



UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

Kévin Laurent de Oliveira

ANÁLISE E PROPOSTAS DE MELHORIA NA ÁREA DA MANUTENÇÃO DA SRAMPORT

Dissertação no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, na especialidade de Produção e Projeto orientada pelo Professor Doutor Fernando Jorge Ventura Antunes e pelo Engenheiro Marco António Loureiro Almeida e apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Julho de 2022

1 2



9 0

FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

Análise e Propostas de Melhoria na Área da Manutenção da SRAMPORT

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Mecânica na Especialidade de Produção e Projeto

Analysis and Improvement Proposals in the Maintenance Area of SRAMPORT

Autor

Kévin Laurent de Oliveira

Orientadores

**Professor Doutor Fernando Jorge Ventura Antunes
Engenheiro Marco António Loureiro Almeida**

Júri

Presidente	Professor Doutor Amílcar Lopes Ramalho Professor Catedrático da Universidade de Coimbra
Orientador	Engenheiro Marco António Loureiro Almeida SRAMPORT – Transmissões Mecânicas, Lda.
Vogais	Professor Doutor Cristóvão Silva Professor Associado com Agregação da Universidade de Coimbra

Colaboração Institucional



SRAMPORT – Transmissões Mecânicas, Lda.

Coimbra, julho, 2022

“O prazer mais nobre é o júbilo de compreender.”

Leonardo da Vinci.

Agradecimentos

Esta dissertação de mestrado representa a última etapa do curso de Engenharia Mecânica, sendo que a sua realização só foi possível graças a um conjunto de pessoas às quais não posso deixar de prestar o meu agradecimento, tanto na elaboração deste trabalho, mas também pelo apoio incondicional ao longo do meu percurso académico.

Ao meu orientador, Engenheiro Marco Almeida, pelo conhecimento transmitido e por me ter integrado da melhor forma neste ambiente industrial. O meu profundo agradecimento pelo seu empenho, ficará um exemplo a seguir no meu futuro profissional.

Ao Professor Fernando Antunes por ter aceite esta proposta, mas sobretudo pela orientação, disponibilidade e bons conselhos desde o primeiro dia.

À SRAMPORT pela oportunidade de estágio e a todos os seus colaboradores pela simpatia e disponibilidade demonstrada, bem como a alguns colegas de curso que estavam presentes durante a realização deste estágio.

Aos meus pais, por acreditarem sempre em mim e por tudo aquilo que fizeram durante toda a minha vida, sem esquecer o resto da minha família que de perto ou de longe, demonstraram sempre o seu apoio e interesse no meu trabalho.

Aos meus amigos de curso que me acompanharam nesta etapa da minha vida, pelos momentos incríveis e pelo apoio fornecido. Levo-os comigo para a vida.

Aos meus amigos de infância, Diogo, Eduardo, Tiago e Sergii, por todos os bons momentos passados e por continuarem a estarem sempre presentes.

À Sarah por todo apoio, confiança e carinho.

E por fim, a ti Coimbra que me acolheste e por teres tornado este desafio mais encantador.

Resumo

A presença de um mercado cada vez mais exigente e competitivo obriga as empresas industriais a otimizarem os seus recursos para conseguir responder de forma eficaz a diferentes solicitações. O setor da manutenção é uma das áreas fundamentais para aproximar essa excelência industrial. Muitas vezes desprezado, o investimento nesta área é um fator chave para o sucesso, garantindo uma competitividade relativamente aos concorrentes.

A presente dissertação pretende descrever o trabalho realizado no ambiente industrial da SRAMPORT – Transmissões Mecânicas Lda. Esta empresa dedica-se à fabricação de componentes para bicicletas, sendo que o elevado aumento de interesse da população nesses produtos, observado nos últimos anos, desencadeou a atual expansão da empresa.

A manutenção intervém no sentido de cuidar e aumentar o tempo de vida útil associado aos equipamentos da fábrica. O principal tema abordado foi a *Total Productive Maintenance* (TPM) que é caracterizada por ser uma filosofia de trabalho ao serviço da melhoria da produção. Para isso, foram usadas várias ferramentas como o *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), os modelos de fiabilidade e indicadores de gestão associados às atividades da manutenção.

Após a aplicação destas ferramentas, foi então possível propor sugestões de melhoria para conseguir aumentar a disponibilidade de algumas prensas de estampagem e da fiabilidade de alguns componentes que desencadeavam um elevado pedido de intervenção.

Por fim, o tema da Indústria 4.0 foi abordado de forma teórica, uma vez que as novas tecnologias podem ajudar a manutenção na previsão de falhas, bem como na gestão das suas intervenções.

Palavras-chave: SRAM, Manutenção, Manutenção Produtiva Total, Eficiência Global dos Equipamentos, Fiabilidade, Indústria 4.0.

Abstract

The presence of an increasingly demanding and competitive market forces industrial companies to achieve the perfection of all their resources to be able respond effectively to the requests. The maintenance sector is the area that allows us to approach this industrial excellence. Often overlooked, this investment is the key factor for success, ensuring competitiveness compared to competitors.

This dissertation aims to describe the work carried out in the industrial environment of SRAMPORT – Transmissões Mecânicas Lda. This company is dedicated to the manufacturing of components for bicycles, which in the last years its current expansion was triggered due to the interest of people in these products.

The maintenance intervenes in order to take care of and increase the lifetime associated with the equipment of the factory. The main theme addressed was the Total Productive Maintenance (TPM) which is characterized by being a work philosophy for improving production. For this, several tools such a Overall Equipment Effectiveness (OEE), reliability models and key performance indicators associated with maintenance activities were used.

After applying these tools, it was then possible to propose suggestions for improvement to be able to increase the availability of some stamping presses and the reliability of some components that triggered a high request for intervention.

Finally, the theme of Industry 4.0 was approached in a theoretical way, since new technologies can help maintenance in the prediction of failures, as well as in the management of their interventions.

Keywords: SRAM, Maintenance, Total Productive Maintenance, Overall Equipment Effectiveness, Reliability, Industry 4.0.

Índice

Índice de Figuras.....	ix
Índice de Tabelas	xi
Simbologia e Siglas.....	xiii
Simbologia.....	xiii
Siglas	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivos e Estratégia Seguida.....	2
1.3. Estrutura da Dissertação.....	3
2. SRAMPORT – TRANSMISSÕES MECÂNICAS, LDA.....	5
2.1. História da Empresa.....	5
2.2. Instalações	6
2.3. Produtos.....	7
2.4. Fabrico das Correntes	8
3. ENQUADRAMENTO TEÓRICO.....	11
3.1. Tipos de Manutenção	12
3.1.1. Manutenção Corretiva.....	12
3.1.2. Manutenção Preventiva.....	13
3.2. <i>Total Productive Maintenance (TPM)</i>	15
3.2.1. As 6 Grandes Perdas	15
3.2.2. Os 8 Pilares da TPM	16
3.3. Metodologia 5 S.....	19
3.4. <i>Key Performance Indicators (KPI)</i>	20
3.4.1. <i>Overall Equipment Effectiveness (OEE)</i>	22
3.5. Indicadores de Manutenção.....	24
3.5.1. Disponibilidade.....	24
3.5.2. Manutibilidade.....	25
3.5.3. Fiabilidade.....	25
3.6. Indústria 4.0.....	31
4. DESENVOLVIMENTO.....	33
4.1. Manutenção na SRAMPORT	33
4.2. Manutenção Autónoma na SRAMPORT	35
4.3. Acompanhamento do Indicador OEE na SRAMPORT	36
4.4. Análise das Atividades da Manutenção da SRAMPORT	40
4.5. Fiabilidade na SRAMPORT.....	42
4.6. Indústria 4.0 na SRAMPORT.....	46
5. PROPOSTAS DE MELHORIA	49
5.1. Disponibilidade das Prensas da SRAMPORT.....	49
5.2. Propostas de KPI.....	51
5.3. Melhorias na Fiabilidade.....	53

5.4. Desenvolvimento da Indústria 4.0 na SRAMPORT	56
6. Conclusões	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
ANEXO A.....	63
APÊNDICE A.....	65
APÊNDICE B.....	67
APÊNDICE C.....	69
APÊNDICE D.....	75
APÊNDICE E.....	77
APÊNDICE F.....	83
APÊNDICE G.....	87
APÊNDICE H.....	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Algumas marcas e projetos adquiridos pela SRAM.	6
Figura 2.2. Exemplo de transmissões do grupo EAGLE [2].	7
Figura 2.3. Constituição de uma corrente de bicicleta.	8
Figura 2.4. Processo de fabrico das correntes (COM) [3].	9
Figura 3.1. Esquema dos vários tipos de manutenções.	14
Figura 3.2. Os 8 pilares da TPM.	18
Figura 3.3. Metodologia 5 S.	20
Figura 3.4. Cálculo do indicador OEE [16].	23
Figura 3.5. Evolução da taxa de avarias em função do tempo (adaptado) [17].	27
Figura 4.1. OEE semanais das várias prensas da SRAMPORT.	37
Figura 4.2. Prensa de estampagem KAISER 2.	37
Figura 4.3. Prensa de estampagem PM3.	37
Figura 4.4. Número de pedidos 1 e 2 por 100 000 metros produzidos (Janeiro a Maio de 2022).	41
Figura 4.5. Comparação das atividades da manutenção na SRAMPORT.	41
Figura 4.6. Gráfico dos vários modelos de fiabilidade (Minster PM2-125).	43
Figura 4.7. Gráfico dos vários modelos de fiabilidade (HAULICK 200).	43
Figura 4.8. Gráfico dos vários modelos de fiabilidade (KAISER 1).	44
Figura 4.9. Gráfico dos vários modelos de fiabilidade (KAISER 2).	44
Figura 4.10. Exemplos dos gráficos de medição da temperatura e da tonelagem na SRAMPORT.	47
Figura 5.1. Percentagens das várias paragens com a produção – KAISER 2.	49
Figura 5.2. Percentagens das várias paragens com a produção – PM3 (segundo dia).	50
Figura 5.3. Comparação das melhorias apresentadas para as prensas KAISER 2 e PM3. ...	51
Figura 5.4. Aplicação da proposta de um novo KPI associado aos pedidos de manutenção.	52
Figura 5.5. Fenómeno das placas que causam avaria no tapete de saída das peças.	53
Figura 5.6. Modelo 3D do tapete e seus componentes.	54
Figura 5.7. Esboço do perfil em U sugerido em mm (não está à escala).	54
Figura 5.8. Local do componente proposto para o tapete de peças, num só lado (vista frontal).	55

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1. Classificação dos pedidos de intervenção e sua descrição.....	34
Tabela 4.2. Indicador OEE e seus parâmetros para as prensas KAISER 2 e PM3.....	39
Tabela 4.3. Erros e tempos estimados para as avarias estudadas, considerando uma fiabilidade de 80%.....	45

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

$f(t)$ – Densidade de probabilidade

$F(t)$ – Probabilidade de avaria

n – Número total de avarias

$R(t)$ – Fiabilidade

t – Tempo

β – Parâmetro de forma

η – Parâmetro de escala

γ – Parâmetro de posição

μ – Média

σ – Desvio padrão

$\lambda(t)$ – Taxa de avarias

Siglas

CPS – *Cyber Physical Systems*

FA – Frequência acumulada de avarias

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

JIPM – *Japan Institute of Plant Maintenance*

IoT – *Internet of Things*

KPI – *Key Performance Indicators*

MTBF – *Mean Time Between Failures*

MTTR – *Mean Time to Repair*

NP – Norma Portuguesa

OEE – *Overall Equipment Effectiveness*

TPM – *Total Productive Maintenance*

TBF – *Time Between Failures*

TTR – *Time to Repair*

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

Esta dissertação de mestrado foi desenvolvida no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra e foi baseada no estágio curricular realizado na empresa SRAMPORT – Transmissões Mecânicas, Lda., a qual se dedica ao desenvolvimento e produção de correntes para bicicletas e à montagem de cubos, rodas e pedais.

O mercado mundial, ao ser cada vez mais exigente, desencadeou pedidos de produção tão elevados que está a obrigar a indústria a atingir um nível de excelência para conseguir responder a todos esses requisitos. A manutenção industrial, é imprescindível neste processo, sendo hoje um dos setores mais importantes no desenvolvimento para alcançar essa excelência industrial. A sua estratégia consiste em maximizar a vida útil dos equipamentos do processo de produção. Assim, os responsáveis da manutenção estão responsabilizados em manter a sua equipa preparada para atender da melhor forma o processo produtivo e consequentemente os clientes.

O aumento do interesse da população no mercado das bicicletas, devido aos vários fatores sociais, económicos e ambientais, desencadeou um pedido elevado de encomendas na SRAMPORT. Esta empresa labora 24 horas por dia, o que significa que o surgimento de qualquer paragem na produção pode desencadear custos elevados associados à perda da disponibilidade dos seus equipamentos ou à sua baixa fiabilidade. Ora a manutenção tem uma responsabilidade fundamental na resolução dos problemas, uma vez que o seu objeto passa essencialmente por cuidar e restabelecer o bom funcionamento dos equipamentos.

Contudo, apesar desta manutenção apresentar um bom desempenho, existem sempre lacunas associadas aos trabalhos realizados que podem ser melhoradas ou até mesmo eliminadas. Assim sendo, o estágio a que o presente trabalho se dedica justifica-se no sentido de desenvolver propostas que visam auxiliar a empresa a solucionar alguns problemas detetados, como a disponibilidade e fiabilidade das prensas de estampagem.

1.2. Objetivos e Estratégia Seguida

O presente trabalho, enquadra-se na área da manutenção industrial e tem como primeiro objetivo analisar o desempenho de certos equipamentos que constituem a linha de produção de correntes de transmissão para bicicletas da SRAMPORT. A meta consiste em ter um nível de produção perfeito obtido pelo desempenho máximo fornecido pelos equipamentos presentes no processo de produção para que seja possível alcançar o rendimento económico mais alto possível. Isto é conseguido, reduzindo ao máximo os tempos de paragem de cada ação efetuada e aumentando ao máximo a fiabilidade desse processo de fabrico. Outro aspeto fundamental para conseguir atingir esse objetivo, é a gestão dos recursos da manutenção face ao surgimento dos pedidos de intervenções, uma vez que estes estão diretamente relacionados com a produção, sendo para isso também importante o acompanhamento do seu desempenho.

Posteriormente, uma vez determinados os desempenhos dos equipamentos analisados, serão feitas algumas propostas de melhoria para estes atingirem o seu maior rendimento possível, sem comprometer o seu bom funcionamento. Para isso, terá de ser feita uma análise à unidade de produção, para entender e conhecer todos os pormenores deste sistema, e tornar assim possível propor soluções eficazes de melhoria, através do domínio de certas ferramentas que suportam a manutenção.

Desenvolver uma cultura de melhoria que permite solidificar o processo de produção, estabelecer uma metodologia que diminua todos os tipos de desperdícios e aplicar as ferramentas contínuas corretamente para orientar as ações de melhoria são as chaves que permitem atingir a rentabilidade pretendida.

O principal tema abordado foi a *Total Productive Maintenance* (TPM), pelo facto de ser uma filosofia de trabalho que atua em todos os setores que possam ter consequências no processo de produção para melhorar ao máximo o seu desempenho. Para alcançar o objetivo pretendido, foi necessário numa primeira fase integrar-se no mundo industrial e familiarizar-se com os equipamentos e métodos de trabalho presentes na fábrica e seguidamente identificar os equipamentos que apresentavam um desempenho e uma fiabilidade mais baixa. Para isso, foram aplicadas algumas ferramentas como o *Overall Equipment Effectiveness* (OEE). Também se recorreram aos modelos de fiabilidade para ajudar na gestão da manutenção preventiva, pelo facto de ser possível estimar o tempo de vida de alguns dos componentes que desencadeavam muitos pedidos de intervenção. A análise das atividades

da manutenção em termos de eficácias de intervenções e tempos associados aos vários tipos de manutenção realizados também foram abordados para comparar o seu resultado com os objetivos estabelecidos pela empresa.

Por fim, o tema das tecnologias associadas à Indústria 4.0 também será tratado, visto que representa o futuro do mundo industrial. A utilização de novas ferramentas de trabalho é um aspeto que pode ajudar imenso a manutenção na previsão das falhas a que tanto se dedica.

1.3. Estrutura da Dissertação

No primeiro capítulo é feito o enquadramento desta dissertação, bem como uma apresentação dos seus objetivos e motivações.

O segundo capítulo dedica-se à apresentação da empresa na qual foi realizado este trabalho, sendo também feita uma breve explicação das várias etapas do processo de fabricação das correntes para bicicletas.

No terceiro capítulo, está exposto o enquadramento teórico onde estão detalhadas as informações necessárias para a compreensão do trabalho posteriormente realizado, de modo a integrar o leitor nesta área da engenharia.

O quarto capítulo, corresponde ao desenvolvimento do trabalho efetuado no contexto industrial da empresa em questão. Aqui será apresentado o estudo inicial realizado nos equipamentos da fábrica, bem como a descrição de certas tarefas.

O quinto capítulo corresponde às propostas de melhorias apresentadas à empresa, depois do estudo analisado.

A conclusão é feita no sexto capítulo, onde é efetuada uma análise e avaliação do que foi realizado ao longo deste trabalho, sendo ainda expostas algumas observações associadas às melhorias apresentadas, encerrando assim esta dissertação de mestrado.

2. SRAMPORT – TRANSMISSÕES MECÂNICAS, LDA.

A SRAM é uma empresa americana especializada na fabricação e montagem de componentes e acessórios para bicicletas. Destaca-se a nível mundial pela sua capacidade em fornecer constantemente produtos inovadores e de alta qualidade. Atualmente é empregadora de cerca de 3500 trabalhadores dispersos pelo mundo. Também apoia eventos como corridas e atividades relacionadas com o mundo do ciclismo, através de patrocínios realizados em parceria com os promotores desses eventos.

O presente trabalho, foi realizado na SRAMPORT, que é uma fábrica da SRAM sediada em Portugal desde 1997 e que tem a seu cargo a produção de correntes para bicicletas e a montagem de cubos mais rodas e pedais. Conta com 222 colaboradores com contrato distribuídos pelos seguintes departamentos: finanças, recursos humanos, tecnologias de informação, segurança e saúde no trabalho, logística, engenharia, desenvolvimento, produção, qualidade e testes. Por secções a empresa organiza-se em: peças soltas, montagem de correntes e montagem de cubos mais rodas e pedais.

A SRAM tem como principal objetivo expandir o potencial do ciclismo, defendendo os seguintes valores: Paixão, Inovação, Integridade, Comprometimento e Colaboração.

2.1. História da Empresa

Fundada em 1987 para introduzir um novo mecanismo de mudança de velocidades (Grip Shift) no mercado das bicicletas de estrada, o nome SRAM é um acrónimo derivado do nome dos fundadores da empresa, **Scott**, **Ray** (primeiro CEO da empresa) e **Sam**. Em 1991 esta tecnologia foi adaptada para as bicicletas de montanha o que permitiu à SRAM crescer rapidamente. De seguida, em 1995, apresentou o seu primeiro desviador traseiro chamado de ESP, o qual conseguiu conquistar o mercado por ser mais fácil de configurar do que os concorrentes da marca [1].

Prosseguindo inspirada pelo desenvolvimento e aquisição de novos produtos para conseguir a sua expansão, em 1997, a SRAM comprou o famoso fabricante alemão Sachs conhecido pela sua experiência em correntes e engrenagens, o que permitiu obter o contacto de um grupo metalúrgico e de engenheiros experientes, bem como uma linha de produção bem-sucedida. Anos mais tarde, o seu nome ficará como SRAMPORT – Transmissões

Mecânicas, Lda., focando-se apenas na componente de correntes para bicicletas e na montagem de alguns componentes.

Em 2002, comprou a RockShox, a qual é especializada em suspensões e amortecedores de bicicletas, sendo hoje uma das marcas mais reconhecidas nesta área do ciclismo.

Em 2004 a marca Avid foi adquirida, sendo conhecida pelos seus sistemas de travagem a disco hidráulico e também comprou a Truvativ, que se dedica à produção de guiadores, avanços e pedaleiras, o que permitiu finalmente vender um sistema de transmissão completo.

