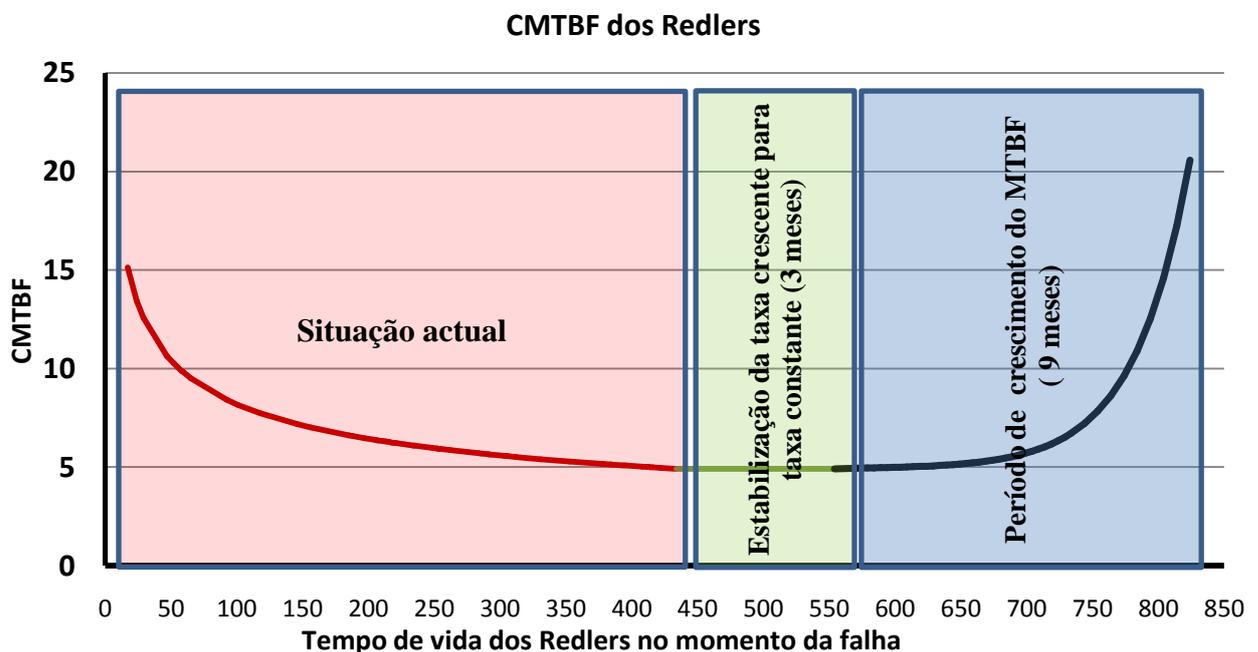


Figura 3.15- Evolução esperada do CMTBF.

3.4 Planeamento da Manutenção Preventiva

3.4.1 Planeamento da Manutenção Preventiva dos Redlers

Como se verificou anteriormente, inicialmente o comportamento das falhas dos Redlers seguia um Processo de Poisson Não Homogéneo, cuja taxa de falhas apresentava uma tendência crescente. Com base nos conceitos e princípios da gestão *Lean* da Manutenção, procurou-se estabilizar a taxa de falhas destes sistemas-transportador, através da elaboração de um plano de acções correctivas para a eliminação das falhas recorrentes, principais responsáveis pela taxa de falhas crescente e desperdícios a elas associados.

Após terem sido eliminadas as falhas recorrentes previu-se a estabilização da taxa de falhas para um valor aproximado a 0,04 falhas/dia, o equivalente a uma fiabilidade de 80%.

Para a definição de um plano de manutenção preventiva é necessário estabelecer as actividades de manutenção preventiva, bem como estimar o período óptimo entre acções de manutenção preventiva.

A definição das tarefas de manutenção preventiva resulta da análise dos efeitos de cada modo de falha, estudados detalhadamente na Análise Modal de Falhas e Efeitos (FMEA). (Baptista, L. M. L., 2007).

O plano de manutenção preventiva proposto para os Redlers pode ser consultado no Anexo IV. Para a estimação do período óptimo entre acções de manutenção preventiva recorreu-se ao software Statistica7, que permitiu modelar a distribuição de Weibull de forma a atingir uma fiabilidade de 80%, para um intervalo de confiança estabelecido de 95%. A estimação dos parâmetros da distribuição de Weibull obtida é apresentada na tabela seguinte.

Tabela 3.10- Estimação dos parâmetros da distribuição de Weibull - Redlers

	LIC	LSC
Parâmetros	- 95%	+ 95%
Forma	1,18	2,00
Escala	18,99	33,08

Analisando a Figura 3.16, verifica-se a existência de quatro valores que não se enquadram na estatística gerada. No entanto, os restantes valores encontram-se dentro dos limites estabelecidos, revelando um bom ajustamento dos dados à distribuição de Weibull.

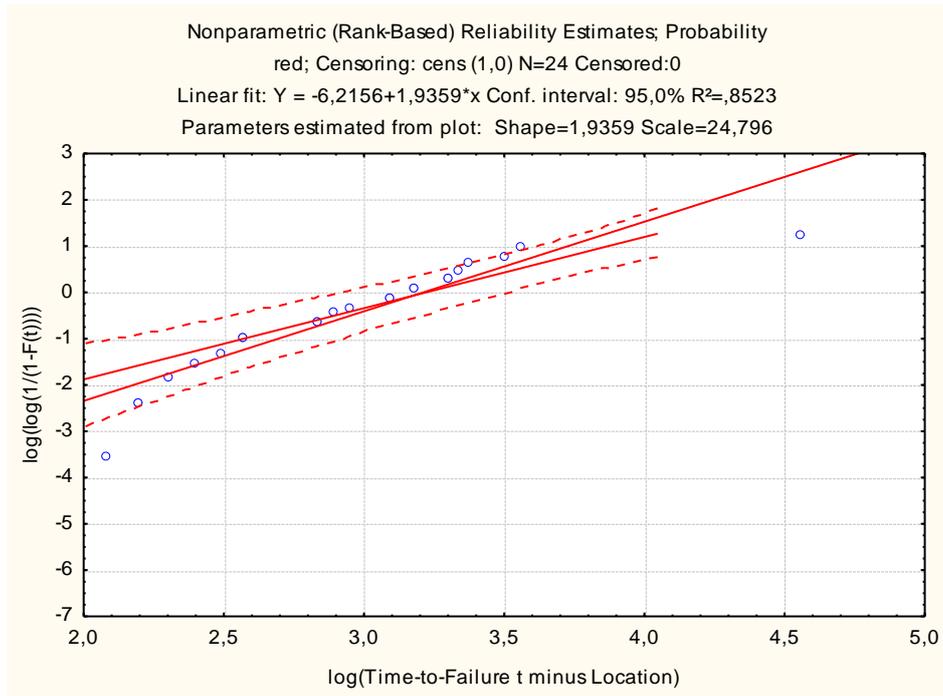


Figura 3.16- Ajustamento da função Weibull

Com recurso ainda ao software STATISTICA7, foram geradas as distribuições de Weibull para os limites Superior e Inferior do Intervalo de Confiança estabelecido, como se pode verificar de seguida.

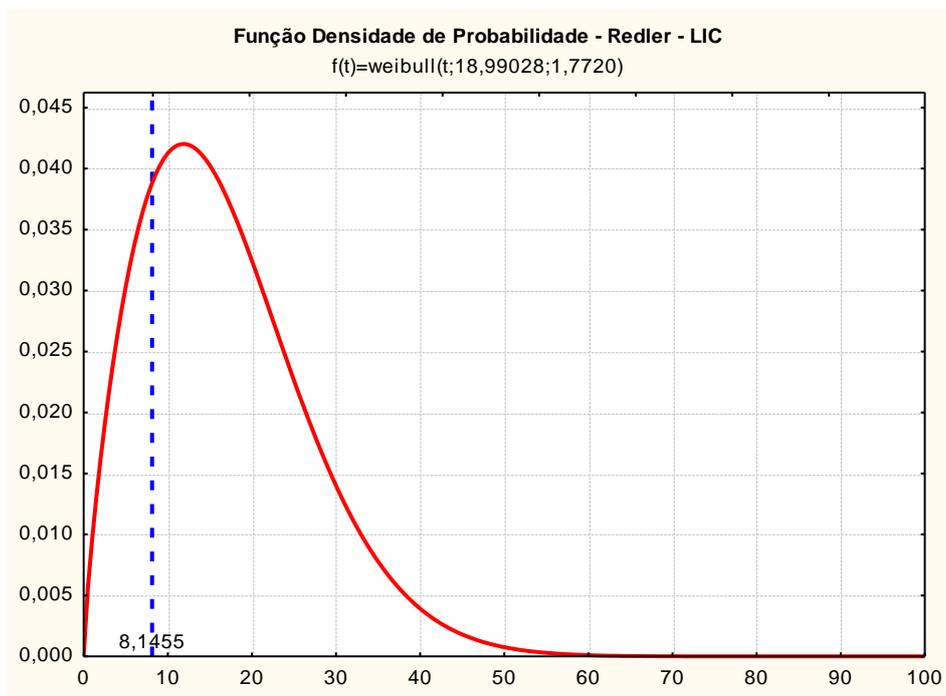


Figura 3.17- Função Densidade de Probabilidade para os Redlers – LIC

Como se pode verificar na Figura 3.17, tendo por base o Limite Inferior de Confiança (-95%), de forma a atingir uma fiabilidade de 80% é necessário efectuar acções de manutenção preventiva de, aproximadamente, 8 em 8 dias. Efectuando a análise análoga para o Limite Superior de Confiança, obtêm-se a Função Densidade de Probabilidade seguinte.

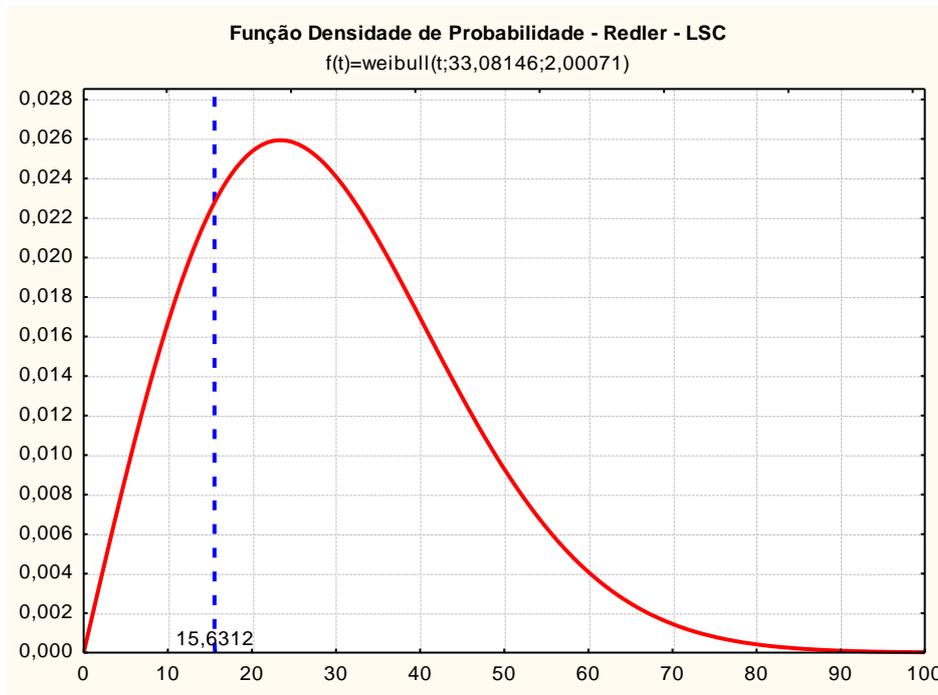


Figura 3.18- Função Densidade de Probabilidade para os Redlers - LSC

Analisando a Função Densidade de Probabilidade para o Limite Superior de Confiança (+95%), de forma a garantir uma fiabilidade de 80% nestes equipamentos, verifica-se a necessidade de actuar preventivamente nos equipamentos de, aproximadamente, 15 em 15 dias.

A Tabela 3.11 mostra os valores obtidos pela distribuição de Weibull para os períodos entre manutenções preventivas.

Tabela 3.11- Tempos entre acções de Manutenção Preventiva (Redlers).

	LIC (- 95%)	LSC (+ 95%)
REDLERS (Fiabilidade de 80%)	8 Dias	15 Dias

Desta forma, e de modo a garantir uma fiabilidade de 80% para os sistemas-transportador do tipo Redler, é necessário executar o plano de manutenção preventiva com intervalos de tempo entre manutenções entre 8 a 15 dias.

Com base nos valores obtidos, propõe-se a execução do plano de manutenção preventiva nos Redlers de 12 em 12 dias, sendo este um valor dentro dos limites calculados, cuja periodicidade permite garantir a fiabilidade pretendida sem exigir a execução das actividades de manutenção preventiva segundo uma periodicidade baixa.