Em 2007 a SRAM introduziu um novo grupo de estrada ao adquirir a marca Zipp que é responsável pelo fabrico de rodas.

Em 2011 adquiriu o fabricante Quarq, o que permitiu incorporar medidores de potência de alta qualidade na sua gama de bicicletas de estrada, para os atletas acompanharem mais facilmente o seu desempenho.

Em 2021 adquiriu a marca Time, a qual é responsável por toda a gama de pedais.

Por fim, em 2022, a SRAM adquiriu a marca Hammerhead, com o objetivo de desenvolver uma plataforma que permite integrar software e hardware para otimizar os seus produtos. Também adquiriu a Velocio que se dedica ao vestuário de ciclismo.

De destacar ainda que a SRAM também apoia projetos de carácter social e humanitários, como apresentado na Figura 2.1.

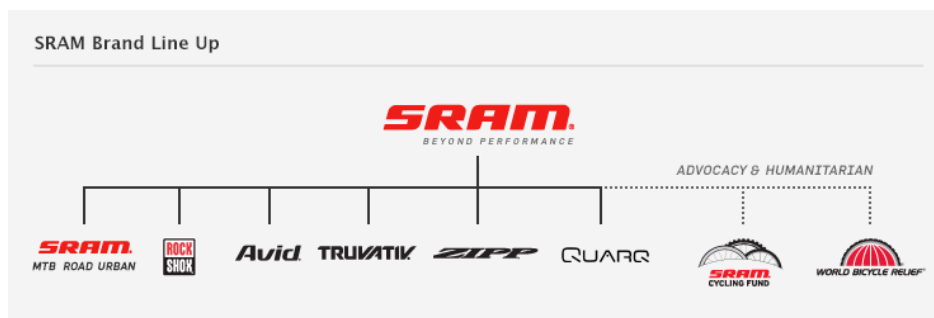


Figura 2.1. Algumas marcas e projetos adquiridos pela SRAM.

2.2. Instalações

A empresa tem sede na cidade de Chicago, nos Estados Unidos, onde grande parte da engenharia, marketing e equipa sénior da SRAM estão reunidas. Para além de possuir outras instalações na América, a SRAM é internacionalmente conhecida, pois também está instalada noutros países como a Alemanha, Austrália, Canadá, China, França, Holanda, Irlanda, Portugal e Taiwan [1].

Na Europa é de destacar a cidade de Coimbra, onde está implantada a única fábrica de produção de correntes do grupo (a SRAMPORT) que apesar de ter sido adquirida pelo grupo em 1997 conta com mais de 50 anos de existência e onde hoje em dia são concebidos dezenas de milhares de metros por dia. Atualmente, estão em funcionamento 8 linhas de montagem de correntes e devido à expansão da fábrica esta irá passar a ser constituída por 10 linhas de montagem, sem esquecer as constantes aquisições de novos equipamentos para conseguir responder ao pedido exigente do mercado atual.

2.3. Produtos

Com o passar do tempo, a empresa foi evoluindo, comprando várias marcas como referido anteriormente, o que permitiu alargar a sua gama de produtos e componentes como pedais, rodas, desviadores, travões, correntes, cassetes e muitos outros acessórios relacionados com o ciclismo.

Atualmente, os produtos mais conhecidos e que se destacam são as transmissões 1x12 velocidades (grupos EAGLE – Figura 2.2) introduzidas no mercado pela própria marca para um maior alcance de velocidades, a vasta gama de correntes para os vários tipos de transmissões presentes no mercado, e também a introdução de um sistema eletrónico sem fios (Eagle AXS) que vem substituir os mecanismos por cabo para desempenhar a função de trocar de mudança. Este último produto reflete mais uma evolução tecnológica, pois permite ao cliente afinar as configurações do aparelho ao seu gosto, através de um aplicativo móvel.

De destacar ainda que, uma vez que a SRAM vende a grande maioria dos componentes necessários para a constituição de uma bicicleta, não fabrica este produto final, pois se assim o fizesse estaria diretamente a competir com os seus próprios clientes.

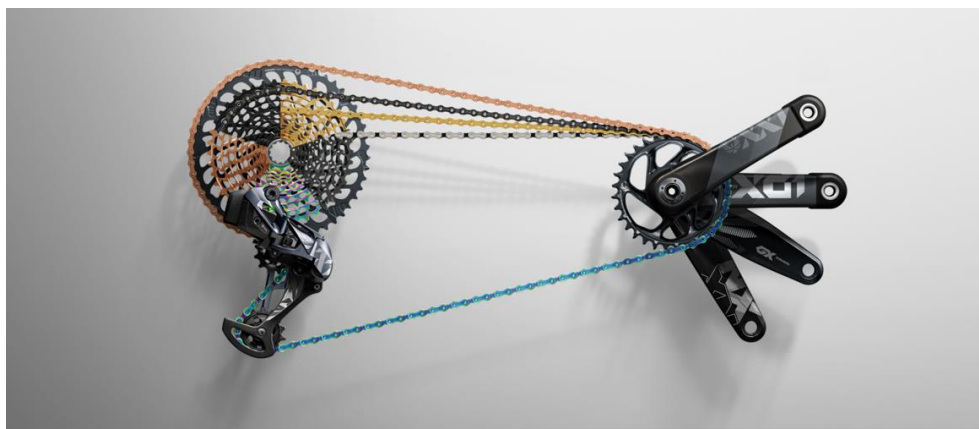


Figura 2.2. Exemplo de transmissões do grupo EAGLE [2].

2.4. Fabrico das Correntes

As correntes para bicicletas são constituídas por placas exteriores, placas interiores, eixos e rolos, como apresentado na Figura 2.3.

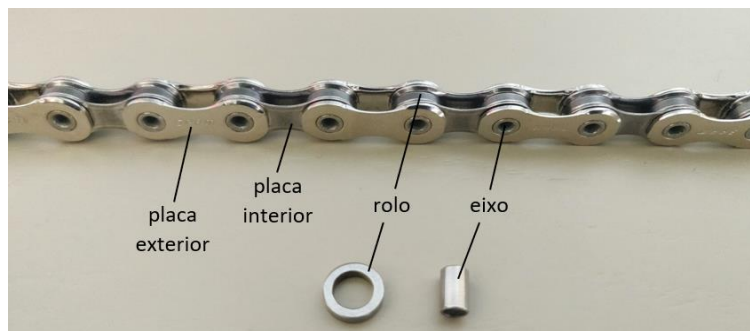


Figura 2.3. Constituição de uma corrente de bicicleta.

A fábrica que se dedica à produção das correntes é dividida em duas unidades autónomas: as peças soltas e a montagem. A primeira unidade é caracterizada pelo facto dos componentes da corrente ainda estarem separados entre si e sofrerem os processos físicos e químicos para a sua obtenção, enquanto que a segunda, tal como o nome indica, tem como função a montagem da corrente, sendo na Figura 2.4, ilustrado o processo de produção.

O início da produção dá-se então na unidade das peças soltas, onde a matéria-prima é transformada para a obtenção das placas e dos eixos. É aqui que as prensas realizam o processo de estampagem nas fitas de aço que dão origem às placas e os rolos de arame trefilados originam os eixos ao serem cortados por cisalhas rotativas. Quanto aos rolos, estes são adquiridos a um fornecedor externo.

Uma vez esta etapa concretizada, seguem-se os processos térmicos e de superfície, que podem diferir consoante o tipo de corrente a ser fabricada. Os quatro componentes passam por um processo de polimento e rebarbagem, a que a empresa dá o nome de “bariagem”, cujo objetivo consiste em remover rebarbas, óxidos e óleos. Estas ações são uma espécie de limpeza para garantir que não hajam agentes que comprometam a produção e a qualidade das peças. Quanto aos tratamentos de superfície, estes podem ser cementação, têmpera e revenido que são realizados em fornos de modo a melhorar as propriedades mecânicas dos componentes para resistirem aos esforços a que vão ser solicitados. Por fim, também podem ser levados para a linha de niquelagem, onde as peças são submersas num eletrólito com níquel para tornar as peças esteticamente mais apelativas.

No final desta unidade os componentes ainda separados são organizados em lotes e armazenados numa estante de *stock*, à espera de serem expedidos para a montagem.

Na unidade da montagem, é feita a junção dos quatro componentes de modo a finalizar o produto. A SRAMPORT, neste momento, tem na sua constituição oito linhas de montagem, as quais são formadas por uma máquina principal responsável por essa tarefa e que são designadas por “CHC”. Uma vez os diferentes componentes distribuídos na CHC, cada peça desce pela sua respetiva calha até chegar aos vários módulos que se encarregam pela montagem. O primeiro módulo tem como função fixar dois eixos a cada placa exterior inferior, formando um elo, de seguida é acrescentado a placa interior inferior de modo a ligar os vários elos entre si, sendo depois introduzidos os rolos em cada eixo. Depois, são acrescentadas as placas interiores superiores e para finalizar a placa exterior superior.

Uma vez todas estas operações efetuadas pela CHC a corrente passa por um processo denominado por rebtagem, onde as extremidades dos eixos são deformadas com o objetivo de fixar a corrente.

De seguida é realizado um teste de tensionamento para confirmar a resistência do produto e posteriormente é feita uma análise através de câmaras de alta velocidade que detetam qualquer tipo de defeito que possa existir no produto fabricado, como placas viradas ao contrário, falta de componentes, etc.

Por fim, a corrente é lubrificada para estar funcional aquando da aquisição do cliente, sendo o processo seguinte caracterizado pelo corte desta à medida pretendida ou enrolada em bobine. O processo é encerrado pelo embalamento da corrente e sua expedição para venda.

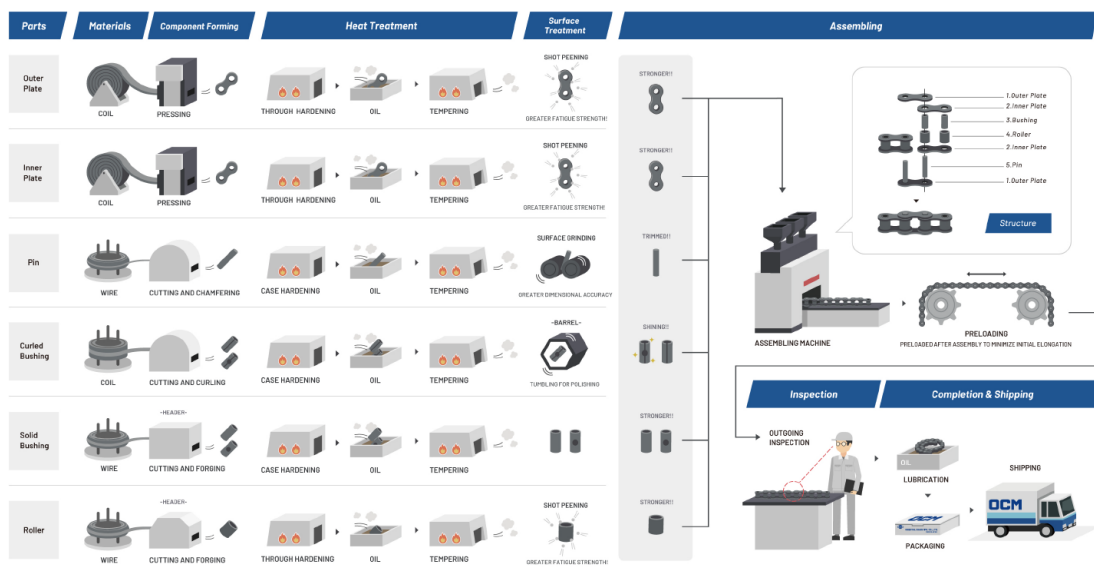


Figura 2.4. Processo de fabrico das correntes (COM) [3].

3. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

O presente capítulo irá abordar toda a informação recolhida resultante das pesquisas efetuadas ao longo deste trabalho, de modo a expor a matéria que servirá de apoio para compreender a teoria e o funcionamento que constituem a manutenção, sendo que inicialmente também é efetuada uma abordagem histórica deste tema.

No mundo industrial a mudança é constante, não sendo por isso de estranhar que o conceito de manutenção tenha sofrido também várias alterações. A manutenção industrial teve a sua origem no final do século XIX, quando a indústria se começou a tornar mecanizada, representando vulgarmente as ações de reparação efetuadas aos equipamentos que apresentavam avarias, sem existir qualquer regra de intervenção [4].

No início do século XX (primeira geração), com o aparecimento da produção em série desenvolvida pela Ford, o surgimento de avarias tornou-se cada vez mais forte afetando a produção. Foi então necessário criar equipas técnicas de manutenção, para responder de forma eficaz aos problemas expostos. Estas intervenções eram totalmente corretivas, isto é, aconteciam após a falha ocorrer.

No final da Segunda Guerra Mundial (segunda geração), a reconstrução das nações devastadas, desencadeou pedidos de produção tão significativos que surgiu a preocupação de não só corrigir as avarias que surgiam frequentemente, mas também de estabelecer estratégias para as reduzir, surgindo assim o conceito de manutenção preventiva. Nesse período também se desenvolveram os setores da aviação comercial e da eletrónica, sendo que as máquinas usadas ao serem de maior complexidade e precisão, não poderiam aceitar uma margem de erro elevada, tornando ainda mais essencial este tipo de intervenção [4].

A terceira geração inicia-se a partir dos anos 70, onde as primeiras estratégias estruturadas começaram a ser exploradas como as filosofias da *Total Productive Maintenance* (TPM) e da *Kaizen*, por exemplo. Nestas abordagens, o objetivo consistia em organizar e melhorar continuamente todos os recursos para atingir a excelência dos processos analisados. Entretanto, o aparecimento da robótica, da automação e da informática, foi mais um passo para o desenvolvimento da manutenção, bem como da indústria. Os instrumentos de medição e análise, tornaram-se cada vez mais precisos e a troca

de informação sendo cada vez mais rápida ajudou imenso no processo de desenvolvimento de critérios de previsão de avarias de modo a otimizar a gestão das intervenções.

Atualmente, a chamada Indústria 4.0 ou Quarta Revolução Industrial, veio acelerar todas estas funcionalidades, representando mais uma etapa na história da tecnologia, depois da invenção da máquina a vapor, da mecanização e produção em série e do desenvolvimento da robótica e informática. Esta tecnologia permite uma otimização dos processos de fabrico e facilita a inovação de todas as suas etapas, recorrendo à informática e à inteligência artificial [5].

A TPM é a filosofia de melhoria que será aqui desenvolvida e aprofundada, uma vez que este trabalho passa pela análise e melhoria da fiabilidade de certos equipamentos presentes numa linha de produção, para atingir o desempenho máximo de um processo de produção.

3.1. Tipos de Manutenção

A manutenção é definida segundo a Norma NP EN 13306, 2007 [6], como a “combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão, durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou repô-lo num estado em que ele pode desempenhar a função requerida”.

A manutenção pode ser dividida em 2 modos de intervenção: manutenção corretiva e manutenção preventiva. Estas ações são efetuadas consoante o tipo de falhas, a sua ocorrência, o seu custo e a capacidade de cada empresa em conseguir aplicá-las. O objetivo será de conseguir um bom equilíbrio entre manutenção corretiva e preventiva, a fim de reduzir ao máximo os tempos e custos de intervenção

3.1.1. Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva é uma operação efetuada aos equipamentos após ter ocorrido uma falha ou avaria. O objetivo é de repor a máquina em condições de funcionamento, sendo resolvido o problema ocorrido. Apesar deste tipo de manutenção não ser agendado, esta ação pode ser previamente preparada, nomeadamente quando este tipo de avarias acontece frequentemente e já é conhecido por parte das pessoas [7].

Para além desta forma de manutenção ser habitualmente aplicada nas situações imprevistas, esta também se justifica para os casos onde os equipamentos são de baixa

prioridade, por exemplo, devido à sua avaria não ser crítica para a produção. É caracterizada pelos seus custos serem mais baixos a curto prazo, ser imprevisível, haver um menor desperdício dos consumíveis, pois são usados até ao seu limite de vida e por ser um processo mais simples de entender, uma vez que só é necessário intervir quando existe um problema.

Falta ainda destacar que pode ser dividida em dois tipos: a manutenção paliativa e a curativa. A primeira mencionada, é de carácter provisório, ou seja, a verdadeira solução de conserto será remetida para mais tarde, apesar do equipamento voltar a cumprir a sua função, enquanto que a manutenção curativa é de carácter definitivo, ou seja, a resolução do problema será feita de modo a reparar imediatamente a avaria na sua totalidade.

3.1.2. Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva é efetuada com o objetivo de reduzir a probabilidade de ocorrência de falha ou avaria dos equipamentos. Esta intervenção é realizada antes da avaria, sendo então necessário prever a data da potencial falha. Esta ação requer um planeamento e uma preparação realizada com antecedência para poder intervir de forma eficiente. A sua gestão passa geralmente pela classificação dos equipamentos quanto à sua importância na produção e da frequência de intervenção para este tipo de manutenção.

A manutenção preventiva é caracterizada pelas seguintes vantagens:

- Aumenta a fiabilidade dos equipamentos,
- Aumenta a duração de vida das máquinas,
- Melhora o planeamento, regulando as cargas de trabalho,
- Controla melhor a gestão de stocks,
- Melhora o ambiente dos indivíduos, pois uma avaria inesperada cria sempre um clima desconfortável.

Esta manutenção pode ser dividida em dois ou três grupos: a manutenção condicionada, a sistemática programada e as rondas de vigilância.

A manutenção sistemática, é realizada de forma cíclica em função do tempo de serviço ou do número de unidades efetuadas. Caracteriza-se por usar intervalos de tempo constantes, o que torna o planeamento extremamente fácil, mas por consequência existe um desperdício do potencial relacionado com o tempo de vida útil dos componentes. Para ser realizada é necessário conhecer o padrão típico de ocorrência de falha, que pode ser indicado pelo fornecedor do equipamento numa primeira fase ou, numa segunda fase, conhecendo o

histórico da mesma. Para isso, recorre-se a um estudo estatístico onde é determinado um período de tempo regular para a realização da manutenção. Este tipo de intervenção é nomeadamente feito aos equipamentos onde:

- Os custos de falha são elevados,
- As paragens para reparação são bastante demoradas,
- As avarias podem ter consequências graves para os utilizadores ou para a produção,
- Existem equipamentos especiais que estão sujeitos a uma legislação própria.

Os exemplos mais práticos são as mudanças de filtros, óleos, rolamentos, substituição de módulos ou até mesmo revisões gerais.

A manutenção condicionada é efetuada quando se atingem os valores críticos associados a um parâmetro relativo ao estado de um determinado componente. Este método leva o potencial dos equipamentos ao máximo da sua utilização e as previsões das paragens são programadas quando se atingem os valores de alarme predefinidos [7]. Contudo, o aumento da periodicidade do controlo das medições pode reduzir drasticamente o benefício desta manutenção. Hoje em dia, com a evolução tecnológica, torna-se mais fácil acompanhar o comportamento dos equipamentos, pelo facto destes terem na sua constituição instrumentos de medida e análise mais avançados que desenvolvem este tipo de manutenção para a dita preditiva, como apresentado no subcapítulo 3.6.

Por fim, a existência de rondas de vigilância, também podem ser consideradas formas de manutenção, uma vez que são hábitos que servem para identificar anomalias ou potenciais falhas que possam vir a ocorrer para prevenir da situação.

Na Figura 3.1 apresenta-se um esquema dos vários tipos de manutenção existentes, de modo a tornar mais fácil a visualização do enquadramento de cada tipo de ação.

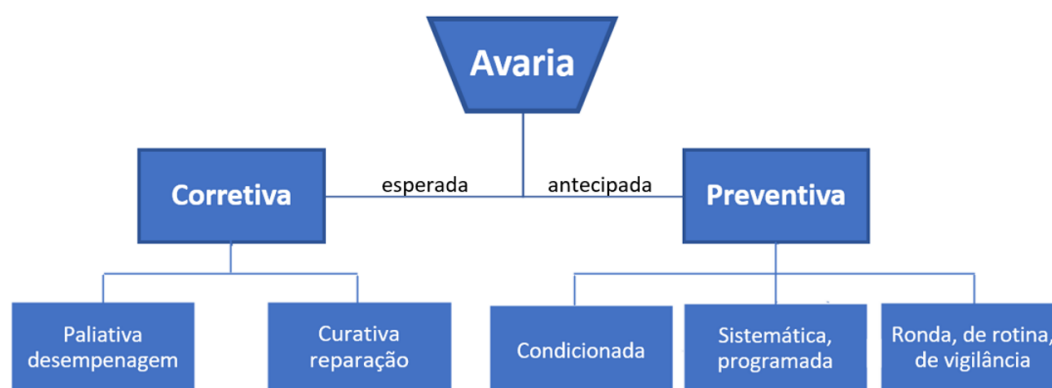


Figura 3.1. Esquema dos vários tipos de manutenções.