3.4.2 Planeamento da Manutenção Preventiva dos Elevadores

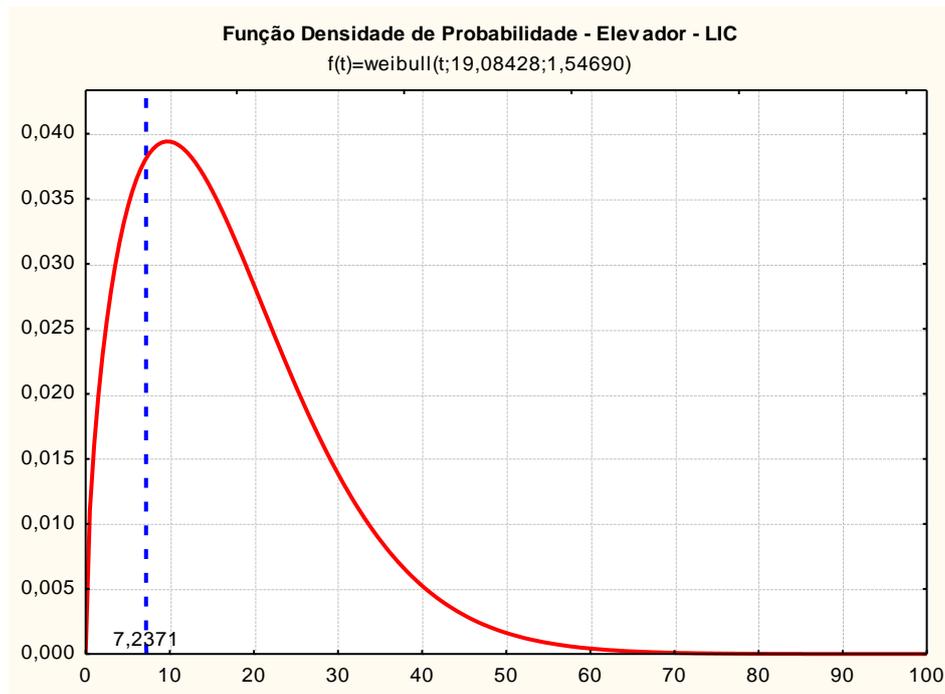


Figura 3.19- Função Densidade de Probabilidade para os Elevadores – LIC

O período entre acções de manutenção preventiva para os Elevadores é de 7 dias, como se pode verificar pela Função Densidade de Probabilidade para os Elevadores, tendo por base a utilização do Limite Inferior de Confiança (- 95%).

Calculando o valor do tempo entre acções de manutenção preventiva para os Elevadores, com base no Limite Superior de Confiança (+ 95%), obtém-se um período de 15 dias entre acções de manutenção preventiva. Apresenta-se, de seguida, a Função Densidade de Probabilidade para os Elevadores, com base no Limite Superior de Confiança (+ 95%).

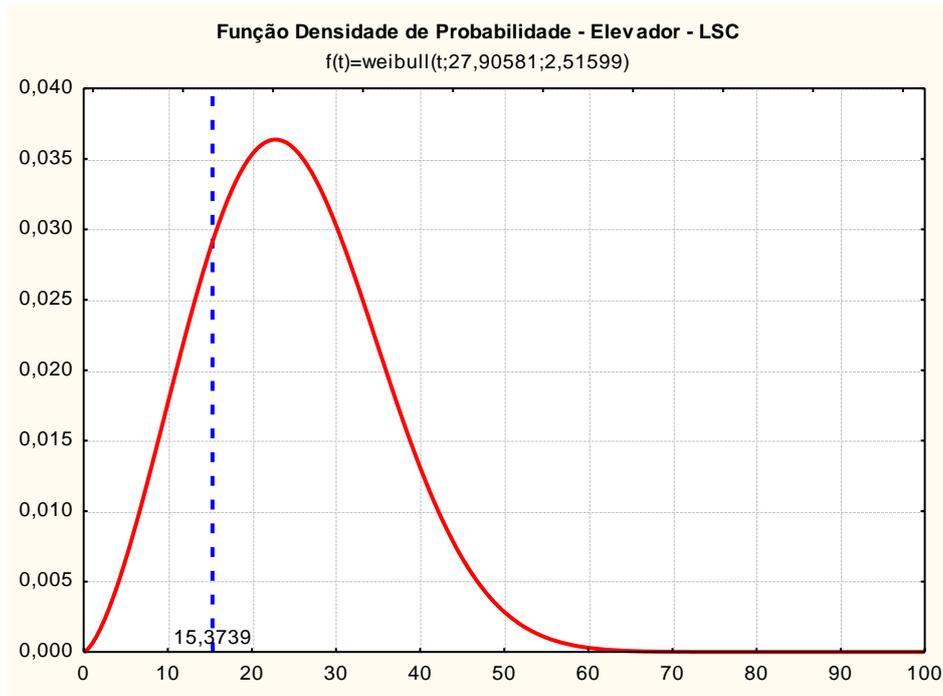


Figura 3.20- Função Densidade de Probabilidade para os Elevadores – LSC

Em suma, de modo a obter uma fiabilidade de 80% para os sistemas-transportador do tipo Redler, com base num intervalo de confiança de 95%, é necessário executar o plano de manutenção preventiva com intervalos de tempo entre manutenções entre 7 a 15 dias, como se pode verificar na Tabela 3.12.

Tabela 3.12- Tempos entre acções de Manutenção Preventiva (Elevadores)

	LIC (- 95%)	LSC (+ 95%)
ELEVADORES (Fiabilidade de 80%)	7 Dias	15 Dias

À semelhança da análise efectuada anteriormente, propor-se-á a realização de acções de manutenção preventiva de acordo com uma periodicidade definida dentro dos valores limite do nível de confiança escolhido. Desta forma, propõe-se a realização das actividades de manutenção preventiva de 12 em 12 dias, à semelhança com o definido para os Redlers.

3.4.3 Planeamento da Manutenção Preventiva dos Sem-Fim

Aplicando ao Sem-Fim a metodologia utilizada para os Redlers e para os Elevadores, obtém-se os seguintes resultados.

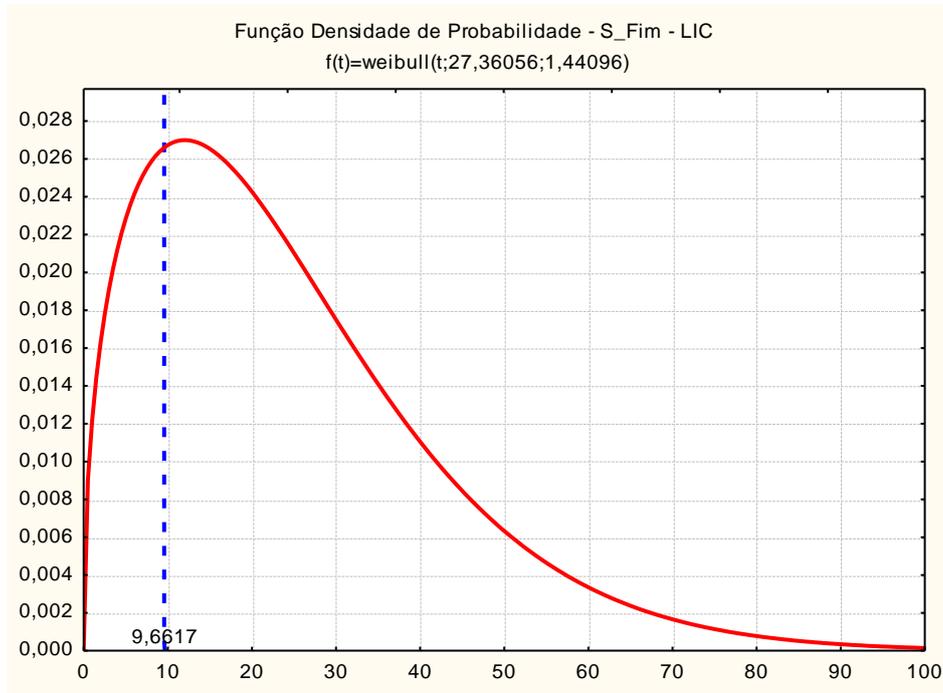


Figura 3.21- Função Densidade de Probabilidade para os Sem-Fim – LIC

Analisando a Função Densidade de Probabilidade referente ao Limite Inferior do Intervalo de Confiança (- 95%) dos Sem-Fim, verifica-se que, para garantir uma fiabilidade de 80% destes equipamentos deve-se actuar, preventivamente, segundo um plano definido, de 9 em 9 dias.

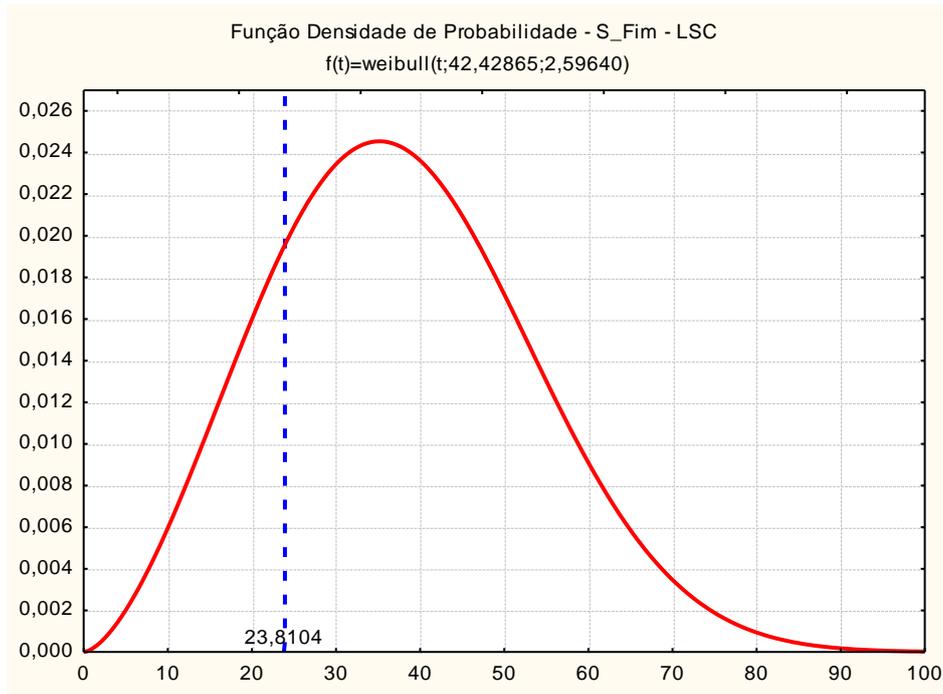


Figura 3.22- Função Densidade de Probabilidade para os Sem-Fim – LSC

Se em vez de ser considerado o Limite Inferior de Confiança, se considerar o Limite Superior de Confiança, obtém-se um período entre acções de manutenção preventiva de 23 dias, de modo a garantir uma fiabilidade de 80%.

Tabela 3.13- Tempos entre acções de Manutenção Preventiva (Sem-Fim)

	LIC (- 95%)	LSC (+ 95%)
Sem-Fim (Fiabilidade de 80%)	9 Dias	23 Dias

A Tabela 3.13, à semelhança do que foi feito anteriormente para as outras duas famílias de equipamentos de transporte de sólidos, resume os valores obtidos para os limites, inferior e superior de confiança.

À semelhança do sucedido para as outras duas famílias de transportadores, com base nos resultados obtidos, seleccionou-se também um valor dentro dos limites de confiança para a execução do plano de manutenção preventiva para os Sem-Fim. O intervalo obtido para a definição do período entre acções preventivas é, neste caso, maior (entre 9 e 23 dias). Desta forma, seleccionou-se o valor 16 para representar o número de dias entre actividades de manutenção preventiva.

3.5 Discussão de Resultados

Através da análise estatística das três famílias de equipamentos de transporte de granéis sólidos foi possível verificar que estes apresentam comportamentos diferentes.

Numa primeira análise, verificou-se que o conjunto das três famílias de equipamentos de transporte segue um Processo de Poisson Homogéneo, cuja taxa de falhas é de 0,41 falhas por dia, o equivalente a 2,41 dias entre falhas.

De seguida, analisaram-se as três famílias de equipamentos, individualmente.

O primeiro passo foi a análise quantitativa das falhas e dos tempos de falha. Com esta análise foi possível verificar que os elevadores e os redlers são as famílias de equipamentos de transporte com maior número de falhas (74 e 70, respectivamente), enquanto a família dos Sem-Fim apresenta apenas 45 falhas, durante o período de estudo considerado.

Quanto ao tempo total das paragens, devido à ocorrência de falhas, verificou-se que os elevadores são a família de equipamentos mais crítica, uma vez que apresentam tempos de paragem devido a falha de 904,5 horas, face a 178,5 horas devido a falhas dos redlers e 291,5 horas devido a falhas dos sem-fim.