3.2. Total Productive Maintenance (TPM)

Após a Segunda Guerra Mundial, os japoneses aperceberam-se que tinham de melhorar a qualidade dos seus produtos, para conseguirem conquistar o mercado mundial. Os Estados Unidos da América, ao já terem uma manutenção preventiva um pouco desenvolvida, foram a inspiração para isso.

Na década de 50, *Seiichi Nakajima* iniciou o estudo dessa manutenção preventiva com o objetivo de aprofundar os seus conhecimentos nessa área e criar assim várias ideias de melhoria para serem implementadas posteriormente [8].

Em 1971, *Seiichi Nakajima* implementou a *Total Productive Maintenance*, mais conhecida por TPM, que se tornou numa estratégia de melhoria revolucionária para o mundo da manutenção. Esta estratégia depois de ter feito as suas provas foi adotada por inúmeras empresas de toda a parte do mundo, sendo hoje indispensável para aumentar a *performance* de qualquer organização industrial. Esta filosofia de trabalho torna possível a diminuição da manutenção corretiva, valorizando a manutenção preventiva no sentido de cuidar dos equipamentos e aumentar a sua fiabilidade.

Nakajima explica no seu livro que a TPM esforça-se para alcançar a eficiência máxima de um equipamento aumentando os *outputs* enquanto diminui os *inputs* do mesmo, uma vez que o custo do ciclo de vida necessário para manter o nível ideal de um equipamento é limitado [9].

O *Japan Institute of Plant Maintenance* (JIPM), que atualmente se encarrega por disseminar o conceito da TPM, explica que esta estratégia concentra-se nos equipamentos e nas pessoas para melhorar a produtividade e as bases da produção de modo a atingir zero perdas. Esta filosofia distingue-se por ser uma abordagem global da melhoria dos recursos de um processo de produção que visa a *performance* económica de uma empresa, inserindo ao máximo os operadores nas atividades da manutenção, bem como os órgãos superiores na gestão da manutenção. Assim sendo é um método holístico, cujo objetivo são zero falhas não planeadas, zero defeitos e zero acidentes.

3.2.1. As 6 Grandes Perdas

Para conseguir aumentar a produtividade, a TPM teve de se basear nos desperdícios que causavam interrupções na produção. Um equipamento que sofre de *breakdowns*, de *speed losses* e que produz peças defeituosas não tem uma boa eficiência de trabalho [8].

Assim, ao serem eliminadas estas perdas abaixo mencionadas, haverá um aumento da eficiência da produção [10].

A primeira perda está relacionada com as falhas ou avarias dos equipamentos (*breakdowns*) que deixaram de funcionar no horário planeado, ou seja, a paragem de uma máquina impede a continuação da produção. Esta perda influencia o índice de disponibilidade do equipamento.

A segunda perda identificada, corresponde aos tempos de ajustes (*set-up*) de uma máquina. Qualquer interrupção na produção para calibrar ou ajustar as máquinas são perdas que também influenciam a disponibilidade do equipamento.

A terceira perda está relacionada com paragens curtas e ocasionais feitas pelo operador para resolver problemas simples, onde os técnicos de manutenção não intervêm. Estas pequenas pausas afetam a eficiência do equipamento.

A baixa de velocidade corresponde à quarta perda. Entende-se por aqui a diminuição da cadência de produção originada pelo mau estado dos equipamentos, por exemplo. O índice de eficiência baixa, uma vez que a velocidade de produção é menor do que a normal.

A quinta perda está associada à qualidade insatisfatória resultante dos produtos defeituosos causada pela falha do operador ou da má configuração do equipamento de fabrico. Apesar destes poderem ser restaurados ou enviados para a sucata, o índice de qualidade é diretamente afetado.

A sexta perda é designada por defeitos de arranque, que é originada pelo tempo que um equipamento leva até atingir o seu desempenho estável. Neste período são produzidos produtos com defeitos que influenciam o índice de qualidade do equipamento.

3.2.2. Os 8 Pilares da TPM

A TPM é suportada por 8 pilares que foram desenvolvidos para eliminar os desperdícios anteriormente mencionados [10]:

- **Manutenção Autónoma:**

Este primeiro pilar da TPM introduz a responsabilidade dos operadores a terem rotinas simples de manutenção como a limpeza, inspeção e lubrificação dos equipamentos. Isto permite criar um senso de titularidade e aumenta o conhecimento dos funcionários sobre os mesmos. Para além disso liberta carga

de trabalho para a equipa de manutenção poder executar tarefas mais complexas.

- **Manutenção Planeada:**

O agendamento das intervenções da manutenção previne avarias que possam vir a acontecer e permite coordenar as ações de manutenção com a produção. Assim, a manutenção planeada aumenta a disponibilidade dos equipamentos, aumentando o tempo médio entre avarias (MTBF – *Mean Time Between Failures*).

- **Gestão da Qualidade:**

O controlo da qualidade permite prevenir e detetar erros que possam aparecer no processo de fabrico, causados por defeitos provenientes dos equipamentos de produção. A implementação de melhorias nesses equipamentos permite reduzir a taxa de defeitos, tentando alcançar ao máximo o objetivo de zero defeitos.

- **Melhoramento Contínuo:**

Analisar sistematicamente para ser possível melhorar continuamente um método de trabalho bem como um equipamento é essencial na eliminação das suas perdas identificadas. O cálculo da eficiência global de uma certa máquina é fundamental para desenvolver esta metodologia, sendo recorrente usar o indicador OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), para tornar mais claro a identificação dos pontos críticos do processo de produção.

- **Controlo Inicial:**

Este pilar consiste em usar as experiências obtidas anteriormente para ser possível atingir o desempenho pretendido na aquisição de novos equipamentos ou no desenvolvimento de novos produtos. Esta gestão antecipada é importante na redução dos problemas de arranque.

- **Treino e Educação:**

O relacionamento interpessoal é um aspeto importante para o bom funcionamento de qualquer processo, uma vez que a transmissão de competências e conhecimentos torna a evolução mais rápida. Possuir trabalhadores capazes de exercerem várias funções é uma mais valia, sendo necessário efetuar avaliações e atualizações periódicas das suas competências.

- **Higiene e Segurança no Trabalho:**

O facto do ambiente de trabalho ser seguro e saudável também tem um peso importante para o processo de produção e para as pessoas nele envolvidas. Este pilar garante que a segurança dos pilares anteriores não seja afetada pelas melhorias implementadas. O principal objetivo é a obtenção de zero acidentes de trabalho.

- **TPM ao Nível Administrativo:**

Ao nível da administração também é importante ter o cuidado em aplicar os conceitos da TPM, uma vez que a produção se apoia nesta secção. Falhas na documentação, nos agendamentos e nos pedidos de aquisição de equipamentos podem desencadear diminuição da produção, sendo por isso importante existir uma boa comunicação entre os vários grupos de trabalho.

Com estes oito pilares, apresentados na Figura 3.2, torna-se possível atingir a eficiência máxima dos equipamentos, diminuir os custos de produção, otimizar a disponibilidade dos equipamentos, melhorar o valor operacional da empresa e desenvolver a eficiência máxima de todos os setores da mesma [11].

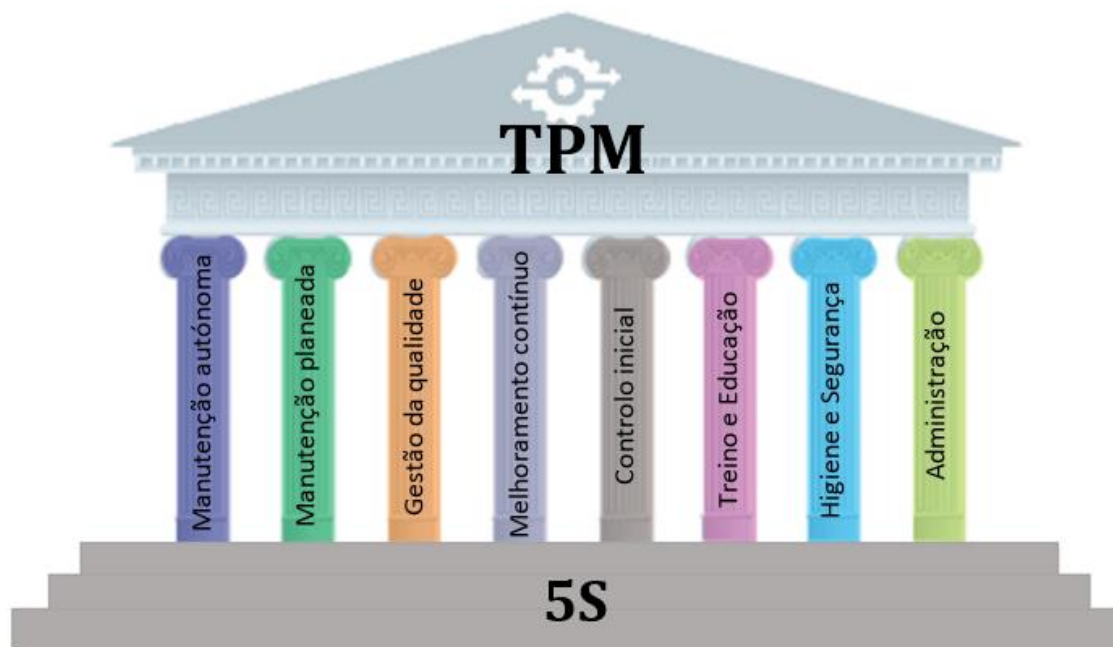


Figura 3.2. Os 8 pilares da TPM.

3.3. Metodologia 5 S

Para se executar corretamente os oito pilares da TPM, é necessário recorrer ao programa 5 S. Esta metodologia caracteriza-se por ser um conjunto de etapas que tomam iniciativas para uma empresa poder acolher a TPM, sendo uma prática de otimização das condições e do tempo de trabalho. O seu nome deriva das cinco palavras japonesas, sendo estas: *Seiri*, *Seiton*, *Seiso*, *Seiketsu* e *Shitsuke* [12].

***Seiri* (senso de organização)** – Esta medida é a primeira ação a ser realizada e consiste em eliminar tudo o que não for necessário. Define-se o que é útil do inútil, bem como o que é necessário do desnecessário. Conclui-se então que o *Seiri* consiste em analisar todos os itens de um determinado local e classificá-los segundo critérios de utilização. A ideia consiste em livrar-se do supérfluo, que pode criar obstáculos na produção.

***Seiton* (Senso de arrumar)** – Este senso consiste em arrumar todos os artigos em locais bem definidos de modo a tornar o seu acesso mais fácil e rápido para reduzir os seus tempos de procura. Cada ferramenta ou material tem o seu lugar definido no local de trabalho, devendo até mesmo estar identificado para ser possível manter esta organização.

***Seiso* (Senso de limpeza)** – A limpeza dos escritórios, do local de trabalho ou dos equipamentos de produção, vai bem mais além da higiene. No caso das ferramentas e das máquinas de trabalho, a limpeza permite detetar anomalias ou falhas, tornando-se num primeiro passo para a manutenção. Os japoneses acreditam que a limpeza do local de trabalho expressa a limpeza das suas mentes.

***Seiketsu* (Senso de padronizar)** – O quarto “S” desta metodologia aponta para o facto de manter o local de trabalho para que seja produtivo e confortável, aplicando o *Seiri*, *Seiton* e *Seiso*. É fundamental estabelecer regras para manter o espaço de trabalho organizado, limpo e eliminar os riscos de desordem.

***Shitsuke* (Senso de disciplina)** – O senso de disciplina conclui esta metodologia, indicando que é importante cumprir todos os “S” desta metodologia. Isso requer mudanças proativas no comportamento dos funcionários, sendo por isso necessário motivá-los em cumpri-las. Fazer com que esta metodologia se torne um hábito é importante para o processo de melhoria.

A ordem da metodologia 5 S está bem definida, sendo extremamente importante na sua execução. Começar por eliminar tudo o que não é necessário (*Seiri*) e acabar pelo rigor dos bons hábitos (*Shitsuke*) garante o bom funcionamento do local de trabalho (Figura 3.3).

Este método, apesar de parecer simples bom senso, requer bastante disciplina e dedicação por parte das pessoas e constitui uma base fundamental para conseguir otimizar qualquer tipo de processo de trabalho.



Figura 3.3. Metodologia 5 S.

3.4. Key Performance Indicators (KPI)

Uma avaliação eficaz do desempenho é necessária para garantir que os trabalhadores tenham os melhores benefícios possíveis. Para isso recorrem-se aos chamados indicadores de desempenho, mais conhecidos por KPI (*Key Performance Indicators*), que são ferramentas de medição que apoiam as organizações a controlar o progresso dos seus processos, num determinado período de tempo. Por outras palavras os KPI fornecem um *feedback* sobre a capacidade de uma organização em atingir o seu limite máximo relativamente a algo mensurável. Estes indicadores visam fornecer uma medida dos principais fatores que contribuem para o sucesso a longo prazo da organização, precisando de serem constantemente monitorizados, para ser possível desenvolver constantemente oportunidades de melhoria [13].

Os KPI são uma ferramenta bastante útil, uma vez que podem ser associados com todos os tipos de custos, com qualquer tempo de trabalho medido ou até mesmo relativamente a número de pessoas, como o número de casos de acidentes de trabalho, por exemplo.

Um bom KPI deve ser capaz de indicar claramente onde são necessárias medidas corretivas, para ajudar os responsáveis superiores da empresa a tomarem as medidas corretas para atingirem a excelência organizacional. Contudo, é importante referir que os indicadores selecionados estejam aplicados nos setores de atividade onde realmente existe uma relação com os objetivos estabelecidos pela organização, pois no caso contrário não faz sentido o uso destes indicadores pelo simples facto de não ser possível desenvolver melhorias ou até mesmo criar motivação para os trabalhadores.

A caracterização dos KPI passa pelo facto de estes indicarem a direção certa. A gerência é responsável por manter os colaboradores interessados no que realmente importa para o bem da sua empresa, pois muitas vezes, os problemas colocados estão associados aos desperdícios e ao tempo de entrega necessário para os clientes obterem o seu produto. Os KPI motivam o pessoal de trabalho, mas, contudo, o foco orienta-se facilmente para a produção por ser algo mais concreto, ignorando outros parâmetros como a qualidade, por exemplo. A gestão deve assim equilibrar sabiamente a direção dos objetivos dos indicadores colocando diferentes restrições, de modo a orientá-los para as devidas prioridades.

O resultado do KPI depende da qualidade dos seus dados, uma vez que o seu cálculo se baseia diretamente nesses valores. A qualidade inadequada destes dados resulta em KPI incorretos, desencadeando uma dificuldade por parte das equipas em atingirem os objetivos requeridos. Estes indicadores, devem também ser facilmente compreendidos por todos os membros da organização, sendo que a fórmula preferida para isso, corresponde ao quociente entre medidas que partilham as mesmas unidades. Esta característica permite facilitar as equipas em atingirem mais uma vez os seus objetivos.

Por último, mas não menos importante, os benefícios associados à gestão dos KPI devem ser superiores ao custo de implementação destes medidores, uma vez que, o objetivo final está sempre associado ao lucro económico da organização.

Incluindo aqui as ações de manutenção, uma vez estas concluídas, os resultados provenientes das suas intervenções relativamente a um determinado período de tempo devem ser monitorizados. Estes resultados, requerem uma análise cuidadosa que permitem a identificação das lacunas associadas ao nível de desempenho e consequentemente suportam a melhoria contínua dos equipamentos, bem como de um método de trabalho. A análise do desempenho envolve a comparação dos resultados obtidos com as metas pretendidas, com o histórico dos dados, análise de tendências e dos custos envolvidos [14].

A gestão de materiais, custos e agendamentos das intervenções feita pela manutenção representa uma grande responsabilidade, uma vez que a sua má gestão pode ter consequências negativas na produção, tal como referido pela TPM. Os indicadores de desempenho são ferramentas que podem ajudar nesta gestão, pois a análise fornecida por eles, para além de ajudar na previsão também contribuem para fornecer uma nova perspetiva de análise face aos dados recolhidos.

3.4.1. Overall Equipment Effectiveness (OEE)

A necessidade de avaliar o nível de eficiência operacional dos equipamentos industriais para saber quanto é possível estes serem melhorados de modo a atingir a máxima produtividade de que realmente são capazes, levou à criação do indicador OEE (*Overall Equipment Effectiveness*). Este indicador é o KPI que mais se destaca, sendo expresso em percentagem e resulta no produto dos seguintes parâmetros: disponibilidade, desempenho e qualidade, como apresentado na equação (3.1) e na Figura 3.4 [15].

$$OEE = (\text{Disponibilidade} \times \text{Desempenho} \times \text{Qualidade}) \times 100 \quad (3.1)$$

Esta ferramenta de análise permite fazer uma comparação entre equipamentos, tornando-se assim mais claro identificar o qual requer maior atenção de melhoria. De salientar que no cálculo do índice OEE resultante de várias linhas de produção, por exemplo, é necessário fazer uma média ponderada para aplicar este indicador corretamente. Isto acontece, uma vez que as várias linhas de produção analisadas, geralmente possuem tempos de serviço totalmente diferentes.

Para o parâmetro Disponibilidade é preciso ter em conta que na teoria, uma máquina foi concebida para trabalhar seguidamente sem interrupções, mas este facto nem sempre se verifica, pois, a existência das intervenções de manutenção, limpeza ou troca de matéria-prima, por exemplo, podem acontecer. Assim é importante medir o tempo total de funcionamento. A Disponibilidade é obtida através da equação (3.2):

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{Tempo total} - \text{Paragens}}{\text{Tempo total}} \quad (3.2)$$

O Desempenho relaciona a quantidade de peças que foram produzidas num certo intervalo de tempo com o que a máquina seria capaz de produzir nesse mesmo período, se estivesse a operar na sua cadência máxima. Este cálculo, geralmente é efetuado no preciso instante em que a máquina começa a trabalhar até esta parar a sua tarefa, sendo obtido através da equação (3.3):

$$\text{Desempenho} = \frac{\text{Tempo de ciclo ideal} \times \text{Produção total}}{\text{Tempo de funcionamento}} \quad (3.3)$$

Em relação à Qualidade, uma vez que existem peças produzidas que podem apresentar defeitos, torna-se essencial confrontar o número de peças que estão devidamente fabricadas com o total de peças produzidas. Este parâmetro ao ser unitário indica que todas as peças

foram produzidas sem defeitos, atingindo assim o nível máximo de qualidade. A qualidade pode ser calculada através da equação (3.4):

$$\text{Qualidade} = \frac{\text{Produção total} - \text{defeitos}}{\text{Produção total}} \quad (3.4)$$

O indicador OEE, quando aplicado, permite acompanhar o desempenho de cada equipamento ou até mesmo de uma linha de produção inteira. É uma ferramenta que foi rapidamente adotada no mundo da indústria, por ser fácil de usar, mas também por tornar mais simples identificar quais os equipamentos que não estão a cumprir os objetivos pretendidos, de modo a agir mais rapidamente para evitar este tipo de incidentes.

A título de exemplo, consideremos os seguintes valores de desempenho:

- Disponibilidade = 87%
- Desempenho = 85%
- Qualidade = 97%

À primeira vista estes números fazem parecer que a eficiência da produção é bastante boa, pelo facto de os valores apresentados serem altos. Na realidade, o indicador OEE alerta que essa análise não está propriamente correta, visto que o seu resultado é de cerca de 72% → valor bastante mais baixo do que a ideia criada.

Face a esta ideia o JIPM realizou um estudo onde definiu um valor de referência para as empresas de classe mundial poderem assumir que o equipamento está com uma alta eficiência de produção. Este valor corresponde a um índice OEE de 85%, obtido da seguinte forma:

- Disponibilidade acima de 90%
- Desempenho mínimo de 95%
- Qualidade superior a 99%

Conclui-se que para garantir um OEE acima de 85% implica ter um bom equilíbrio entre os três parâmetros apresentados e uma excelente gestão de cada máquina e da sua intervenção perante o processo de produção.