Através da análise ao comportamento das falhas de cada uma das famílias, com o recurso ao teste de Laplace, foi possível verificar que, tanto a família dos elevadores como a família dos sem-fim, seguem Processos de Poisson Homogéneo, com taxa de falhas constante. Relativamente à família dos redlers, pôde-se verificar que o comportamento das falhas destes equipamentos segue um Processo de Poisson Não Homogéneo, cuja taxa de falhas é crescente.

Uma vez que a família dos redlers apresentou uma taxa de falhas constante, propôs-se, antes de mais, o desenvolvimento de um plano de acções correctivas, a fim de eliminar as falhas recorrentes, normalmente devidas a reparações imperfeitas.

Depois de estabilizada a taxa de falhas dos redlers, propôs-se a realização de acções preventivas a estes equipamentos, de acordo com uma periodicidade calculada com o recurso à distribuição de Weibull. Foram propostos também planos de manutenção preventiva para as restantes duas famílias de equipamentos de transporte, apresentados nos anexos V e VI.

CAPÍTULO 4 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES

4.1 Conclusões

A realização da presente dissertação de mestrado permitiu compreender a importância da manutenção em unidades industriais, profundamente dependentes dos equipamentos industriais. Normalmente, a optimização dos processos produtivos visa apenas as actividades directamente relacionadas com esses mesmos processos, como a optimização do fluxo dos produtos ao longo das fases constituintes desses processos, a redução dos tempos para mudança de produto, ou a aplicação de ferramentas *Lean* como a aplicação dos 5S nos postos de trabalho. No entanto, se as empresas industriais investirem apenas na melhoria das actividades directamente relacionadas com os processos produtivos e descurarem a sua atenção da área da manutenção, as melhorias atingidas serão pouco duradouras e pouco visíveis, uma vez que este tipo de empresas depende, fundamentalmente, dos seus equipamentos. Deste modo, a manutenção adquire um papel cada vez mais importante no meio industrial, tendo deixado de ser considerada apenas como uma actividade de suporte à produção, estando cada vez mais ao nível desta.

A análise estatística efectuada aos três tipos de equipamentos de transporte de granéis sólidos existentes na unidade industrial onde foi efectuada o estudo permitiu verificar que estes apresentavam comportamentos diferentes. Considerando estes equipamentos como Sistemas Reparáveis, numa primeira abordagem foi analisado o conjunto das três famílias de equipamentos, de onde se verificou que, globalmente, estes seguem um processo de Poisson Homogéneo, com taxa de falhas constante. Posteriormente, foi efectuada a análise individual a cada um dos três tipos de transportador tendo em conta o número de falhas ocorridas em cada família de equipamentos, bem como o tempo total de reparação e o comportamento estatístico dos mesmos.

Relativamente ao número de falhas ocorridas em cada uma das três famílias de equipamentos de transporte, para o período de estudo definido, verificou-se que os Elevadores, a par com os Redlers, apresentaram 74 e 70 ocorrências, respectivamente, enquanto a família dos Sem-Fim apresentou apenas 45 ocorrências. Quanto ao total de horas de paragens devidas à ocorrência de falhas nos equipamentos, verificou-se que os elevadores são a família de equipamentos mais crítica, com 904,5 horas de paragem. Os redlers apresentaram apenas 178,5 horas de paragem devidas à ocorrência de falhas destes equipamentos, enquanto que os sem-fim apresentaram 291,5 horas de paragem devidas à ocorrência de falhas.

Da análise individual efectuada às três famílias de equipamentos, verificou-se que, relativamente aos transportadores do tipo Redler, o seu comportamento segue um Processo de Poisson Não Homogéneo, cuja taxa de falhas é crescente, ou seja, o estado destes equipamentos está a piorar. Relativamente à família dos elevadores, bem como a dos sem-fim, estas apresentam taxa de falhas constante.

Posto isto, e tendo em mente a aplicação de uma filosofia *Lean* adaptada à manutenção, propôs-se a elaboração de um plano de acções correctivas a implementar nos equipamentos da família dos redlers, implementando, numa primeira fase, a filosofia 5S, através da elaboração de fichas de equipamento, para cada um dos equipamentos de transporte existentes na unidade industrial. A criação destas fichas de equipamento proporcionou à gestão da Manutenção, informações essenciais para uma tomada de decisão correcta, com base em dados previamente recolhidos. Esta medida, permitiu reduzir o tempo necessário para a avaliação da acção de manutenção a tomar.

Uma vez que a família dos redlers foi a única a não apresentar uma taxa de falhas constante, definiu-se um conjunto de acções correctivas adaptado às necessidades específicas dos redlers, como se pode verificar na Tabela 3.9.

Deste modo pretende-se estabilizar a sua taxa de falhas para, posteriormente, se proceder à elaboração de um plano de manutenção preventiva, a realizar de 12 em 12 dias, de acordo com os resultados obtidos com o recurso á distribuição de Weibull. Foram também elaborados planos de manutenção preventiva para os elevadores e para os sem-fim, a executar de 12 em 12 e de 16 em 16 dias, respectivamente.

Com a aplicação destes planos de manutenção preventiva prevê-se atingir uma fiabilidade de 80%, para cada uma das famílias de equipamentos.

4.2 Sugestões para trabalhos futuros

Sendo a filosofia de gestão *Lean* da manutenção uma filosofia que visa a melhoria contínua dos processos, através da utilização das ferramentas descritas anteriormente, propõe-se a continuação do presente estudo, se possível complementado com uma análise dos custos relacionados com as actividades de manutenção.

A metodologia utilizada neste estudo é também passível de ser aplicada a outros sistemas reparáveis, podendo assim ser expandida aos restantes equipamentos existentes na Unidade Industrial em causa, em trabalhos futuros.

BIBLIOGRAFIA

Ascher, H. e Feingold, H. (1984). *Repairable system reliability, modeling, inference, misconceptions and their causes* (Vol. 7). New York: Marcel Dekker.

Baptista, L. M. L. (2007). *RAMS aplicado a sistemas reparáveis*. (Dissertação de Mestrado). Disponível na base de dados RUN (Repositório da Universidade Nova).

Baptista, L.L., Dias, J.M e Couto, L. (2011). *Lean Maintenance - Aplicabilidade em PME's*. Tomar, 11º Congresso Nacional de Manutenção, 5 e 6 de Maio de 2011.

Bayo-Moriones, A., Bello-Pintado, A. e Cerio J. M. D (2010). *5S use in manufacturing plants: contextual factors and impact on operating performance*. Em *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 27 No. 2, 2010, pp. 217-230. Emerald Group Publishing Limited.