Figura 3.4. Cálculo do indicador OEE [16].

3.5. Indicadores de Manutenção

Um sistema é concebido para cumprir uma certa função com eficácia, respeitando restrições técnicas, ergonómicas e económicas. No entanto não existem sistemas perfeitos, o que significa que nada dura para sempre, pelo que durante o período de vida de um equipamento acontecem sempre períodos de indisponibilidade resultando da ocorrência de avarias e outros fatores. Por este motivo, neste subcapítulo descrevem-se alguns conceitos importantes caraterísticos da manutenção propriamente dita [15].

3.5.1. Disponibilidade

A disponibilidade é uma caraterística somente de sistemas reparáveis e pode ser interpretada como a capacidade que um determinado equipamento tem em cumprir o seu trabalho, em boas condições de funcionamento [15].

Pode ser calculada com a equação (3.5):

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \quad (3.5)$$

Em que:

O Tempo Médio Entre Avarias ou MTBF (*Mean Time Between Failures*) corresponde ao tempo médio ocorrido entre as avarias de um equipamento, ou seja, representa um tempo médio onde a máquina esteve a trabalhar corretamente. A equação (3.6) expressa o cálculo do MTBF, onde o numerador representa simplesmente a subtração das paragens ao tempo analisado e o denominador permite obter a média pretendida:

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Tempo total disponível} - \text{Tempo perdido}}{\text{Número de paragens}} \quad (3.6)$$

O Tempo Médio de Reparação ou MTTR (*Mean Time To Repair*) é uma medida bastante usada na manutenção, pois, este parâmetro representa o tempo médio necessário para reparar uma avaria num determinado equipamento. O tempo de reparação inicia-se no instante em que a intervenção de manutenção corretiva é realizada e é encerrado quando o equipamento volta a cumprir as suas funções. O MTTR permite analisar o tempo de resposta dado na resolução de um problema, tornando mais fácil a sua posterior organização.

Este parâmetro pode ser calculado através da equação (3.7):

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Tempo total manutenção corretiva}}{\text{Número de reparações}} \quad (3.7)$$

3.5.2. Manutibilidade

A norma NP EN 13306, 2007 define manutibilidade sendo a “aptidão de um bem, sob condições de utilização definidas, para ser mantido ou restaurado, de tal modo que possa cumprir uma função requerida, quando a manutenção é realizada em condições definidas, utilizando procedimentos e recursos prescritos”. Assim, pode-se afirmar que a manutibilidade é a capacidade de reestabelecer a um equipamento as suas condições de funcionamento depois de ter ocorrido uma avaria.

Uma forma de quantificar a manutibilidade é através do tempo de reparação (TTR) ou do seu tempo médio (MTTR), tendo em conta o número total de avarias ocorrido no mesmo (n), como apresentado na equação (3.8) [17]:

$$MTTR = \frac{\sum_i^n TTR_i}{n} \quad (3.8)$$

A manutibilidade depende de vários fatores que estão relacionados com:

- O equipamento: a acessibilidade à documentação e o grau de complexidade de desmontagem do mesmo influenciam o tempo de reparação,
- O construtor: a conceção e a facilidade com que é possível obter os componentes de substituição também afetam o tempo de arranjo,
- A manutenção: a preparação e formação dos técnicos, bem como os meios fornecidos para a reparação afetam diretamente este parâmetro.

3.5.3. Fiabilidade

A fiabilidade é definida segundo a norma NP EN 13306, 2007 sendo a “aptidão de um bem para cumprir uma função requerida sob determinadas condições, durante um dado intervalo de tempo”. Por outras palavras, entende-se por fiabilidade a probabilidade que um dispositivo ou componente tem de satisfazer as necessidades para o qual está projetado, durante um período de tempo determinado e perante as condições de utilização a que está sujeito.

Numa amostra de componentes, a duração de vida é infelizmente uma variável aleatória. Alguns componentes podem durar muito tempo, e outros apresentarão anomalias prematuras. É então necessário utilizar as probabilidades, a distribuição, a média e outras medidas de variabilidade para estimar a duração de vida e prever as ações de manutenção

para restaurar um componente. A fiabilidade está associada a uma probabilidade de sucesso e a estatística é usada como ferramenta de cálculo e de previsão [18].

Antes de começar a desenvolver as ferramentas associadas à fiabilidade é importante referir o conceito de falha. Em fiabilidade, entende-se por falha uma cessação de funcionamento, sendo que geralmente é a degradação de um componente até um estado considerado insatisfatório. As falhas podem ser [15]:

- Catastróficas, com origem extrínseca, ou seja, de ocorrência imprevisível, associada à mudança brusca das características de um órgão.
- Por degradação, que resulta da variação progressiva de uma ou várias características de um órgão para além dos seus limites de resistência, por exemplo.

A análise do comportamento da taxa de falhas permite criar estimativas fiáveis do tempo necessário para a substituição de um componente de forma a garantir uma determinada fiabilidade. Esta taxa é a probabilidade, por unidade de tempo ou de uso, que um sistema falhe nos próximos instantes. A taxa de avarias é uma previsão feita no instante t , que depende consequentemente do instante considerado. Exprime-se em número de componentes avariados por unidade de tempo [18].

Este parâmetro não deve considerar as falhas extrínsecas de um determinado conjunto estudado, pois aspetos como a má utilização, o não respeito de certas regras ou até mesmo acontecimentos como incêndios ou inundações, são casos anormais que não devem por isso interferir nesta medição.

A variação do número de avarias, ao longo do tempo de vida de um equipamento não é uniforme e tende a ser caracterizada por 3 fases como apresentado na Figura 3.5: o período de infância, o período de vida útil e o período de envelhecimento.

No primeiro período, quando os componentes entram em funcionamento, estes apresentam uma percentagem de falhas elevada que tende a reduzir-se. Este facto deve-se a erros de projeto, de fabricação, má utilização, etc.

No período intermédio, correspondente ao período de vida útil, durante a maior parte da vida a taxa de falhas é aproximadamente constante. Os problemas que geralmente aparecem são causados por falhas de manutenção, fabrico ou má utilização.

No período de envelhecimento, verifica-se um aumento da taxa de falhas e consequentemente do número de avarias acumuladas, que geralmente é causado por fenómenos de desgaste, fadiga e corrosão, por exemplo.

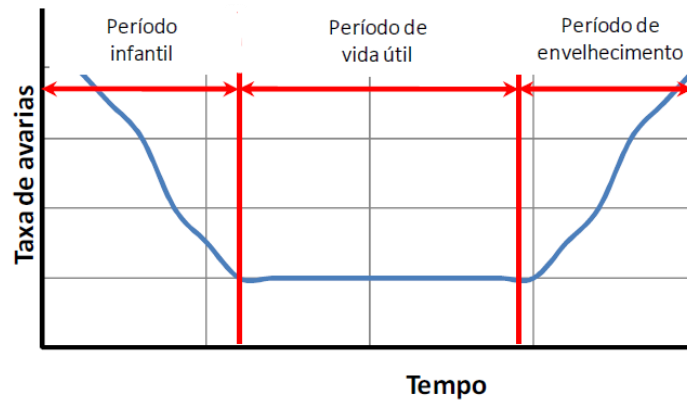


Figura 3.5. Evolução da taxa de avarias em função do tempo (adaptado) [17].

A taxa de avarias é geralmente calculada através da equação (3.9) que decorre diretamente da definição para um instante t [19]:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (3.9)$$

Onde $\lambda(t)$ representa a porção de dispositivos em falha por unidade de tempo e sendo que $f(t)$ representa a densidade de probabilidade [17].

O sucesso da manutenção preventiva sistemática consiste na aptidão em estimar o intervalo de tempo para que a probabilidade de ocorrência da falha antes da substituição seja mínima. Isto é possível, fazendo uma análise estatística dos tempos entre avarias (TBF) obtidos que constituem o histórico do equipamento analisado e do seu valor médio (MTBF) [17].

Em contexto industrial, esta análise torna-se fundamental para agilizar o processo fabril de uma determinada unidade, a fim de tornar a manutenção mais controlada e eficiente.

Este estudo depende da dimensão da amostra obtida, isto é, se a dimensão dos dados recolhidos for relativamente grande utiliza-se essa amostra diretamente como estimador, caso contrário, se a amostra for pequena, é necessário recorrer aos modelos de distribuição de probabilidade que se encarregam de efetuar uma estimativa. Os modelos mais conhecidos são: exponencial negativa, distribuição normal, distribuição lognormal e lei de Weibull.

Seguem-se os passos para efetuar a análise da fiabilidade referida, sendo N o número de avarias associado a um determinado equipamento:

1. Organizar os valores de TBF por ordem crescente,
2. Calcular a frequência acumulada de avarias, FA,
3. Calcular a probabilidade de avaria, $F(t)$ atribuindo um número de ordem i a cada falha e assumindo que a amostra tem dimensão constante:

a) Se $N > 50$

$$F(i) = \frac{FA_i}{N} \quad (3.10)$$

b) Se $20 < N < 50$

$$F(i) = \frac{FA_i}{N + 1} \quad (3.11)$$

c) Se $N < 20$

$$F(i) = \frac{FA_i - 0,3}{N + 0,4} \quad (3.12)$$

4. Calcular a fiabilidade, $R(t)$, que ao ser a probabilidade que um equipamento tem de cumprir corretamente a sua função num instante t , pode ser relacionada com a probabilidade de falha, $F(t)$, como apresentado na equação (3.13) que indica que são acontecimentos complementares:

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (3.13)$$

5. Traçar os gráficos de $F(t)$ e $R(t)$ em função do tempo para estimar o tempo de substituição.

Quanto aos modelos de distribuição de probabilidade, estes associam a uma variável aleatória uma certa probabilidade. Quando o número de acontecimentos aumenta, as frequências observadas do fenómeno estudado tendem para as leis ou distribuições de probabilidade. Assim, uma lei de probabilidade é um modelo que tenta exprimir o melhor possível a distribuição de frequências de uma certa variável aleatória.

3.5.3.1. Modelo de Weibull

A lei de Weibull é um dos modelos mais utilizados na manutenção para a análise da duração de vida dos componentes, devido ao facto de ser uma lei que se adapta melhor aos resultados obtidos. A fiabilidade de Weibull é expressa através da equação (3.14):

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (3.14)$$

O facto desta lei ser mais flexível é explicado pelos três parâmetros que constituem este modelo de probabilidade, sendo estes:

γ – Parâmetro de posição que indica a data de início das falhas, ajustando a curva relativamente à origem dos tempos.

- Se $\gamma < 0$, estes valores indicam que a falha já estava presente no instante da instalação do sistema,
- Se $\gamma = 0$, as falhas iniciam-se no início do serviço do equipamento,
- Se $\gamma > 0$, existe sobrevivência total entre os instantes t igual a zero e γ ,

η – Parâmetro de escala, cujo valor influencia a distribuição ao longo do eixo das abcissas.

β – Parâmetro de forma, em que o seu valor indica o tipo de fenómeno que está associado à distribuição de falha (fenómeno de fadiga, desgaste, corrosão, etc.) e também permite identificar em que período de vida nos encontramos [19],

- Se $\beta < 1$, a taxa de avarias decresce, indicando que se está no período de infância,
- Se $\beta = 1$ resulta numa taxa de avarias constante, o que corresponde ao período de vida útil do componente, sendo independente do tempo,
- Se $\beta > 1$, a taxa de avarias cresce com o tempo, indicando que se está no período de envelhecimento.

O ajustamento destes parâmetros (γ , η e β), pode ser obtido através de um processo que consiste em transformar a função de Weibull, numa reta de regressão linear, que resulta nas equivalências apresentadas nas equações (3.15) e (3.16) [15]:

$$x = \ln \left(\ln \frac{1}{R(t)} \right) \quad (3.15)$$

$$y = \ln(\text{TBF} - \gamma) \quad (3.16)$$

Considerando inicialmente γ igual a zero, o exponencial da sua ordenada na origem corresponde ao valor de η e o inverso do seu declive corresponde ao valor de β .

Por fim, ainda em relação a este modelo de fiabilidade, falta referir que a sua densidade de probabilidade é dada pela equação (3.17):

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (3.17)$$

3.5.3.2. Modelo Exponencial Negativa 2 Parâmetros

A função Exponencial negativa é um dos modelos mais simples para descrever a duração do tempo de vida de um componente e constitui um caso especial da função de Weibull quando $\gamma = 0$ e $\beta = 1$. É caracterizada por ter uma taxa de avarias constante o que a torna pouco plausível para fenómenos de engenharia, no entanto pode ser uma boa aproximação quando se consideram períodos de tempo reduzidos, onde é possível considerar essa taxa constante.

Por vezes, torna-se complicado descrever com boa correlação um determinado conjunto de dados caracterizados por terem uma taxa de avarias constante [15]. Foi então desenvolvido o mesmo modelo, acrescentando o parâmetro de posição γ , que apresenta ser uma boa solução para esses casos, associados ao período de vida útil de um componente. A sua fiabilidade é traduzida pela equação (3.18):

$$R(t) = e^{-\lambda(t-\gamma)} \quad (3.18)$$

O ajustamento gráfico faz-se com uma mudança de variável no eixo dos tempos, subtraindo o valor de γ aos TBF, sendo que o seu valor é selecionado de modo a maximizar o valor do fator de correlação.

3.5.3.3. Modelo Normal

A função Normal é caracterizada pelos valores da média (μ) dos TBF e do seu desvio padrão (σ). Este modelo é conhecido por descrever bem o comportamento de falha de um componente quando a degradação se intensifica [15]. A densidade de probabilidade que caracteriza este modelo é dada pela expressão (3.19):

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\gamma}{\sigma}\right)^2} \quad (3.19)$$

Este modelo é conhecido pela sua curva típica simétrica, relativamente ao valor da média que corresponde exatamente ao centro da sua distribuição.

Para facilitar o cálculo de $F(t)$, é possível determinar o seu valor, recorrendo ao EXCEL através da função DIST.NORMAL ($t, \mu, \sigma, 1$).

3.5.3.4. Modelo LogNormal

Por fim, o modelo LogNormal é adequado para modelar situações em que apresentam uma grande frequência de tempos curtos. Este modelo assemelha-se ao modelo anterior,

sendo que se diferencia por um ajuste efetuado por uma mudança de variável, aplicando o logaritmo aos valores de TBF obtidos. Para realizar as estimativas pretendidas, basta recorrer às fórmulas do modelo Normal, sendo que antes da sua aplicação é necessário recorrer a esta mudança de variável. De notar que a densidade de probabilidade que caracteriza este modelo é dada pela equação (3.20):

$$f(t) = \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\log(t) - \mu}{\sigma} \right)^2} \quad (3.20)$$

3.6. Indústria 4.0

A necessidade de adaptar e usar as novas tecnologias, encaminhou a indústria para uma nova era, onde a conectividade, quantidade de dados, novos dispositivos, personalização e produção controlada deram origem à chamada Indústria 4.0. A recolha e leitura de dados foram a chave para desenvolver esta nova geração, pois através dessa análise é possível antecipar falhas e melhorar o processo de tomada de decisão, reduzindo assim os tempos de inatividade [20].

A Indústria 4.0 é composta por nove tecnologias, sendo elas: *Internet of Things* (IoT), *Big Data*, Integração de Sistemas, Simulação, *Cloud Computing*, Realidade Aumentada, Robôs Autónomos, Fabrico Aditivo e Segurança Digital. No que diz respeito à manutenção as que mais se destacam nas suas atividades são a IoT, a *Big Data* ou até mesmo a *Cloud Computing* [21].

A primeira mencionada permite que todos os ativos físicos que estejam ligados à Internet fiquem conectados entre si, possibilitando uma comunicação de maior qualidade e eficiência na partilha de dados através dos *Cyber Physical Systems* (CPS). Para além disso, estes CPS's têm um grande impacto no sentido de fornecer a funcionalidade de prever e acionar serviços remotos, o que ajuda imenso a manutenção preventiva. Este sistema também é capaz de selecionar uma grande quantidade de dados em tempo real das máquinas, suportando a análise do *Big Data*. Este último, representa um poderoso sistema de análise e tratamento de dados que permite a tomada de decisões em tempo real, através da formulação de algoritmos analíticos, conseguindo assim ajudar as empresas em tomar decisões na hora adequada [21]. Um exemplo apresentado por Silvestri et al. é a monitorização das condições de rolamentos e engrenagens através de uma transmissão sem fios e algoritmos de diagnóstico, usando sensores de vibração.

Quanto à tecnologia *Cloud*, também está relacionada com a IoT, a Big Data e até mesmo com a Simulação. Esta tecnologia traduzida por “nuvem”, refere-se à solução de armazenamento de dados, ou seja, disponibiliza uma grande quantidade de espaço gratuito e garante uma segurança no armazenamento dos dados coletados, pelo que se torna fundamental no processo até agora descrito e traz a vantagem de compartilhar as informações, descentralizando a informação.

Para implementar esta tecnologia, é necessário ter em conta alguns fatores que são fundamentais na realização deste projeto. O primeiro aspeto está associado à identificação dos componentes críticos que apresentam altas falhas, pois o objetivo consiste em melhorar o mais rapidamente os elementos que causam mais problemas. Depois disso é feita a seleção dos sensores, apropriados para essa medição e da sua instalação, devendo serem robustos e fáceis de aplicar. A recolha e armazenamento dos dados, tais como vibrações, temperatura, pressão, humidade, tensão, etc. deve ser bem estabelecida, bem como a remoção de parâmetros que dificultam a posterior análise. Só assim será possível extrair os recursos mais importantes e úteis que refletem o estado do equipamento. Seguidamente, vem o diagnóstico que representa uma fase importante deste projeto no sentido de entender a causa da degradação do sistema e o prognóstico na previsão do seu tempo útil restante. De realçar que o prognóstico não é uma tarefa fácil, no sentido de existirem vários métodos. Chegando a este ponto, a gestão da manutenção entra na fase de tomada de decisões avaliando os resultados obtidos. Por fim, este processo requer o desenvolvimento de uma interface homem-máquina, onde se pode visualizar o estado do componente, a execução das tarefas nele associadas e as operações da manutenção, etc. [22].

Retomando o exemplo da análise de vibrações, que pode ser agora considerada uma técnica de predição, baseia-se na variação do nível das forças aplicadas ou da rigidez relativamente à tendência criada ao longo pelo tempo pelo bom funcionamento do equipamento, o que origina a alteração decisiva a vibração das máquinas.

Assim, com a Indústria 4.0, é possível conseguir benefícios como a redução de custos, economia de energia, redução de erros, aumento da segurança e da qualidade de vida dos trabalhadores [23].

4. DESENVOLVIMENTO

Depois de ter uma ideia mais concreta do processo de produção e da funcionalidade dos vários equipamentos que constituem esta linha de produção foi então possível dar início ao trabalho que sustenta o desenvolvimento desta dissertação de mestrado. Neste capítulo é descrito o processo da manutenção da SRAMPOR e são expostas as análises e tarefas da manutenção executadas durante este estágio.

Uma vez que a TPM é a filosofia a que este trabalho se dedica, foi necessário seleccionar os equipamentos e componentes que apresentavam um maior número de avarias e tempos de paragens na linha de produção para posteriormente, apresentar algumas propostas de melhoria.

4.1. Manutenção na SRAMPOR

A gestão da manutenção passa essencialmente pela aquisição e inclusão de equipamentos num plano de manutenção preventiva e pela resposta aos pedidos de intervenção no caso da manutenção corretiva. Estes pedidos são desencadeados pelo surgimento de avarias nos equipamentos que constituem a linha de produção da empresa, podendo serem classificados em falhas mecânicas ou elétricas [24].

Na SRAMPOR a aquisição e inclusão de um equipamento requer um processo que está bem definido pela manutenção como referido. Este processo inicia-se por criar a existência do ativo físico no sistema informático SAP e depois identificá-lo com uma etiqueta que contém o seu número de identificação. Uma vez o equipamento identificado, o engenheiro da manutenção encarrega-se por verificar e preparar a documentação física e virtual que contém toda a informação necessária para a sua caracterização e bom funcionamento.

Seguidamente, é então iniciada a elaboração dos planos de manutenção preventiva. Na SRAMPOR existem dois tipos de gamas: a nível I correspondente à manutenção autónoma e a nível II associada à manutenção preventiva propriamente dita. Estas gamas são criadas com recurso a documentos fornecidos pelos fabricantes, histórico de equipamentos semelhantes e experiências previamente adquiridas.

No caso das intervenções associadas às gamas de manutenção nível II, estas são lançadas no SAP mensalmente e são realizadas pelos técnicos da manutenção, que ao concluírem a sua tarefa procuram detetar problemas que possam surgir. Na inexistência destes, a ação é encerrada no sistema informático confirmando o tempo de trabalho despendido. No caso contrário, é avaliado a necessidade de recorrer a uma subcontratação ou a uma intervenção interna. Tratando-se da segunda opção, os técnicos verificam a necessidade de aprovisionamento do material, sendo que na hipótese de falta é comunicada ao responsável da manutenção, que por sua vez realiza o pedido de requisição, bem como o seu registo no SAP. Com o material obtido é realizada a intervenção, sem esquecer o seu respetivo encerramento como referido anteriormente.

No caso das gamas de manutenção nível I, as tarefas são impressas e distribuídas todos os meses pelo engenheiro da manutenção. Estas folhas contêm as ações de conservação dos equipamentos a serem efetuadas pelos operários da fábrica, sendo posteriormente recolhidas para registo no sistema informático. Este processo não fica por aqui encerrado, uma vez que o operador pode ter identificado a existência de anomalias associadas aos equipamentos, desencadeando o procedimento de manutenção corretiva. Para esse efeito é contactado o chefe de turno que realiza a sua própria avaliação do problema e executa o pedido de intervenção no sistema informático, indicando qual o equipamento em questão, a descrição da avaria, de que tipo se trata e do seu grau de prioridade, como apresentado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Classificação dos pedidos de intervenção e sua descrição.

Classificação das prioridades	Descrição
P1 – Perigo de acidente	Máxima prioridade de intervenção no equipamento, uma vez que se identificou a existência de perigo ao operar com o equipamento nas condições atuais.
P2 – Equipamento parado e/ou produção reduzida	O problema identificado está a causar paragem do equipamento ou, nalguns casos, o equipamento mantém-se em funcionamento, mas em condições não ideais.
P3 – Equipamento degradado	O equipamento funciona corretamente não havendo perda de cadência, mas um ou vários componentes apresentam danos visíveis.
P4 – Melhoria	O operador ou chefe de turno identificaram uma sugestão de melhoria a implementar no equipamento. Após avaliação pelo responsável de manutenção pode seguir ou não para execução.
P5 – Instalação	Trata-se de um pedido de intervenção para instalação de algum equipamento, acessório ou infraestrutura. Estas instalações são planeadas pelos responsáveis e são executados nas datas planeadas.

Uma vez o pedido de intervenção feito, este fica disponível para consulta no SAP para os técnicos terem acesso aos pedidos criados pelos chefes de turno e pelo engenheiro da manutenção. Uma vez que as falhas são classificadas em elétricas e mecânicas, os técnicos de manutenção elétrica consultam a lista de pedidos do centro de trabalho elétrico e o mesmo acontece para os técnicos de manutenção mecânica que consultam a lista associada às avarias mecânicas no centro de trabalho mecânico. Por vezes pode surgir a necessidade de recorrer a uma subcontratação quando a resolução do pedido solicitado não é possível com os próprios recursos internos. Cabe então ao responsável da manutenção avaliar e tomar a decisão de subcontratação ou de definir que se trata de um trabalho interno.

Seguindo a segunda escolha, os técnicos da manutenção respondem aos pedidos por ordem de prioridade, como apresentado na Tabela 4.1, verificando a necessidade de aprovisionamento de material e procedendo do mesmo modo, como explicado no parágrafo da gama de manutenção nível II. O encerramento da intervenção interna é feito pelo técnico da manutenção, o qual redige um breve relatório onde é descrito o que foi realizado.

Por fim, no caso das subcontratações, o engenheiro da manutenção encarrega-se de solicitar orçamentos para os trabalhos em questão, aguardando a sua aprovação por parte da gerência. A SRAMPORT tem fornecedores próximos para alguns destes casos que apresentam um tempo de reposta muito baixo, o que valoriza estas subcontratações. Uma vez o trabalho concluído pela empresa externa, resta ao engenheiro de efetuar o encerramento do processo de forma semelhante ao descrito para as intervenções internas.

4.2. Manutenção Autónoma na SRAMPORT

A manutenção autónoma corresponde à gama nível I mencionada no subcapítulo 4.1. Esta manutenção é o primeiro pilar da TPM e está bem definida nos equipamentos do processo de produção das correntes, da montagem das rodas e pedais, mas também dos testes e qualidade da SRAMPORT. Cada máquina está devidamente identificada pelo seu respetivo número para tornar mais fácil o seu reconhecimento tal como definido no segundo senso da metodologia 5 S e tem um conjunto de ações específicas de conservação para garantir o seu bom funcionamento. Esta manutenção é efetuada semanalmente pelos operadores, sendo geralmente igual em todas as semanas. As instruções caracterizam-se por conter o máximo de informação necessária para serem facilmente executadas e devem ser as mais claras possíveis para serem minimamente percebidas por qualquer pessoa da fábrica.

No ANEXO A encontra-se um exemplo destas instruções para a prensa PM2 e verifica-se que são ações simples de se realizarem que passam pela inspeção, limpeza e lubrificação dos equipamentos. Os equipamentos presentes na fábrica possuem estas folhas de manutenção, sendo atualizadas todos os meses para os operadores poderem indicar se realizaram as devidas ações ou não. Uma vez estas folhas recolhidas, são registadas no sistema informático as tarefas executadas para posteriormente calcular a eficácia deste trabalho. Caso se verifique um nível inaceitável de eficácia, podem ser desencadeadas medidas para a correta execução desta manutenção.

As melhorias apresentadas (APÊNDICE A) foram a organização e atualização das intervenções das várias prensas e a indicação dos lubrificantes que devem ser usados na intervenção da manutenção. Agrupar estas tarefas consoante o tipo de ação (limpeza, inspeção e lubrificação) torna o processo de intervenção mais eficaz e não tão aborrecido. Fazer referência ao desenrolador e ao endireitador de chapa, também resulta numa mais valia para este processo, visto que são equipamentos que necessitam destas intervenções para a sua conservação. Por fim, a apresentação dos lubrificantes é de grande importância, visto que por se tratar de algo mais técnico, faz com que esta ação seja menos espontânea e mais delicada. Torna-se então relevante fazer esta identificação para clarificar qual o tipo de óleo a ser usado, uma vez que cada máquina possui um óleo específico para trabalhar nas devidas condições.

4.3. Acompanhamento do Indicador OEE na SRAMPORT

Na SRAMPORT o indicador OEE é bastante utilizado para avaliar a eficácia dos seus equipamentos. A recolha dos seus dados é efetuada pelo autómato que está incorporado nesses equipamentos, os quais são enviados para um sistema informático para serem posteriormente analisados. Esta tecnologia resultante da Indústria 4.0, veio ajudar imenso na otimização do processo de produção.

O acompanhamento do OEE apresentado neste trabalho dedica-se às prensas que realizam a estampagem do aço, uma vez que são caracterizados por terem um método de trabalho intensivo e por iniciarem a produção. Assim esta análise de desempenho torna-se indispensável, pois é fundamental ter estes equipamentos o maior tempo possível operacionais. Na Figura 4.1 apresentam-se os OEE semanais de algumas prensas presentes na fábrica referentes ao mês de Março e da primeira metade do mês de Abril.

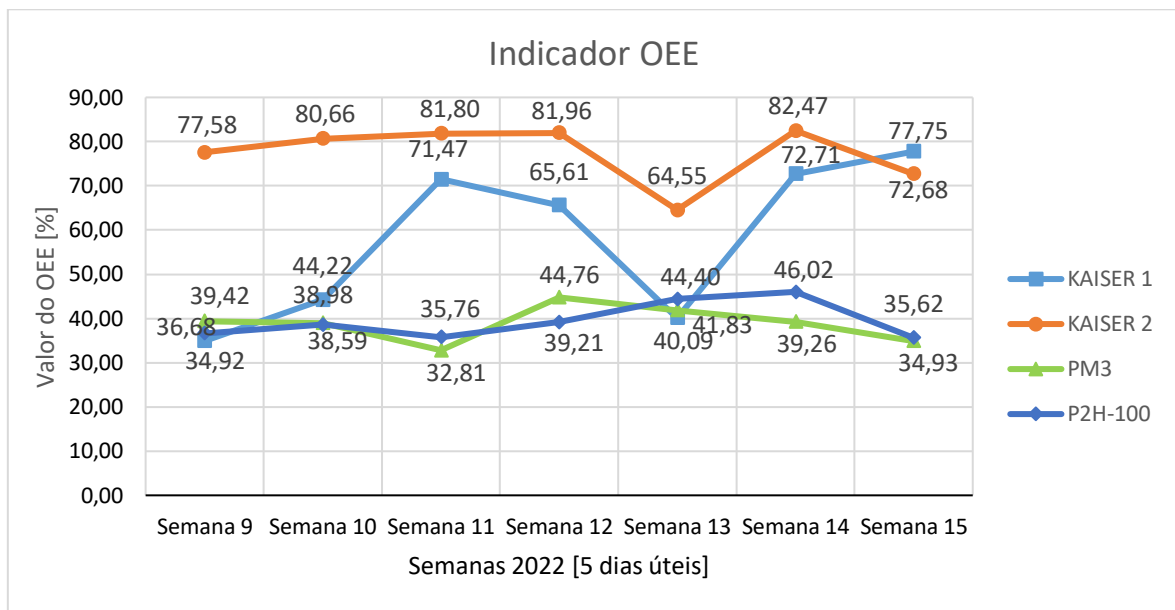


Figura 4.1. OEE semanais das várias prensas da SRAMPORT.

Da análise da Figura 4.1, destaca-se a prensa KAISER 2 cujos valores do OEE são bastante mais elevados do que as restantes.

Apesar da SRAMPORT ter implementado a tecnologia mencionada nas suas prensas, foi sugerido analisar os tempos relacionados com as tarefas de trabalho associadas à prensa KAISER 2 (Figura 4.2) e à PM3 (Figura 4.3), para ser possível aprofundar os conhecimentos associados ao trabalho efetuado com estes equipamentos e analisar possíveis causas que comprometem a eficiência da produção.



Figura 4.2. Prensa de estampagem KAISER 2.



Figura 4.3. Prensa de estampagem PM3.

Assim no dia 23 de Março e nos dias 04 e 05 de Maio de 2022, foram analisados detalhadamente todos os tempos relacionados com as prensas KAISER 2 e PM3, respetivamente, desde as 8 horas da manhã até às 16h30. Esta análise foi efetuada no local

de trabalho recorrendo a um cronómetro para registar os tempos medidos. Nos APÊNDICES B e C constam os valores resultantes para os cálculos efetuados, a tabela onde estão listados todos esses tempos, bem como as ações realizadas pelo operador relacionadas com o trabalho das prensas, que vão desde o controlo do bom funcionamento do equipamento, até à análise das peças fabricadas por esta, uma vez que, tratando-se de um processo irreversível, qualquer anomalia presente no material fabricado terá consequências significativas.

Considerando o início de um ciclo, a primeira tarefa a ser efetuada pelo operador consiste em colocar a bobine de aço num desenrolador, e anotar os seus dados de referência. De seguida, é introduzida a fita de aço num equipamento cuja função é de endireitar o material até chegar à prensa e fazer avançá-la pelos módulos que a constituem. Estes módulos encarregam-se de criar as placas da futura corrente (processo de estampagem), sendo por isso necessário efetuar uns testes de forma manual para garantir o seu bom posicionamento. Uma vez estas tarefas realizadas, o operador está em medida de acionar o modo automático da prensa para dar início à produção. O trabalho não fica por aqui concluído, uma vez que a operador também se encarrega de efetuar um controlo de qualidade a uma amostra das placas fabricadas, o qual passa pela medição do descentramento dos furos das placas, da sua planicidade, espessura e geometria, sem esquecer de dar entrada e de confirmar esses valores no programa SAP. No surgimento de erros detetados pela prensa o operador também pode ter como função de os resolver para assegurar o bom funcionamento do processo de produção.

Voltando ao OEE e tomando como exemplo o caso da prensa KAISER 2, o parâmetro da Disponibilidade foi o que mais se apoiou na tabela do APÊNDICE B, uma vez que para a sua determinação só é necessário recorrer aos tempos analisados. O Tempo total corresponde simplesmente ao período total do estudo, desde o instante em que se começou a análise, até ao momento em que se parou o cronómetro, o qual foi de 8h30. Quanto às Paragens, o seu valor é obtido pelo somatório dos tempos de paragem, ou seja, 189,33 minutos para a KAISER 2. A diferença entre estes dois valores, que constituem o numerador da equação (3.2), fornecem o tempo de produção efetivo, o que permite obter uma disponibilidade de 62,9%.

Em relação ao Desempenho, para determinar o seu resultado, foi necessário recorrer a valores característicos da prensa em questão e das placas que estavam a ser fabricadas. No caso da KAISER 2 é sabido que a sua cadência é de 300 golpes por minuto e que a cada

golpe efetuado são criadas 4 placas, sendo que nesse dia de estudo estavam a ser produzidas placas interiores de 12 velocidades para a corrente EAGLE (referência 500 – 42) e cujo peso de cada uma é de 0,688 gramas. Após os cálculos efetuados chegou-se à conclusão que o tempo de ciclo ideal é de 0,000833 minutos. De seguida com os tempos que serviram de cálculo para a Disponibilidade e do valor da produção total, obteve-se um Desempenho de 100%. Este resultado ideal já era de esperar, uma vez que o Desempenho, ao ser somente influenciado nos períodos em que a prensa está efetivamente a trabalhar, só apresentaria um resultado diferente se esta estivesse a produzir numa cadência diferente do que 300 golpes por minuto, o que nesse dia nunca foi o caso. Já no caso da prensa PM3, sabendo que a sua cadência máxima de produção é de 400 golpes por minuto, o valor de 100% não é obtido, uma vez que a máquina estava a operar a 397 golpes por minuto durante os períodos de análise.

Quanto ao parâmetro da Qualidade, os valores que fornecem o seu resultado, estão relacionados com a quantidade de material produzida após o trabalho realizado pelo equipamento. O seu resultado é obtido pelo quociente entre os produtos conformes e a produção total feita. A Produção total foi de 384 792 placas, sendo o seu valor obtido através do número total de golpes efetuados pela prensa. O refugo pesado pelo operador corresponde aos Defeitos, que sabendo o peso médio de cada placa resulta em 4942 placas. Com estes dois valores e recorrendo à equação (3.4), é obtida uma Qualidade de 98,7%.

De seguida, apresenta-se na Tabela 4.2 os valores dos parâmetros calculados do indicador OEE para as prensas KAISER 2 e PM3, bem como o seu resultado final.

Tabela 4.2. Indicador OEE e seus parâmetros para as prensas KAISER 2 e PM3.

Prensa	Disponibilidade	Desempenho	Qualidade	OEE
KAISER 2	62,9%	100%	98,7%	62,1%
PM3 (1º dia)	22,8%	99,3%	99,0%	22,4%
PM3 (2º dia)	40,1%	99,3%	98,5%	39,2%

Através da equação (3.1), o valor resultante do OEE foi de 62,1% para a KAISER 2 e de 22,4% e 39,2% para a PM3. No caso da primeira prensa o resultado obtido foi mais baixo do que o esperado, nomeadamente depois de se analisar a Figura 4.1. O parâmetro Disponibilidade é sem dúvida alguma, o responsável deste efeito, uma vez que é o valor

mais baixo apresentado e que mais se afasta dos outros dois. Este, foi essencialmente afetado pela intervenção da manutenção preventiva efetuada nesse dia no módulo 3 da prensa, para antecipar uma possível falha associada a esta ferramenta.

Relativamente à prensa PM3 os resultados obtidos são semelhantes aos apresentados na Figura 4.1. A explicação para essa ocorrência é obtida pela análise do APÊNDICE C, onde se verificam inúmeras paragens da máquina e sobretudo um tempo de espera considerável na reparação da ferramenta da prensa.

4.4. Análise das Atividades da Manutenção da SRAMPORT

Os indicadores de desempenho são a melhor forma de entender o desempenho associado às várias ações da manutenção entre si, mas também de quantificar o peso da manutenção nas atividades da empresa. Torna-se possível, entender onde a manutenção conseguiu operar com mais facilidade e dificuldade, bem como confrontar os seus resultados com os objetivos pretendidos.

O trabalho desenvolvido nesta secção é relativo aos meses de Janeiro, Fevereiro, Março, Abril e Maio de 2022, recorrendo para a sua elaboração a dados correspondentes a números de pedidos de intervenções, tempos de trabalho e custos associados a materiais, serviços e mão de obra. Estes dados de entrada são distribuídos e processados pelas três atividades dedicadas pela manutenção na empresa (corretiva, preventiva e instalação de equipamentos), sendo que para comparar os valores obtidos com os objetivos pretendidos, recorreu-se ao número de metros produzidos e ao valor dos custos de obtenção gerais, por exemplo.

Começando pela manutenção corretiva, a sua eficiência é caracterizada pelo número de notas que ficaram por fechar, isto é, pelos pedidos de intervenção aos quais a manutenção não conseguiu responder. Como referido no subcapítulo 4.1, estes pedidos são classificados segundo o seu grau de prioridade, sendo que as notas correspondentes às prioridades 1 e 2 são alvo de maior atenção, uma vez que estão associadas a perigos de trabalho ou paragens na produção.

No APÊNDICE D é apresentado a tabela correspondente aos pedidos efetuados, distribuídos consoante o seu grau de prioridade, bem como os pedidos que ficaram por fechar. É de destacar que as notas criadas com prioridade 2 e 3 representam cerca de 90% do total de pedidos de intervenção, o qual corresponde a um valor médio de 250 pedidos por

mês. Em relação à capacidade de resposta da equipa de manutenção perante estas solicitações de intervenção, a média de notas por fechar é de 3,2%, sendo que o mês de Abril é o pior dos casos com uma percentagem de 6,1%.

Um indicador interessante usado nesta análise associado aos pedidos de intervenção, é a relação das prioridades 1 e 2 com a quantidade de metros produzidos pela empresa (Figura 4.4).

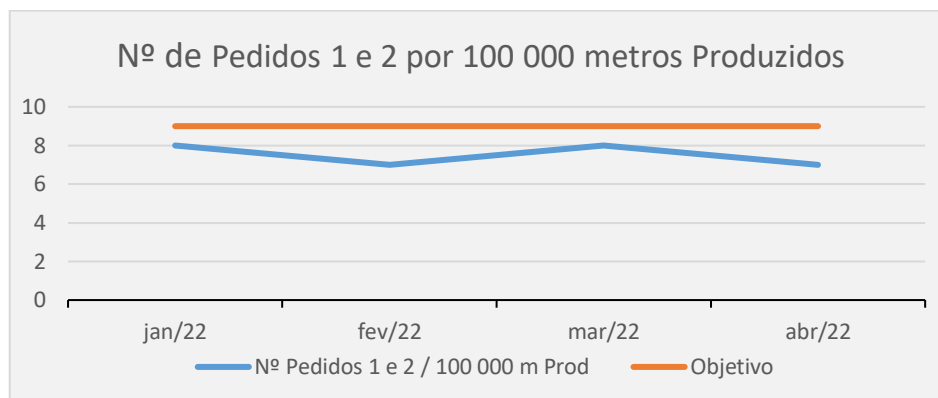


Figura 4.4. Número de pedidos 1 e 2 por 100 000 metros produzidos (Janeiro a Maio de 2022).

A SRAMPORT tem como objetivo definido não ultrapassar o valor de 9 pedidos por 100 000 metros produzidos para 2022, o que sempre foi cumprido nesta análise. Este valor de rácio pode ser melhorado, aumentando o número de metros produzidos, bem como a fiabilidade associada aos componentes dos seus equipamentos, uma vez que estes desencadeiam o aumento de pedidos de intervenção.