Borris, S. (2006). *Total Productive Maintenance - Proven strategies and techniques to keep equipment running at peak efficiency*. New York: McGraw-Hill.

Chalifoux, A. e Baird, J. (1999). *Reliability Centered Maintenance Guide: Operating a More Effective Maintenance Program*. Technical Report 99/41. U. S. Army Construction Engineering Research Laboratories. US Army Corps of Engineers.

Crow, L. H. (1975). *Reliability an analysis for complex, repairable systems: Technical Report no. 138*. Maryland: Army Materiel Systems Analysis Activity.

Dias, J. (2002). *Fiabilidade em Redes de Distribuição de Energia Eléctrica*. (Dissertação de Doutoramento). apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Dhillon, B. S. (2007a). *Applied Reliability and Quality: Fundamentals, methods and procedures*. London: Springer - Verlag.

Dhillon, B. S. (2002a). *Engineering and technology management tools and applications*. Norwood, Massachusetts: Artech House, Inc.

Dhillon, B. S. (2002b). *Engineering maintenance: A Modern Approach*. Boca Raton, Florida: CRC Press.

Dhillon, B. S. (2007b). *Human reliability and error in transportation systems* . London: Springer - Verlag.

Dhillon, B. S. (2008). *Mining Equipment Reliability, maintainability and safety*. London: Springer - Verlag.

Gross, J. M. (2002). *Fundamentals of Preventive Maintenance*. New York, USA: AMACOM.

Govil, A. K. (1983). *Reliability engineering*. University of Tata McGraw-Hill Pub. Co.

Bibliografia

- Gulati, R. e Smith, R. (2009). *Maintenance and Reliability Best Practices*. New York, USA: Industrial Press Inc.
- Justino, V. S. F. (2009). *Implementação de um Programa de Fiabilidade na frota de uma Companhia Aérea*. (Dissertação de Mestrado). Disponível na base de dados RUN (Repositório da Universidade Nova).
- Kahn M. (2003). *Gerenciamento de projectos ambientais: Riscos e conflitos*. Brasil, Rio de Janeiro: E-papers Serviços Editoriais.
- Keller, P. A. (2001). *Recent trends in six sigma*. Tucson: Quality America, Inc. Disponível em http://www.qualityamerica.com/knowledgecente/articles/Keller_SSTrends.PDF.
- Lean Enterprise Institute. (2008). *Lean Lexicon: a graphical glossary for Lean Thinkers*. (4ª ed.)
- Leitão, A. L. F. (1989). *Proportional hazards methods in industrial reliability and maintenance*. Birmingham: Ph. D. Thesis – University of Birmingham.
- Levitt, J. (2003). *Complete guide to preventive and predictive maintenance*. New York, USA: Industrial Press Inc.
- Levitt, J. (2005). *Managing factory maintenance*. (2ª ed.) New York, USA: Industrial Press Inc.
- Marques, S. G. (2009). *Manutenção Industrial e Custo do Ciclo de Vida – Extração Oleaginosas*. (Dissertação de Mestrado). Disponível na base de dados RUN (Repositório da Universidade Nova).
- Mc Kenna, T. e Oliverson, R. (1997). *Glossary of Reliability and Maintenance Terms*. Houston, Texas: Gulf Publishing Company.
- Mobley, R. K. (2004). *Maintenance Fundamentals*. (2ª Ed.). Oxford, UK: Elsevier Butterworth–Heinemann.
- O'Connor, P. D. T. (1994). *Practical Reliability Engineering*. (3ª Ed.). England: John Wiley & Sons, Ltd.
- Santos, et al. (2006). *Improving Production With Lean Thinking*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Sass, F. et al. (1974). *Dubbel: Manual de Construção de Máquinas*. (13ª Ed.). Hemus
- Schmidt, J. e Lyle, D. (2010). *Lean Integration: An integration factory approach to business agility*. Massachusetts, USA: Informatica Corporation.
- Smith, R. e Hawkins, B. (2004) - *Lean Maintenance. Reduce costs, Improve Quality and increase market share*. Oxford, UK: Elsevier Butterworth–Heinemann.
- Tecnor Medio Ambiente S.L.. *Transportador por Sem-Fim, Sem Eixo, Mod. CSA. C/ Oslo,8 1ºA - 28922 - Alcorcón - Madrid – España*.
- Wang, P e Coit, D. W. (2004). *Repairable Systems Reliability Trend Tests and Evaluation*. New Jersey: Rutgers. Disponível em http://ise.rutgers.edu/resource/research_paper/paper_04-018.pdf.

ANEXOS

Anexo I - Modelo de Ficha de Equipamento dos Redlers

FICHA TÉCNICA	Actualizado em: ___/___/___
Redler	ITEM:

CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO	CARACTERÍSTICAS GERAIS	
Produtos a transportar:	Fabricante	
Temperatura de Funcionamento (°C):	Capacidade (m ³ /h)	
Secção:	Secção Caixa (mm)	x
Observações:	Velocidade Linear (m/s)	
	Dist. Entre Veios (m)	
	Velocidade Veio Motriz (RPM)	
	N.º de Bocas Carga/Descarga	
	Inclinação (°)	

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS					
Moto-Redutor	Marca:	Tipo:	N.º Fabrico:		
	Pot.Inst:	Int.Nom:	Vel.Ent./Saída:	Forma:	Prot:
	Pot.Abs.Pl.Carga:	Int.Máx:	Bin:	Fact.Serv:	Arranque:
Motor Eléctrico	Marca:	Tipo:	N.º Fabrico:		
	Pot.Inst:	Int.Nom:	Vel:	Forma:	Prot:
	Pot.Abs.Pl.Carga:	Int.Máx:	Arranque:	Tensão:	Cos φ:
Caixa Redutora	Marca:	Tipo:	N.º Fabrico:		
	Potência:	Vel.Ent./Saída:	i:		
	Forma:	Binário:	Fact.Serv:		
Corrente Transm.	Comprimento:	Passo:			
Carreto1	Z1:	∅ Ext.:	∅ Furo:		
Carreto2	Z2:	∅ Ext.:	∅ Furo:		
Acoplamento	Elástico -Marca:	Tipo:	∅ Furos:	D1=	D2=
	Rígido - Marca:	Tipo:	∅ Furos:	D1=	D2=
Est. Motriz	Rolamentos:	Chumaceiras:	Buchas:		
Roda Motriz	Z:	∅ Exterior:	∅ Prim:	∅ Veio:	
Veio	∅:	Material:	Comp:		
Est. Tensora	Rolamentos:	Chumaceiras:	Buchas:		
Roda Tensora	∅ Exterior:	∅ Veio:			
Veio	∅:	Material:	Comp:		
Corrente Arrasto	Marca:	Tipo:	Passo:	Comp.:	Material:
	Pás:	Altura:	Esp.:		
Guia Corrente	Material:	Comp:	Largura:	Esp:	
Painéis Laterais	Material:	Comp:	Altura:	Esp:	
Painéis Fundo	Material:	Comp:	Largura:	Esp:	
Tampas Topo	Material:	Comp:	Largura:	Esp:	

Anexo II - Modelo da Ficha de Equipamento dos Elevadores

FICHA TÉCNICA	Actualizado em: ___ / ___ / ____ Rúbrica: _____
ELEVADOR DE ALCATRUZES	ITEM:

CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO	CARACTERÍSTICAS GERAIS	
Produtos a transportar:	Fabricante	
Temperatura de Funcionamento (°C):	Capacidade (m ³ /h)	
Secção:	Secção Canos (mm)	x
Observações:	Velocidade Linear (m/s)	
	Altura total (m)	
	Velocidade Veio Motriz (RPM)	
	Distância entre canos (m)	

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS					
Moto-Redutor	Marca:	Tipo:	N.º Fabrico:		
	Pot.Inst:	Int.Nom:	Vel.Ent./Saída:	Forma:	Prot:
	Pot.Abs.Pl.Carga:	Int.Máx:	Bin:	Fact.Serv:	Arranque:
Motor Eléctrico	Marca:	Tipo:	N.º Fabrico:		
	Pot.Inst:	Int.Nom:	Vel:	Forma:	Prot:
	Pot.Abs.Pl.Carga:	Int.Máx:	Arranque:	Tensão:	Cos φ:
Cx Redutora	Marca:	Tipo:	N.º Fabrico:		
	Potência:	Vel.Ent./Saída:	i:		
	Forma:	Binário:	Fact.Serv:		
Corrente Transm.	Comprimento:	Passo:	Tipo:		
Carreto1	Z1:	ØExt.:	Ø Furo:		
Carreto2	Z2:	ØExt.:	Ø Furo:		
Acoplamento	Elástico -Marca:	Tipo:	Ø Furos:	D1=	D2=
	Rígido - Marca:	Tipo:	Ø Furos:	D1=	D2=
Est. Motriz	Rolamentos:	Chumaceiras:	Buchas:		
Tambor Mandante	Ø ext:	Comp.:	Revestimento:		
Veio	Ø:	Material:	Comp.:		
Est. Tensora	Rolamentos:	Chumaceiras:	Buchas:		
Tambor Mandado	Ø ext:	Comp.:	Revestimento:		
Veio	Ø:	Material:	Comp.:		
Corrente/Correia	Largura:	Comprimento:	Esp.:	Tipo:	
Alcatruzes	Tipo:	Qtd.:	NºAlc/m		
	Comprimento:	Largura:	Altura:		
Pé	Largura:	Prof.:	Altura:	Material:	
Cabeça	Largura:	Prof.:	Altura:	Material:	
Canos	Largura:	Prof.:	Altura:	Material:	

Anexo III - Modelo da Ficha de Equipamento dos Sem-Fim

FICHA TÉCNICA	Actualizado em: ___/___/____
	Rúbrica: _____
TRANSPORTADOR SEM-FIM	ITEM:

CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO	CARACTERÍSTICAS GERAIS
Produtos a transportar:	Fabricante
Temperatura de Funcionamento (°C):	Capacidade (m ³ /h)
Secção:	Comprimento (m)
Observações:	Dimensões Caixa (mm)
	Inclinação de Montagem (°)
	N.º de Bocas Carga/Descarga
	Velocidade rotação (RPM)

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS					
Moto-Redutor	Marca:	Tipo:	N.º Fabrico:		
	Pot.Inst:	Int.Nom:	Vel.Ent./Saída:	Forma:	Prot:
	Pot.Abs.Pl.Carga:	Int.Máx:	Bin:	Fact.Serv:	Arranque:
Motor Eléctrico	Marca:	Tipo:	N.º Fabrico:		
	Pot.Inst:	Int.Nom:	Vel:	Forma:	Prot:
	Pot.Abs.Pl.Carga:	Int.Máx:	Arranque:	Tensão:	Cos φ:
Caixa Redutora	Marca:	Tipo:	N.º Fabrico:		
	Potência:	Vel.Ent./Saída:	i:		
	Forma:	Binário:	Fact.Serv:		
Corr. Transm.	Comprimento:	Passo:	Tipo:		
Carreto1	Z1:	D1:	Ø Furo:		
Carreto2	Z2:	D2:	Ø Furo:		
Acoplamento	Elástico -Marca:	Tipo:	Ø Furos:	D1=	D2=
	Rígido - Marca:	Tipo:	Ø Furos:	D1=	D2=
Helicóide	Ø ext:	Passo:	Passo Progressivo:		
	Comprimento:	Comp P. Prog:	Material:		
	Ø veio:	Ø casq.:	Espess. Veio:	Material:	
	Rolamentos:	Chumaceiras:	Buchas:		
	Chumaceiras intermédias:				
Corpo	Altura:	Largura:	Comp:	Esp:	
	Diâmetro:	Material:			