Quanto à distribuição dos tipos de manutenção, a sua análise recorre aos TTR introduzidos pelos técnicos no SAP (APÊNDICE D), o que torna possível observar a evolução associada aos três tipos de manutenção definidos, como apresentado na Figura 4.5.

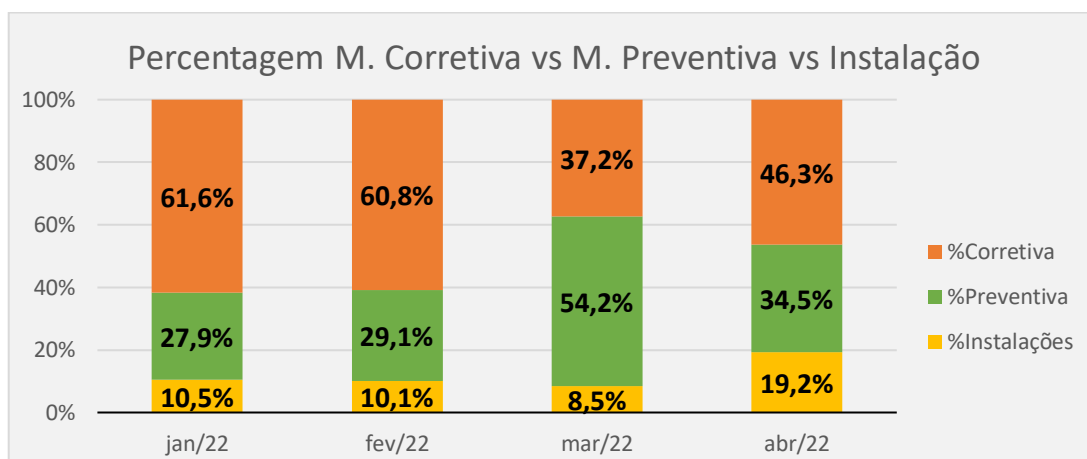


Figura 4.5. Comparação das atividades da manutenção na SRAMPORT.

A manutenção corretiva é a que mais se destaca nestes cinco meses de estudo, a qual em média representa um pouco mais de metade das intervenções realizadas na empresa. O restante é dividido entre a manutenção preventiva (36%) e as instalações (12%). Este resultado é explicado pelo facto de existirem equipamentos na fábrica que contam com mais de 40 anos de serviço e que apesar da presente e contínua renovação que está em curso, estes vão sofrendo um maior desgaste desencadeado pelo acentuado aumento da produção, facilitando o risco de avarias inesperadas. O objetivo pretendido passa então pelo aumento da taxa de manutenção preventiva de modo a prevenir estas falhas, mas que dependendo dos meses pode ter ou não uma carga horária de trabalho mais elevada, cujo valor é influenciado pelos pedidos da manutenção corretiva, que são caracterizados por serem aleatórios. Cabe então ao engenheiro da manutenção gerir da melhor maneira estas tarefas para equilibrar e agilizar este tipo de intervenção.

4.5. Fiabilidade na SRAMPORT

Neste subcapítulo são apresentados os resultados dos cálculos obtidos na determinação da fiabilidade dos componentes que geram um maior número de avarias nas prensas da SRAMPORT. Este estudo foi efetuado com o intuito de ajudar no planeamento da manutenção tal como apresentado pela filosofia TPM, visto que o agendamento das intervenções da manutenção preventiva se baseia no tempo de vida dos componentes. Neste sentido recorreu-se aos modelos de probabilidade para estimar o surgimento da próxima avaria.

Para iniciar este estudo, recorreu-se ao programa SAP, para se obter o histórico de avarias de cada prensa, os quais são apresentados nos APÊNDICES E a H. Aqui constam os horários e descrições de todas as falhas identificadas relativamente a cada equipamento desde Janeiro de 2020 até Março de 2022, período definido para esta análise.

Depois da análise de cada histórico, foi sugerido determinar a fiabilidade do tapete por onde saem as placas produzidas pelas prensas PM2-125, KAISER 1 e KAISER 2 e em relação à prensa HAULICK destacou-se um problema relacionado com a pressão hidráulica, o que desencadeava bastantes intervenções por parte da equipa da manutenção.

O primeiro passo consistiu em calcular os TBF dos vários componentes mencionados. Para isso foi necessário calcular a diferença entre os instantes para os quais sucederam as avarias entre si e posteriormente organizar estes valores por ordem crescente. Uma vez

ordenados estes valores, procedeu-se ao cálculo da probabilidade de avaria acumulada, tendo em conta o tamanho das amostras, da sua fiabilidade e da sua taxa de avarias. Para este último parâmetro, uma vez que se tratam de valores amostrais, caracterizam-se por serem uma variável aleatória. O seu resultado é então obtido através do declive correspondente ao instante a ser calculado, sendo necessário recorrer aos valores do instante anterior e posterior a esse.

De seguida efetuaram-se os cálculos dos modelos de probabilidade Exponencial negativa de 2 parâmetros, distribuição Normal, distribuição LogNormal e Weibull, para determinar qual dos modelos se aproxima melhor da amostra obtida, a fim de estimar o melhor possível a data da próxima avaria, considerando uma determinada percentagem de fiabilidade.

Seguem nas figuras abaixo os gráficos obtidos para as quatro avarias identificadas:

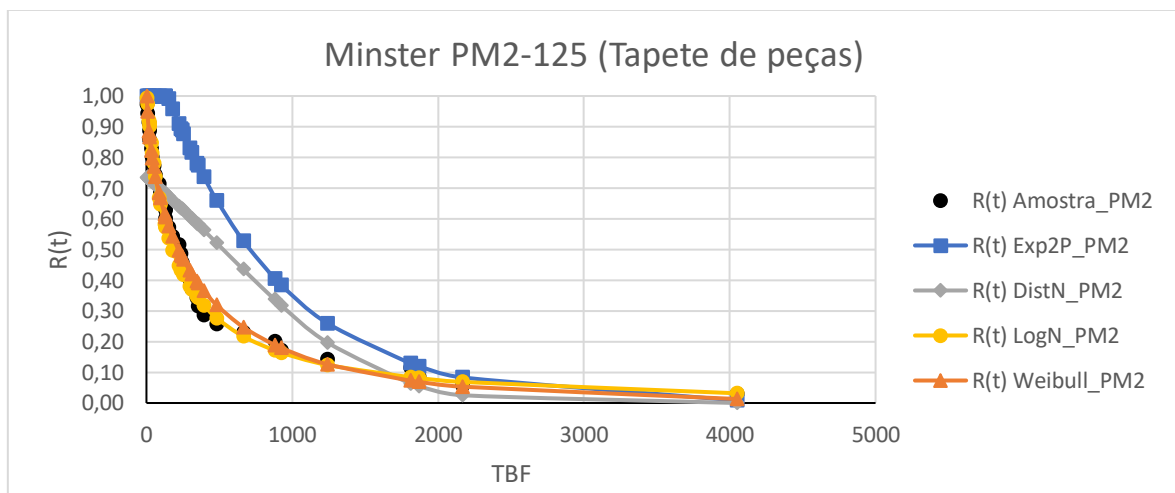


Figura 4.6. Gráfico dos vários modelos de fiabilidade (Minster PM2-125).

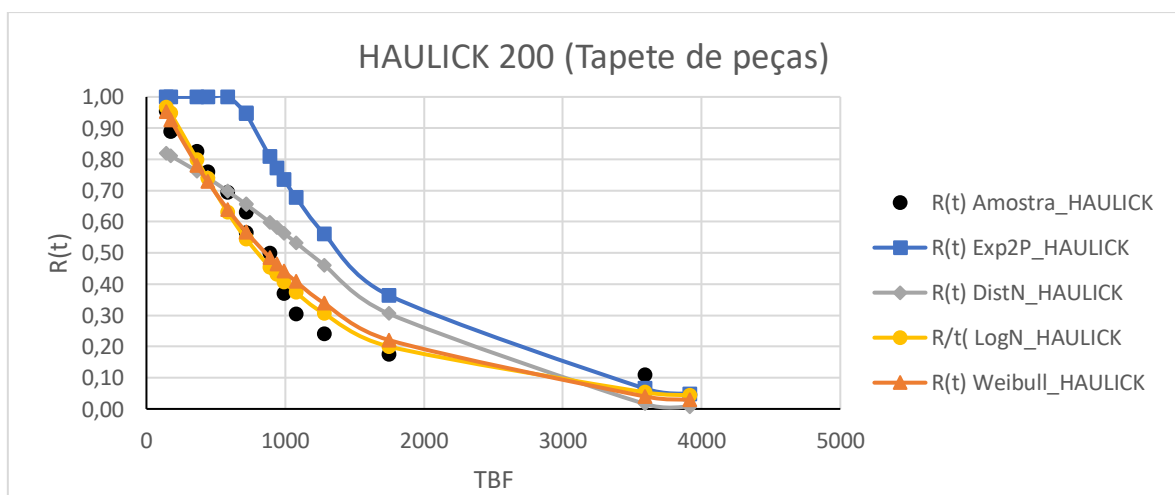


Figura 4.7. Gráfico dos vários modelos de fiabilidade (HAULICK 200).

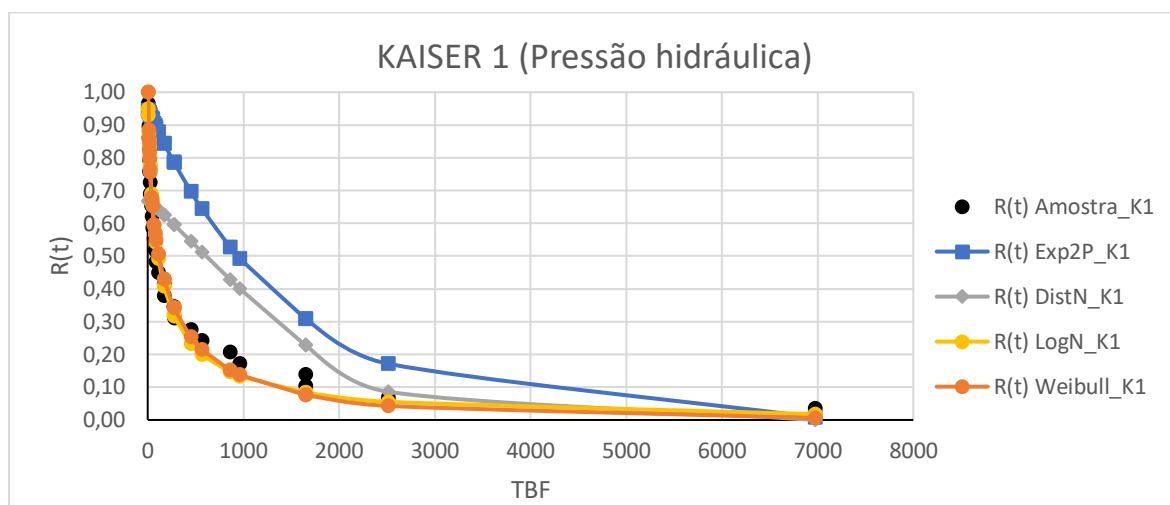


Figura 4.8. Gráfico dos vários modelos de fiabilidade (KAISER 1).

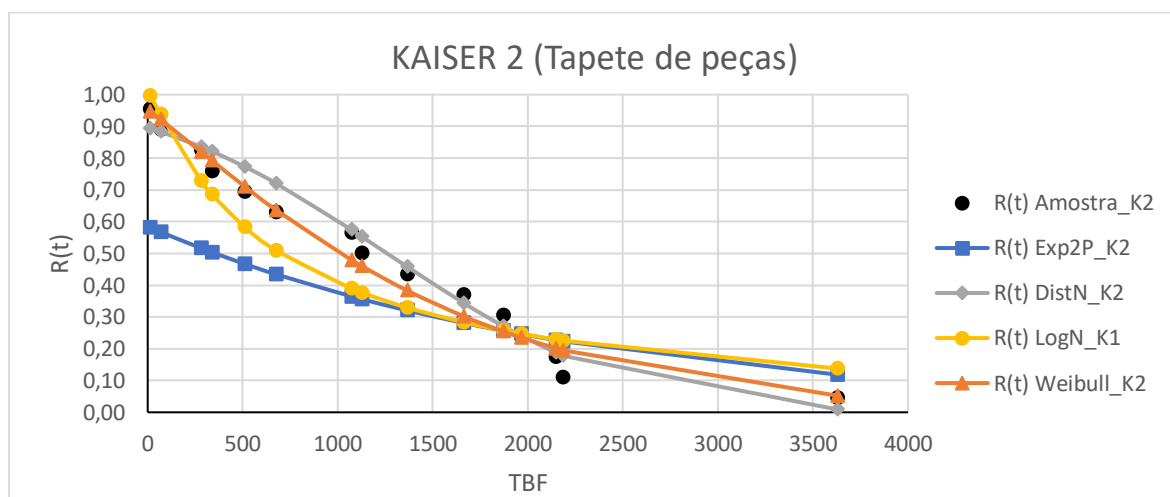


Figura 4.9. Gráfico dos vários modelos de fiabilidade (KAISER 2).

Da análise dos gráficos observa-se que os modelos LogNormal e Weibull são os que mais se aproximam da amostra obtida pelos valores de TBF, oferecendo assim uma melhor estimativa para a próxima avaria. Verifica-se para as prensas HAULICK e KAISER 2, valores de TBF mais altos em relação aos outros dois, o que indica uma fiabilidade mais elevada. Também é possível observar que os componentes das duas prensas mencionadas contam menos avarias no período analisado, pois apresentam 15 valores de TBF contra 34 e 28 para a Minster PM2-125 e KAISER 1, respetivamente.

Relativamente aos cálculos efetuados é de salientar que o modelo Exponencial 2 Parâmetros e o de Weibull, uma vez que possuem o parâmetro γ na sua constituição, o seu valor foi selecionado de modo a reduzir ao máximo o erro associado para ajustar da melhor maneira possível estes modelos. Para isso, recorreu-se ao erro quadrático médio relativo às

fiabilidades calculadas. No caso do estudo de Weibull associado ao problema de pressão hidráulica (KAISER 1), observou-se que o valor resultante do logaritmo associado à diferença entre γ e os dois primeiros valores de TBF (4,10 e 5,75) ao dar negativo, resultava num valor de fiabilidade indefinido. Este efeito exprime que o ajustamento provocado pelo parâmetro γ indica que a probabilidade de surgimento de uma falha só poderia surgir após o segundo TBF, o que significa que o valor de fiabilidade associado a estes dois valores seja igual a 1 (APÊNDICE G). Assim foi possível concluir a Tabela 4.3 onde se apresentam os resultados obtidos para as quatro avarias estudadas, bem como o erro e previsão associado a cada modelo.

Tabela 4.3. Erros e tempos estimados para as avarias estudadas, considerando uma fiabilidade de 80%.

Prensa/Avaria	Modelo de fiabilidade	Erro R(t) [%]	Tempo [h]
PM2-125 (Tapete de peças)	Exponencial 2 Parâmetros	30,82	326
	Distribuição Normal	15,40	-180
	Lognormal	3,20	43
	Weibull	3,12	38
HAULICK (Tapete de peças)	Exponencial 2P	26,67	900
	Distribuição Normal	12,50	219
	Lognormal	4,69	363
	Weibull	5,47	337
KAISER 1 (Pressão hidráulica)	Exponencial 2 Parâmetros	29,99	248
	Distribuição Normal	18,16	-561
	Lognormal	4,22	20
	Weibull	4,20	18
KAISER 2 (Tapete de peças)	Exponencial 2 Parâmetros	19,98	-713
	Distribuição Normal	4,72	418
	Lognormal	9,57	197
	Weibull	4,40	322

Os resultados apresentados foram calculados para uma fiabilidade de 80%, sendo que o modelo que melhor se adapta ao histórico fornecido é o modelo de Weibull, exceto no caso do tapete da prensa HAULICK onde é o modelo LogNormal que fornece uma estimativa mais certa, por ser o único que apresenta uma margem de erro inferior a 5%.

Os tempos resultantes deste estudo caracterizam-se por serem valores absurdos, sobretudo para o caso das prensas PM2-125 e KAISER 1, visto que para a fiabilidade considerada, os componentes não duram mais do que dois dias de trabalho. Já em relação às prensas HAULICK e KAISER 2 o resultado é um pouco mais razoável. Quanto aos MTBF

estes correspondem a 526 horas, 1170 horas e 1260 horas para os tapetes das prensas PM2-125, HAULICK e KAISER 2, respetivamente. O problema de pressão associado à prensa KAISER 1, apresenta um valor de MTBF igual a 610 horas.

A obtenção destes resultados é explicada pelo facto do estudo efetuado apresentar valores de TBF extremamente baixos e o histórico analisado estar relacionado a uma falha extrínseca, isto é, a um fenómeno que provoca a avaria e não a uma falha. Por outras palavras, a avaria está relacionada com um erro de projeto e não a uma degradação de um componente em específico.

Este estudo para além de confirmar o facto dos componentes analisados apresentarem uma baixa fiabilidade exprime a importância de analisar seriamente o desenvolvimento de melhorias para combater estes valores contraproducentes.

4.6. Indústria 4.0 na SRAMPORT

A fábrica da SRAMPORT é caracterizada por já ter implementado algumas ferramentas emergentes da Indústria 4.0. A prova disso são os monitores presentes na fábrica e nos escritórios onde estão apresentados em tempo real dados como o desempenho das várias linhas de montagem e das prensas que constituem a empresa. Qualquer colaborador tem acesso direto a estes valores que são obtidos com a recolha dos dados efetuada pelos autómatos que estão incorporados nos equipamentos, sendo armazenados numa base de dados para posterior apresentação, induzido pela tecnologia *cloud*.

Relativamente ao indicador OEE, os seus dados são enviados diretamente para uma base de dados, onde os operadores inserem dados adicionais para completar o cálculo efetuado. A leitura dos resultados pode ser feita escolhendo um dia qualquer que representa 24 horas de trabalho, ou considerando os 5 dias anteriores ao escolhido, de modo a ser possível efetuar uma análise num período de tempo maior.

A Indústria 4.0 também foi explorada em termos de dados mais técnicos associados aos equipamentos propriamente ditos, como é o caso da prensa KAISER 2, onde existe um sensor instalado para análise de vibrações, de modo a monitorizar este parâmetro ao longo do tempo. Esta análise permite detetar anomalias que desencadeiam vibrações anormais, indicando um funcionamento diferente do habitual na máquina. No entanto, atualmente esta tecnologia não se encontra em funcionamento.

Outro exemplo interessante, é o caso da prensa HAULICK, onde vários parâmetros são recolhidos, como apresentado na Figura 4.10. É o caso da leitura da temperatura em pontos críticos do equipamento. Esta análise, caracteriza-se por ser uma tarefa relativamente comum pelo facto de se recorrer a um simples sensor de temperatura. Quando é ultrapassado o valor típico da temperatura de serviço da máquina que geralmente é conhecido, pode significar a presença do surgimento de uma anomalia. A força fornecida pela tonelagem da prensa, é mais um dado relevante, pois está diretamente relacionada com o material obtido, pelo que o seu acompanhamento é importante para controlar o correto funcionamento do equipamento. Por fim, um último parâmetro notável, corresponde o número de reposições de pressão da máquina, uma vez que está associado ao circuito hidráulico da prensa. A deteção de anomalias com esta contagem é possível, quando é observada um número de reposições elevado num determinado período de tempo, por exemplo.

O objetivo desta tecnologia é então o registo em tempo real dos valores recolhidos pelos sensores instalados de modo a estudar o comportamento do equipamento e criar assim um histórico de dados. Com o conhecimento dos valores típicos associados ao bom funcionamento da máquina seria possível estimar a vida útil dos componentes analisados, de modo a gerir melhor as intervenções da manutenção com as prioridades da produção.

Assim, pode-se concluir que a evolução da manutenção condicionada é dirigida pela integração destas novas tecnologias que encaminham este tipo de intervenções para a chamada manutenção preditiva. A previsão das avarias e o facto das medições poderem ser controladas automaticamente, permitem o aumento da disponibilidade e da redução dos custos associados às falhas dos equipamentos.

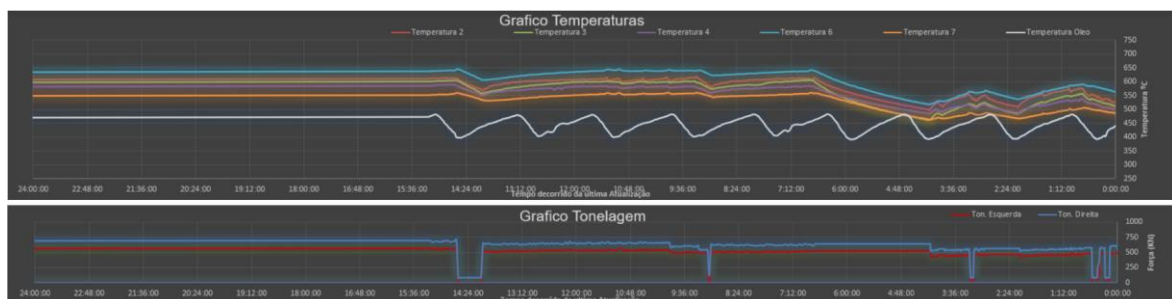


Figura 4.10. Exemplos dos gráficos de medição da temperatura e da tonelagem na SRAMPOR.

5. PROPOSTAS DE MELHORIA

Neste subcapítulo estão expostas as propostas que visam a otimização de métodos de trabalho, bem como as sugestões de melhoria de equipamentos presentes na fábrica da SRAMPORT. Estas propostas surgiram após a análise e observação das tarefas efetuadas durante o estágio

5.1. Disponibilidade das Prensas da SRAMPORT

O facto da prensa KAISER 2 ser um equipamento mais recente e com paragens menos frequentes faz com que o trabalho nela efetuado seja bastante eficiente. Exemplo disso são os controlos de qualidade que são realizados enquanto a prensa está em produção, e durante a hora de almoço a máquina continua a trabalhar contribuindo para o aumento da sua produtividade.

Depois da análise do resultado obtido pelo OEE apresentado no subcapítulo 4.3, conclui-se que o parâmetro que causa a diminuição do seu valor é a sua Disponibilidade. Foi então construído o gráfico da Figura 5.1, de modo a comparar os tempos das tarefas realizadas durante os períodos de não produção com o tempo de produção. Estes tempos de paragens foram classificados consoante o tipo de tarefa realizada, isto é, abastecimento da matéria-prima, intervenções na prensa PM3, problemas nas várias ferramentas da prensa e tempos de espera.

Percentagem das Paragens com a Produção - KAISER 2

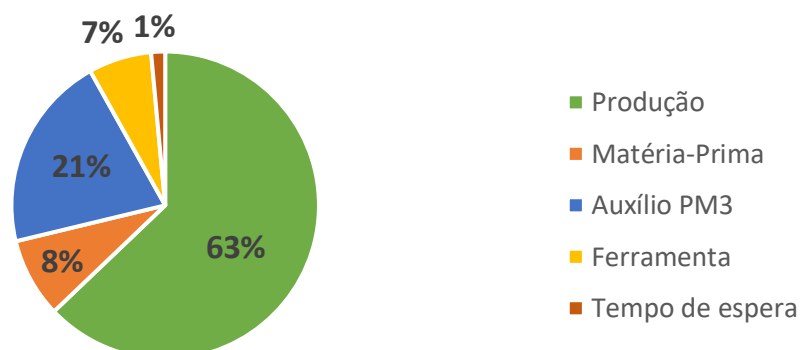


Figura 5.1. Percentagens das várias paragens com a produção – KAISER 2.

Dos 37% que constituem o período de não produção destaca-se o tempo de serviço do operador na prensa PM3, o qual representa cerca de 57% do tempo de paragem. Este resultado deve-se pelo facto do operador ter de garantir o trabalho de duas prensas ao mesmo tempo. Consultando o APÊNDICE B verifica-se um tempo total de paragens da prensa de cerca de 105,3 minutos (valor bastante significativo), derivado da intervenção por parte do operador na prensa PM3.

Uma proposta de melhoria, seria as prensas KAISER 2 e PM3 disporem dos seus próprios operadores no dia de se efetuar a manutenção preventiva do módulo de uma das prensas, ao invés de ser uma única pessoa a efetuar o trabalho com estes dois equipamentos ao mesmo tempo. Esta solução, para além de aumentar significativamente o OEE da máquina, tornaria o ambiente de trabalho muito mais saudável para os operadores, uma vez que passariam a ter menos uma responsabilidade de trabalho. Assim, excluindo os tempos associados no auxílio das tarefas da prensa PM3 seria possível reduzir o tempo das paragens da prensa analisada para 84 minutos, pelo que resultaria num índice OEE de 82,72%.

Relativamente à prensa PM3, o primeiro dia de análise constitui um valor extremamente baixo, devido ao facto da prensa ter estado parada cerca de 5 horas. Apesar desse dia não ser o melhor exemplo para analisar, não deixa de apresentar uma realidade de trabalho e de ajudar neste estudo. Baseando-se no segundo dia é verificado uma Disponibilidade bastante baixa, causada essencialmente pelo tempo levado pela serralharia no restauro do módulo 1 e pelo tempo necessário na troca de ferramenta, como apresentado na Figura 5.2.

Percentagem das Paragens com a Produção - PM3

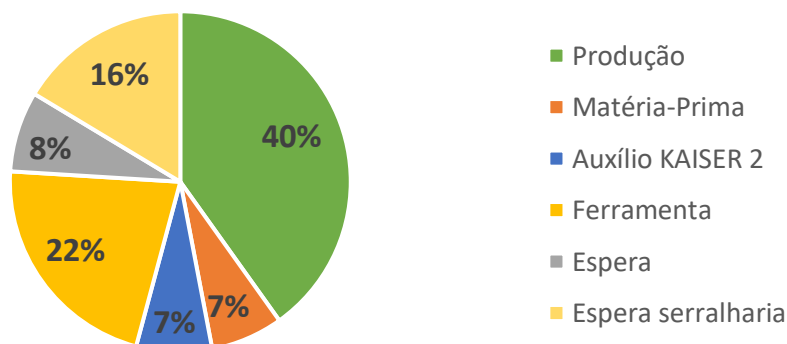


Figura 5.2. Percentagens das várias paragens com a produção – PM3 (segundo dia).

Com o APÊNDICE C, rapidamente se pode concluir que a aquisição de um módulo 1 suplente para a prensa PM3 é indispensável neste posto de trabalho, uma vez que este equipamento apresentou várias paragens causadas pela falha da ferramenta mencionada. Este investimento permitiria reduzir o tempo de espera de cerca de 83,5 minutos, resultando num OEE de 55,48%, como apresentado pela Figura 5.3. Por outras palavras, fisicamente a produção teria um ganho de 198 880 placas fabricadas no segundo dia analisado.

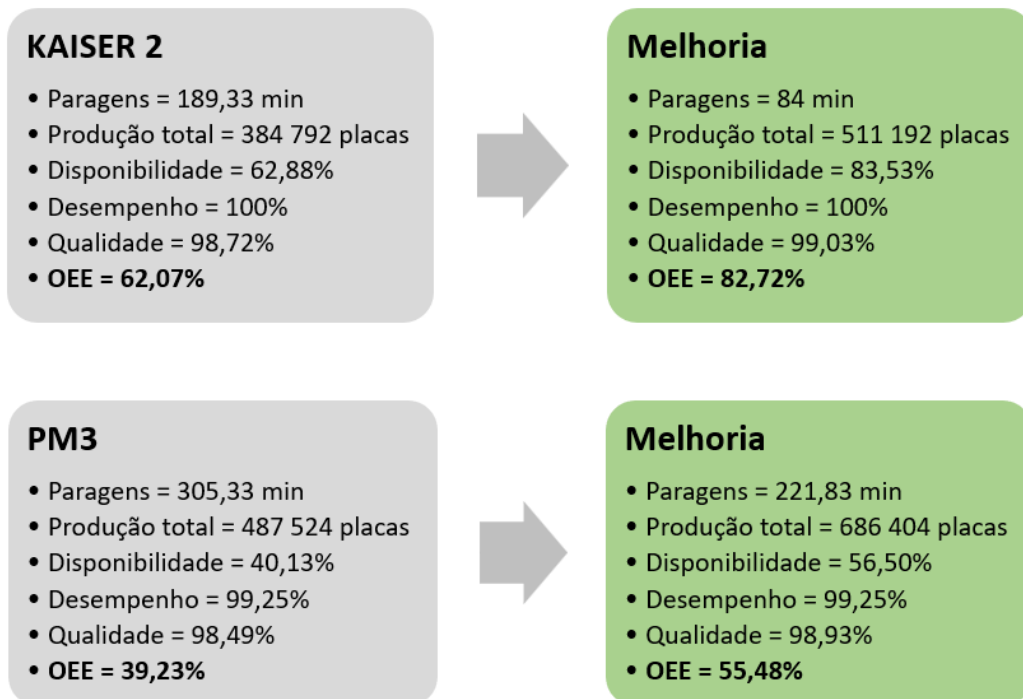


Figura 5.3. Comparação das melhorias apresentadas para as prensas KAISER 2 e PM3.

5.2. Propostas de KPI

Durante o estágio, tal como apresentado no subcapítulo 4.4 foram aplicados vários KPI relativos ao número de pedidos, tempos de intervenções, custos, etc. que permitem fazer um estudo sobre as atividades da manutenção, mas também fazer uma comparação com os objetivos implementados.

Contudo, foi observado que não haviam indicadores associados às unidades autónomas que constituem a empresa. É então aqui apresentada a sugestão do desenvolvimento de KPI relativos às unidades das peças soltas, montagem, pedais, rodas mais cubos e outros serviços, para compreender como se divide a manutenção perante estes setores que tanto caracterizam a fábrica da SRAMPORT.

Este estudo começa então por distribuir os vários TTR pelos setores da empresa, para determinar onde os técnicos da manutenção concedem mais o seu tempo de trabalho:

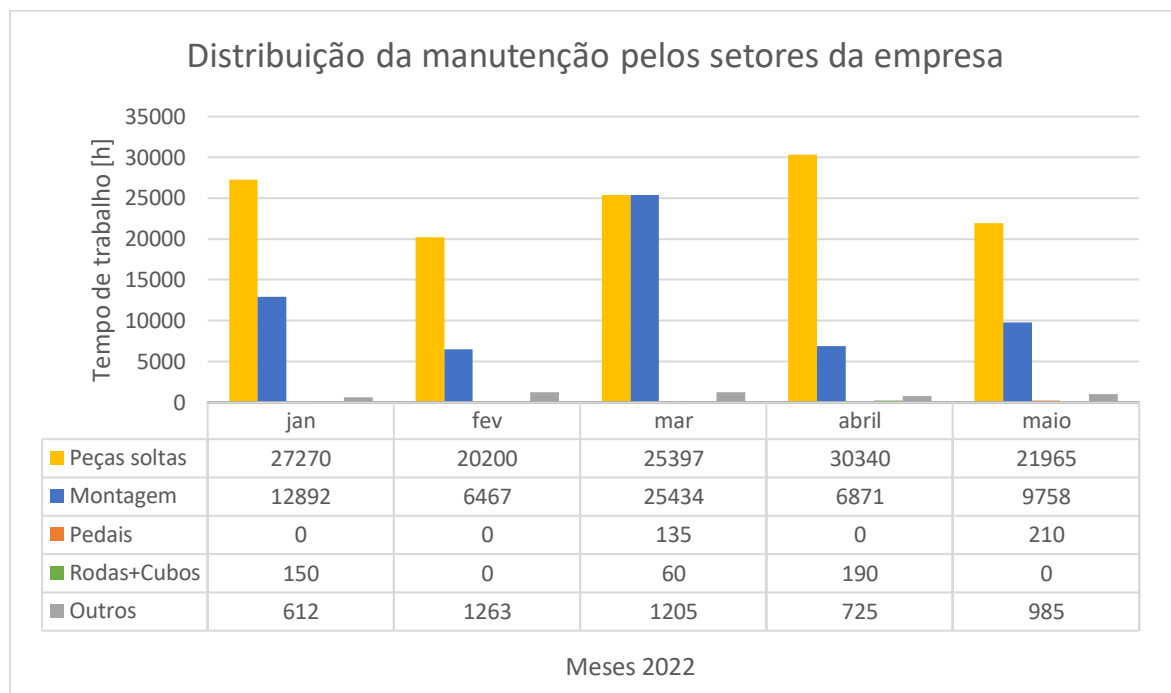


Figura 5.4. Aplicação da proposta de um novo KPI associado aos pedidos de manutenção.

Pela análise da Figura 5.4., constata-se que em média o tempo dedicado pela equipa de manutenção está claramente no setor correspondente à unidade das peças soltas, cuja percentagem representa cerca de 67 %, para os meses estudados. A montagem é a segunda unidade que se destaca com 30%, sendo que as restantes apresentam tempos residuais de intervenção.

Com o desenvolvimento deste KPI torna-se possível acompanhar quais os setores que requerem mais tempo de intervenção por parte da equipa técnica de manutenção, o que traz uma valia no sentido de observar a distribuição dos técnicos pela fábrica. Este indicador, também pode ser interessante numa perspetiva de especializar os técnicos da manutenção por setores, visto que os equipamentos que constituem as peças soltas e a unidade da montagem, por exemplo, serem completamente diferentes. Atualmente esta possibilidade pode não ser uma prioridade, pelo facto do número de pessoas que constitui esta equipa não ser elevado, mas com a expansão da fábrica poderá ser uma hipótese a desenvolver. Este estudo poderá ser alargado, associando os pedidos de intervenção solicitados de modo a definir quais os setores que requerem mais deslocações por parte da equipa técnica, podendo ser incluídos também os tipos de intervenções realizados.

5.3. Melhorias na Fiabilidade

Para ser possível propor uma solução para a resolução de um problema é fundamental conseguir entender a origem da sua causa. No caso dos tapetes de saída das peças das prensas o fenómeno que desencadeia a avaria deste componente é provocado por várias maneiras, sendo que o observado neste estágio foram placas que se inseriam por baixo da tela do tapete.

Tal como apresentado na Figura 5.5, analisou-se que algumas das placas fabricadas se agarravam à parede da calha que as impedia de caírem para o chão. Este fenómeno deve-se pelo facto dessa superfície ser lisa e das placas estarem cheias de óleo proveniente do processo de estampagem, possibilitando a inserção das placas para debaixo da tela originada pela existência de uma folga entre a própria tela e a parede da calha que nem sempre era constante. Esta folga, apesar de ser a mais pequena possível e já controlada pela empresa (valor não superior a 0,7 mm), não pode ser eliminada, uma vez que surge para não existir atrito entre estes dois componentes, deixando o tapete rodar livremente.



Figura 5.5. Fenómeno das placas que causam avaria no tapete de saída das peças.

Idealmente o valor da folga referida está calculado para ser o mínimo possível com o objetivo de não dar a possibilidade de acontecer o fenómeno mencionado, contudo a medida do tapete nem sempre é perfeita em todo o seu comprimento, podendo também sofrer um ligeiro desgaste ao longo do tempo, resultando num valor de folga irregular. Por muito que seja reduzida, é praticamente impossível atingir o equilíbrio ideal entre as medidas da tela e da calha, visto que são componentes que requerem alguns ajustamentos entre si e existirá sempre uma ligeira margem de erro em relação à largura da tela, por parte do seu fabricante. Na Figura 5.6 é apresentado o conjunto do tapete de peças para visualizar o mecanismo:

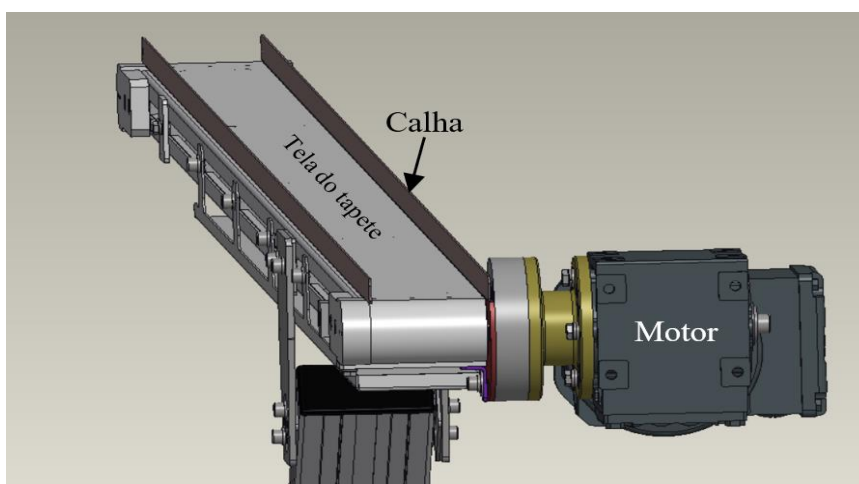


Figura 5.6. Modelo 3D do tapete e seus componentes.

A resolução para esta falha talvez passe por analisar o problema noutra perspetiva. Em vez de intervir diretamente na tela do tapete, a solução poderia estar na alteração da geometria da calha ou até mesmo no seu acabamento superficial. Aumentar a espessura da calha de modo a cobrir ligeiramente a borda da tela do tapete seria um primeiro passo para impedir a acessibilidade das placas para debaixo deste, uma vez que a folga referida deixaria de estar diretamente acessível. Para isso seria necessário fabricar um perfil em U invertido como apresentado na Figura 5.7, em que o seu rasgo central corresponderia à espessura da calha existente (2 mm) para se obter uma acomodação perfeita entre estes dois componentes. A sua altura interior deve ser inferior à da calha para não raspar na tela do tapete e a sua espessura deve ser maior do que a folga referida, pelo que se considerou 4 mm de modo a cobrir ligeiramente a tela, garantindo uma margem de segurança. Assim, com estas condições, consideraram-se as seguintes medidas para o perfil proposto, como ilustrado na Figura 5.7 e colocado como apresentado na Figura 5.8:

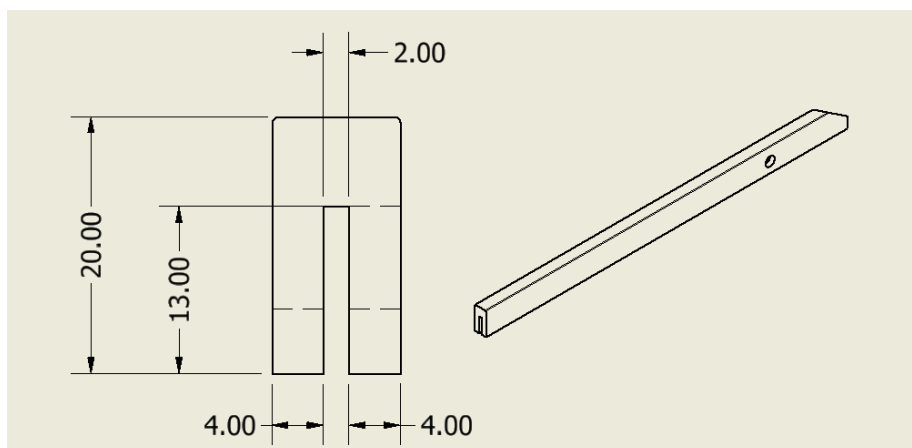


Figura 5.7. Esboço do perfil em U sugerido em mm (não está à escala).

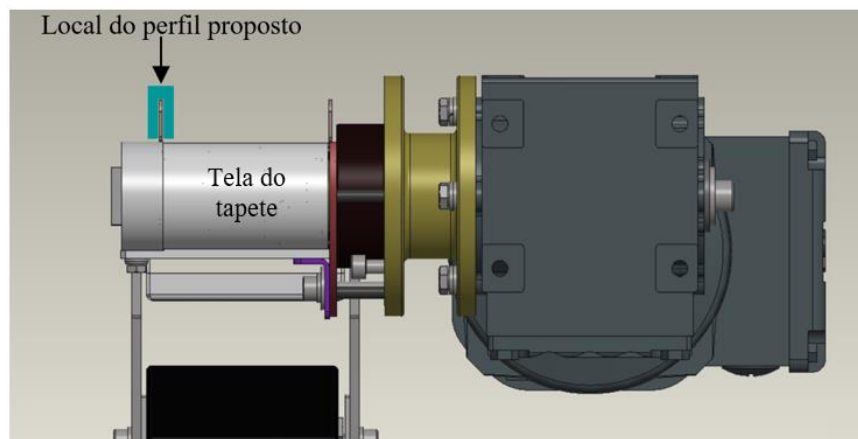


Figura 5.8. Local do componente proposto para o tapete de peças, num só lado (vista frontal).