Anexo IV - Plano de Manutenção Preventiva dos Redlers

FICHA DE MANUTENÇÃO			
TRANSPORTADOR DE CORRENTE		Elaborado em: _/_/___	
Manutenção a efectuar com o equipamento em: F- funcionamento I- imobilizado			
GAMA MANUTENÇÃO PREVENTIVA			
Accionamento	Motor Eléctrico	F	I
	1- Inspeção da condição dos rolamentos (ruído, temperatura)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	2- Inspeção do estado / limpeza da ventoinha	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	3- Inspeção da condição do estator / rotor do motor (temperatura)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4- Inspeção da fixação do motor	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	5- Medição do consumo eléctrico	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Caixa Redutora		
	1- Inspeção da condição rolamentos (ruído, temperatura)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	2- Inspeção de fugas de lubrificante / vedantes	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	3- Cumprimento do plano de lubrificação	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Conjunto de Transmissão		
	1- Cumprimento do plano de lubrificação	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	2- Inspeção do estado/esticamento da corrente	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	3- Inspeção do desgaste dos carretos	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	4- Inspeção do alinhamento da corrente	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	5- Inspeção do estado do fusível mecânico	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Acoplamento		
	1- Inspeção do estado do elemento elástico/rígido	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sistema Eléctrico	Quadro de Potencia		
	1- Inspeção da condição dos relés, contactores e terminais (termografia)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Quadro Comando		
	1- Inspeção da condição dos terminais (termografia)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	2- Inspeção do estado das botoneiras	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Estação Motriz	Rolamentos		
	1- Cumprimento do plano de lubrificação	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	2- Inspeção da condição dos rolamentos (ruído, temperatura)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Roda Motriz		
	1- Inspeção do ruído de funcionamento da roda	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	2- Inspeção do estado do dentado da roda	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Estação Tensora	Rolamentos		
	1- Cumprimento do plano de lubrificação	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	2- Inspeção da condição dos rolamentos (ruído, temperatura)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Roda Tensora		
	1- Inspeção do estado da roda	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Esticadores		
	1- Inspeção do estado das molas / pernos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Estação Tensora (continuação)	Sensor Indutivo	1- Inspeção do funcionamento sensor	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
		2- Inspeção da protecção do sensor	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Corpo	Corrente Arrasto	1- Inspeção do ruído de funcionamento (esticamento)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
		2- Inspeção do estado das cavilhas / barras / freios / corrente	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
		3- Inspeção do estado da guia de assentamento	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Caldeiraria	1- Inspeção do estado dos painéis do fundo	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
		2- Inspeção do estado dos painéis laterais	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
		3- Inspeção do estado das tampas	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
		4- Inspeção do estado dos painéis fundo intermédio (se aplicável)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
		5- Inspeção do nivelamento do transportador	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Caídas	Raseiras	1- Inspeção do funcionamento (abertura / fecho)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			2- Inspeção do estado raseiras	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Cunhos	1- Inspeção do estado cunhos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Anexo V - Plano de Manutenção Preventiva dos Elevadores

FICHA DE MANUTENÇÃO			
ELEVADOR DE ALCATRUZES		Elaborado em _/_/____	
Manutenção a efectuar com o equipamento em: F- funcionamento I- imobilizado			
GAMA MANUTENÇÃO PREVENTIVA			
Accionamento	Motor Eléctrico	F	I
	1- Inspeção condição rolamentos (ruído, temperatura)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	2- Inspeção estado / limpeza da ventoinha	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	3- Inspeção condição estator / rotor do motor (temperatura)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4- Inspeção da fixação do motor	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	5- Medição consumo eléctrico	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Embraiagem		
	1- Cumprimento plano de lubrificação	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	2- Inspeção fugas de lubrificante / vedantes	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	3- Inspeção condição rolamentos (ruído, temperatura)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4- Inspeção funcionamento do fusível térmico	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Caixa Redutora		
	1- Inspeção condição rolamentos (ruído, temperatura)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	2- Inspeção fugas de lubrificante / vedantes	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	3- Cumprimento plano de lubrificação	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Acoplamento		
	1- Cumprimento plano de lubrificação	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	2- Inspeção estado/esticamento da corrente	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	3- Inspeção do desgaste dos carretos	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	4- Inspeção alinhamento da corrente	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5- Inspeção estado / montagem / material do fusível mecânico	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Sistema Eléctrico	Quadro Potencia		
	1- Inspeção condição reles, contactores, terminais (termografia)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Quadro Comando		
	1- Inspeção condição terminais (termografia)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	2- Inspeção estado botoneiras	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Estação Motriz	Rolamentos		
	1- Cumprimento plano de lubrificação	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	2- Inspeção condição rolamentos (ruído, temperatura)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Tambor Mandante		
	1- Inspeção ruído funcionamento do tambor	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	2- Inspeção estado tambor	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Estação Tensora	Rolamentos		
	1- Cumprimento plano de lubrificação	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	2- Inspeção condição rolamentos (ruído, temperatura)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Tambor Mandado		
	1- Inspeção estado do tambor	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Esticadores		

(continuação)	1- Inspeção do estado dos esticadores	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Sensor Indutivo		
	1- Inspeção funcionamento sensor	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	2- Inspeção protecção sensor	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Corpo	Cilha / Alcatruzes		
	1- Inspeção do alinhamento (ruído de funcionamento)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	2- Inspeção do estado dos alcatruzes	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	3- Inspeção do estado da cilha e empalme	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Caldeiraria		
	1- Inspeção estado dos canos	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	2- Inspeção estado dos painéis do pé	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	3- Inspeção estado dos painéis da cabeça	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	4- Inspeção do alinhamento dos canos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Cunhos		
	1- Inspeção estado cunhos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Anexo VI - Plano de Manutenção Preventiva dos Sem-Fim

FICHA DE MANUTENÇÃO		
TRANSPORTADOR SEM-FIM		Elaborado em: _/_/____
Manutenção a efectuar com o equipamento em: F- funcionamento I- imobilizado		
GAMA MANUTENÇÃO PREVENTIVA		
Accionamento	Moto-reductor	F I
	1- Inspeção condição rolamentos (ruído, temperatura)	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	2- Inspeção do estado/limpeza da ventoinha	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	3- Cumprimento plano de lubrificação	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
	4- Inspeção fugas de lubrificante/vedantes	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	5- Inspeção da fixação do moto-reductor	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	6- Medição consumo eléctrico	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	Conjunto de Transmissão	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
	1- Cumprimento plano de lubrificação	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
	2- Inspeção estado do esticamento da corrente	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	3- Inspeção do desgaste dos carretos	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
	4- Inspeção alinhamento da corrente	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	5- Inspeção estado da montagem do fusível mecânico	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
	Acoplamento	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
1- Inspeção estado do elemento elástico	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	
Sistema Eléctrico	Quadro de Potência	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	1- Inspeção da condição dos relés, contactores e terminais (termografia)	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	Quadro de Comando	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	1- Inspeção da condição dos terminais (termografia)	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	2- Inspeção do estado das botoneiras	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Corpo	Chumaceiras	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
	1- Cumprimento plano de lubrificação	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
	2- Inspeção da condição dos rolamentos do topo (ruído, temperatura)	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
	3- Inspeção condição chumaceiras intermédias	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
	Sensor Indutivo	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	1- Inspeção funcionamento sensor	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	2- Inspeção protecção sensor	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	Helicóide	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
	1- Inspeção folgas de parafusos de ligação veio	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
	2- Inspeção estado soldadura da ligação helicóide/veio	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
	Caldeiraria	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	1- Inspeção do estado do corpo (fugas de produto)	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	Razeiras	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	1- Inspeção do funcionamento da abertura/fecho	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2- Inspeção da limpeza das razeiras	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	