Relativamente ao seu comprimento, este não necessita de uma medida propriamente definida, uma vez que o fenómeno é originado no início do tapete. Quanto à sua colocação, esta seria feita com parafusos e respetivas porcas para garantir o seu posicionamento e fixação. Em relação ao acabamento superficial, este pode ser também um fator a ter em conta para tornar esta solução ainda mais eficaz. Para esse efeito seria necessário efetuar um estudo mais aprofundado, analisando o comportamento associado a diferentes rugosidades.

Com esta melhoria implementada, é de esperar um aumento do valor do MTBF dos vários componentes analisados, o que significa uma redução das intervenções da equipa da manutenção para um mesmo intervalo de tempo, bem como a redução dos custos de intervenção e dos pedidos de materiais de substituição. Contudo, a implementação desta solução deve ser aplicada inicialmente numa só prensa para ser estudada a sua eficiência e posteriormente, no caso de se verificar a sua aprovação, desenvolve-la para os restantes equipamentos.

Relativamente ao problema hidráulico, a primeira avaria observada foi no mês de Março de 2019 durante a manutenção preventiva realizada pelo técnico da KAISER, contratado pela empresa. Após a sua análise foi sugerido substituir alguns componentes associados a este circuito hidráulico. Contudo, o problema não foi resolvido, até ao período a que o presente trabalho se dedicou.

Durante a realização do estágio, não foi possível analisar o fenómeno associado à sua causa, simplesmente confirma-se a baixa fiabilidade deste componente e o facto de, mais uma vez, ser um problema de projeto. O fornecedor, ao analisar novamente a falha, detetou que a temperatura de funcionamento normal era ultrapassada (atingindo cerca de 85 graus). Este facto danificava os vedantes e outros componentes do sistema, ultrapassando a

resistência máxima suportada por estes. Para entender este aumento de temperatura, é importante referir que todos os componentes do equipamento são alimentados pelo mesmo circuito, o que explica que o óleo, ao estar constantemente solicitado, não tinha tempo de arrefecer no seu reservatório. O fornecedor ficou de criar um circuito independente para o alimentador da prensa por ser o maior consumidor de óleo para o seu funcionamento, o qual é responsável por puxar a fita de aço que dá origem às placas da corrente. Esta solução, em teoria, permite ao óleo ficar mais tempo no seu reservatório para baixar em temperatura, permitindo ao circuito funcionar corretamente. Resta implementar esta nova solução e verificar que o problema fique resolvido.

5.4. Desenvolvimento da Indústria 4.0 na SRAMPORT

Apesar da SRAMPORT ter implementado algumas tecnologias associadas à Indústria 4.0, observou-se que existem alguns tópicos que se encontram ainda por desenvolver, cuja explicação deve-se ao facto de a expansão investida da fábrica ser a prioridade atual.

Durante este estágio, ao efetuar a distribuição e recolha das folhas relativas às tarefas da manutenção autónoma, verificou-se um tempo significativo associado à realização deste trabalho, visto que é necessário percorrer toda a fábrica para a entrega destas folhas. Esta simples ação acarreta assim deslocações desnecessárias, que poderiam ser totalmente eliminadas pelo simples facto destas tarefas poderem ser enviadas automaticamente por um CPS. Semanalmente seria enviado um lembrete para os colaboradores serem notificados relativamente às tarefas a serem efetuadas e após a sua conclusão, seria possível selecionar as que foram realizadas com sucesso. Esta abordagem simplificaria muito este processo e iria disponibilizar mais tempo de trabalho.

Outra observação efetuada neste estágio, foi o facto dos parâmetros que estavam a ser analisados pelos sensores incorporados, servirem apenas para recolha de dados. Sugere-se então a criação de níveis de alarme associados às medições efetuadas nos equipamentos, visto que esta tecnologia se torna muito mais interessante e viável aplicando esses limites. A ideia consiste em associar aos sensores que medem em tempo real um determinado parâmetro, valores de referência que estão relacionados ao estado do equipamento. Esta notificação também poderia ser desenvolvida no sentido de tomar decisões, consoante os valores recolhidos, ou seja, ao atingir um certo valor, desencadeia-se uma decisão pré-estabelecida.

A análise de vibrações mecânicas seria o melhor caso a desenvolver, uma vez que as máquinas rotativas, como é o caso das prensas de estampagem, ao estarem submetidas a forças e vibrações periódicas, torna possível a detecção de anomalias e sobretudo permite detetar a causa do problema surgido. Contudo, não deixa de ser uma análise complexa, derivado a vários parâmetros que interferem neste comportamento, como os tipos de lubrificantes usados e a rigidez dos materiais, por exemplo. O ideal seria implementar esta análise diretamente em alguns órgãos constituintes do equipamento como é o caso dos rolamentos e de alguns motores de acionamento. Esta análise, de um modo simplista, passa pela recolha dos dados medidos através de um acelerómetro, gerando um sinal de vibrações, onde seguidamente é aplicada uma auto correlação com um analisador para filtrar o resultado medido. Uma vez essa tarefa realizada se é observada a presença de picos periódicos nesse sinal, pode-se concluir a presença de um defeito. Assim através deste diagnóstico podem ser detetados defeitos como a degradação dos rolamentos, estado dos apoios, transmissões defeituosas, etc.

A implementação deste sistema deverá ter em consideração alguns aspetos como o local de medição, dado que a interferência entre as vibrações de origens diferentes podem complicar o estudo efetuado, a montagem do sensor, uma vez que o modo de fixação pode influenciar a recolha dos dados e também as gamas de temperatura a que este pode funcionar, por exemplo.

Esta solução permite tornar o equipamento mais autónomo, dando mais tempo à gestão da manutenção em planear as suas intervenções. De realçar que a estimativa desses valores de alarme pode ser obtida através da documentação do fabricante da observação do histórico do equipamento nas condições normais de funcionamento ou recorrendo a normas que classificam os equipamentos consoante as suas características e que servem para a maioria das aplicações.

Em jeito de conclusão a Indústria 4.0 ao ser uma área muito vasta, pode gerar muitas propostas de melhoria e sugestões de novas ideias como a robotização da fábrica e a introdução da inteligência artificial na tomada de decisões autónomas. Contudo, o aspeto financeiro deve ser bem estudado para garantir o seu retorno económico, mas também o facto desta tecnologia ao se tornar cada vez mais autónoma, requer uma atenção mais cuidada, para não surgir um descontrolo demasiado importante na unidade industrial em questão.

6. CONCLUSÕES

A realização desta dissertação de mestrado permitiu aprofundar os conhecimentos adquiridos na área da manutenção industrial, bem como aplicar várias ferramentas que sustentam esta área da engenharia. Foi também uma experiência enriquecedora, especialmente a nível da integração no mundo industrial.

A análise de desempenho efetuada nas prensas de estampagem através do indicador OEE, ajudou bastante nesse processo e tornou possível a observação de alguns problemas que comprometiam a produção. O melhoramento contínuo, é uma ferramenta que não foi aqui aprofundada, mas que sem dúvida alguma apoia o OEE na procura de melhorias associadas à disponibilidade deste parâmetro, uma vez que traz uma abordagem mais detalhada.

No que diz respeito à análise da fiabilidade dos equipamentos, concluiu-se que os tapetes de peças das prensas apresentavam um problema importante de fiabilidade, pelo que se sugere à empresa tornar como prioridade a aplicação das melhorias neste componente.

Relativamente ao desempenho das atividades da manutenção na SRAMPORT, apesar deste ser elevado, conclui-se que conciliar manutenção preventiva com produção não é uma tarefa fácil, sobretudo quando uma fábrica se encontra em grande mudança para conseguir responder às exigências do mercado mundial. Uma vez este processo estabilizado será essencial organizar e atualizar detalhadamente a documentação dos novos equipamentos. O mesmo acontece para as máquinas que já estão presentes, uma vez que com este acontecimento não tem sido uma prioridade. Debruçar-se sobre este assunto requer bastante tempo e esforço no envolvimento de várias pessoas especializadas.

Quanto à Indústria 4.0 verificou-se um grande interesse por parte da empresa na introdução desta tecnologia nos equipamentos que constituem a sua linha de produção. Contudo, encontra-se ainda por desenvolver, uma vez que a fábrica da SRAM está em grande expansão. No futuro, será importante desenvolver esta ferramenta que está cada vez mais presente no mundo industrial para ajudar no alcance dos objetivos pretendidos a que a TPM se dedica. A previsão de uma falha com esta tecnologia permite reduzir fortemente os custos desencadeados pelas avarias.

A TPM, ao ser uma filosofia que se baseia na maioria dos aspetos que constituem um insucesso para a produção, requer bastante tempo para ser implementada e sobretudo dedicação e disciplina por parte de todos os colaboradores presentes na empresa. O facto das ferramentas que a sustentam serem em grande parte aplicadas ou pelo menos introduzidas pela SRAMPORT, ajuda a entender o facto desta empresa conseguir evoluir no bom sentido e vem confirmar a importância da implementação eficaz desta filosofia de trabalho. A utilização do indicador OEE, representa um exemplo disso, uma vez que se encontra bastante desenvolvido nos equipamentos da fábrica.

Após a realização deste estágio surgem propostas para trabalhos futuros, tal como avaliar as melhorias sugeridas nesta dissertação de mestrado ou analisar outros equipamentos que constituem a linha de produção da SRAMPORT.

Apesar da duração do estágio ter sido curta, conclui-se que a manutenção constitui um pilar importante no mundo industrial, pois apesar de ser muitas vezes subestimado é sem dúvida alguma um dos fatores que permite fazer a diferença no alcance da perfeição industrial.

Por fim, o trabalho aqui desenvolvido deixou uma visão otimista do resultado obtido, visto que as várias análises efetuadas permitiram apresentar sugestões de melhoria, concluindo que o objetivo deste trabalho foi alcançado com sucesso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] “About | SRAM.” <https://www.sram.com/en/company/about>
- [2] “Eagle | SRAM.” <https://www.sram.com/en/sram/mountain/collections/eagle>
- [3] “OCM ROLLER CHAIN MANUFACTURING PROCESS.” https://www.ocm.co.jp/en/ct_products/ocm-roller-chain-manufacturing-process/
- [4] M. Otani and W. V. Machado, “a Proposta De Desenvolvimento De Gestão Da Manutenção Industrial Na Busca Da Excelência Ou Classe Mundial,” *Rev. Gestão Ind.*, vol. 4, no. 2, pp. 1–16, 2008, doi: 10.3895/s1808-04482008000200001.
- [5] Eunika Mercier-Laurent, “Intelligence artificielle 4.0 pour l’Industrie 4.0,” *Bull. 1024*, no. 15, pp. 127–137, 2020, doi: 10.48556/sif.1024.15.127.
- [6] “Norma - NP EN 13306, 2007.” 2007.
- [7] J. Nobre, “Documentação de Apoio à Unidade Curricular de ‘Manutenção Industrial’ - Capítulo 1.” 2021.
- [8] Coelho. J., “Implementação da Total Productive Maintenance (TPM) numa Empresa de Produção,” Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2008. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10400.21/321>
- [9] S. Nakajima, *Introduction to TPM (Total Productive Maintenance)*.
- [10] I. P. S. Ahuja and J. S. Khamba, “Total productive maintenance: Literature review and directions,” *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, vol. 25, no. 7, pp. 709–756, 2008, doi: 10.1108/02656710810890890.
- [11] J. Bufferne, *Le guide de la TPM Total Productive Maintenance*. 2006.
- [12] S. A. Albliwi, J. Antony, N. Arshed, and A. Ghadge, “International Journal of Quality & Reliability Management,” *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, vol. 34, no. 4, pp. 508–529, 2017.
- [13] K. Kelindos, “Good characteristic of key performance indicator,” no. June, pp. 0–3, 2020.
- [14] P. Muchiri, L. Pintelon, L. Gelders, and H. Martin, “Development of maintenance function performance measurement framework and indicators,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 131, no. 1, pp. 295–302, 2011, doi: 10.1016/j.ijpe.2010.04.039.
- [15] R. Assis, *Apoio à Decisão em Manutenção na Gestão de Ativos Físicos*, 2^a Edição. 2014.
- [16] “ULMA Packaging has developed the OEE Booster: a set of tools for optimising equipment effectiveness — ULMA Packaging.” <https://www.ulmapackaging.com/en/news/ulma-packaging-has-developed->

- the-oee-booster-a-set-of-tools-for-optimising-equipment-effectiveness
- [17] J. Nobre, “Documentação de Apoio à Unidade Curricular de ‘Manutenção Industrial’ - Capítulo 3.” 2021.
- [18] “Fiabilité, maintenance prédictive et vibration des machines - Marc Thomas - Google Livres.”
https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=zb_8V_EvbwAC&oi=fnd&pg=PP1&dq=maintenance+fiabilité&ots=vhynTw8dAj&sig=NaNzaNzmrg10oVVNUMC497sNNP8#v=onepage&q&f=false
- [19] P. A. Bellaouar, “Fiabilite Maintenabilite Disponibilite,” pp. 1–106, 2014.
- [20] T. Zonta, C. A. da Costa, R. da Rosa Righi, M. J. de Lima, E. S. da Trindade, and G. P. Li, “Predictive maintenance in the Industry 4.0: A systematic literature review,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 150, no. October, p. 106889, 2020, doi: 10.1016/j.cie.2020.106889.
- [21] L. Silvestri, A. Forcina, V. Introna, A. Santolamazza, and V. Cesarotti, “Maintenance transformation through Industry 4.0 technologies: A systematic literature review,” *Comput. Ind.*, vol. 123, p. 103335, 2020, doi: 10.1016/j.compind.2020.103335.
- [22] V. Atamuradov, K. Medjaher, P. Dersin, B. Lamoureux, and N. Zerhouni, “Prognostics and health management for maintenance practitioners - review, implementation and tools evaluation,” *Int. J. Progn. Heal. Manag.*, vol. 8, no. Special Issue 7, 2017, doi: 10.36001/ijphm.2017.v8i3.2667.
- [23] D. José, A. Borlido, and A. Leitão, “Indústria 4.0-Aplicação a Sistemas de Manutenção”.
- [24] M. Almeida, “Documentação interna da SRAM - Gestão da Manutenção.” p. 4, 2022.

ANEXO A

SRAM

11.05.2022 Registo Manutenção N1-Semanal MALMEIDA Cópia 2 Página 1

Ordem	980980	Plano manutenção	311
1000124-Prensa Minster PM2/AFI			
Data Inicial	18.04.2022	Data Final	18.04.2022
Loc. instalação	0341/CRT/DPE	DPE	
Equipamento	1000124	"PRENSA "Minster PM2" - 125 ton. "	
Dossier	510	Localização	DPE
Chr. trab. resp.	AFI		

0010 Nivel 1 Semana 1

0010	INSP:Blindagens de protecção da prensa	_____
0020	INSP:Blindagens protecção	_____
0030	INSP:Botoes de premir	_____
0040	INSP:Botoneira de emergencia	_____
0060	INSP:Fugas d'oleo	_____
0070	INSP:Interruptores de seleccao	_____
0080	INSP:Linhas de lubrificacao da prensa	_____
0090	INSP:Nivel de oleo da caixa	_____
0100	INSP:Nivel de oleo unidade	_____
0110	INSP:Painel comando do endireitador	_____
0120	INSP:Pressão do sistema de lubrificacao	_____
0130	INSP:Regulacao equipam. alimentacao	_____
0140	INSP:Rolamento principal do desenrolador	_____
0150	INSP:Tapetes de saída das pecas	_____
0160	INSP:Tubagem hidraulica e pneumatica	_____
0170	INSP:Tubagens, fugas	_____
0180	INSP:Unidade de conservacao de ar	_____
0190	VERIF:Parafusos placa aux. mont/desm mód	_____

0020 Nivel 1 Semana 2

0010	INSP:Blindagens de protecção da prensa	_____
0020	INSP:Blindagens protecção	_____
0030	INSP:Botoes de premir	_____
0040	INSP:Botoneira de emergencia	_____
0060	INSP:Fugas d'oleo	_____
0070	INSP:Interruptores de seleccao	_____
0080	INSP:Linhas de lubrificacao da prensa	_____
0090	INSP:Nivel de oleo da caixa	_____
0100	INSP:Nivel de oleo unidade	_____
0110	INSP:Painel comando do endireitador	_____
0120	INSP:Pressão do sistema de lubrificacao	_____
0130	INSP:Regulacao equipam. alimentacao	_____
0140	INSP:Rolamento principal do desenrolador	_____
0150	INSP:Tapetes de saída das pecas	_____
0160	INSP:Tubagem hidraulica e pneumatica	_____
0170	INSP:Tubagens, fugas	_____
0180	INSP:Unidade de conservacao de ar	_____
0190	VERIF:Parafusos placa aux. mont/desm mód	_____

0030 Nivel 1 Semana 3

APÊNDICE A

Registo Manutenção N1 – Semanal, Kévin Oliveira

PRENSA Minster PM2 – 125 ton (1000124)

- LIMPEZA
 - Aspirar aparadeira da máquina
 - Portas de proteção da ferramenta
 - Cabeçote da prensa (ambos os lados)
 - Estrutura inferior (ambos os lados) **[15 dias]**
 - Cabine de insonorização (int / ext)
 - Painel de comandos
 - Tapete saída de peças (tela e estrutura)
 - Tapete de escumilha (abas laterais)
 - Chão envolvente à prensa
 - Suporte das caixas das peças
 - DESENROLADOR
 - ENDIREITADOR DE CHAPA
- INSPEÇÃO
 - Ruídos anormais
 - Fugas de óleo
 - Fugas de ar
 - Estado da tela do tapete saída de peças
 - Verif parafusos placa aux. mont/desm mód
 - DESENROLADOR
 - mecanismo de bloqueio (pedal)
- LUBRIFICAÇÃO
 - Ver nível óleo HIDRAULICO e LUBRIFICAÇÃO
 - Atestar se necessário (SHELL OMALA 150)
 - DESENROLADOR
 - Articulações do mandril (massa) **[mensal]**
 - **Pivot Central**

APÊNDICE B

SRAM.		Análise OEE		
Prensa:	KAISER 2	Prensa KAISER 2 Cadência = 300 golpes/min Placas por golpe = 4 Peso da placa = 0,688 gramas	Operador:	Alexandre Melo
Data:	23/03/2022		Kévin de Oliveira	
Peça:	500-42			

Hora	Tempo	Tarefa	on/off	Duração	Total
8:00:00	0:00:00	prensa parada (novo rolo de aço)	off	----	17min
08:00:00	00:00:00	mudança de turno	off	30s	
08:00:30	00:00:30	substituir depósito da escumilha	off	1min30s	
08:02:00	00:02:00	controlo da qualidade e registar no SAP	off	5min10s	
08:07:10	00:07:10	auxílio na prensa PM3	off	1min50s	
08:09:00	00:09:00	retirar o resto de fita de aço e introduzir fita nova de aço	off	2min	
08:11:00	00:11:00	colocar calços na prensa e avançar fita de aço	off	1min10s	
08:12:10	00:12:10	fazer teste e retirar calços da prensa	off	2min20s	
08:14:30	00:14:30	avançar fita de aço e fazer teste novamente	off	2min30s	
08:17:00	00:17:00	prensa a trabalhar (300 golpes/min)	on	----	2h14
08:18:20	00:18:20	controlo aspeto visual	on	1min	
09:42:00	01:42:00	alisar escumilha	on	30s	
09:44:00	01:44:00	controlo da qualidade e registar no SAP	on	12min	
10:31:00	02:31:00	prensa parou (erro no módulo 4)	off	----	17min
10:31:00	02:31:00	auxílio na prensa PM3	off	6min	
10:37:00	02:37:00	retirar fita de aço, verificar o seu estado, subir cabeçote	off	4min	
10:41:00	02:41:00	introduzir fita de aço e baixar cabeçote	off	2min	
10:43:00	02:43:00	ajustar fita de aço (continua a dar erro)	off	1min20s	
10:44:20	02:44:20	analisar detetores	off	1min30s	
10:45:50	02:45:50	ajustar fita de aço (erro resolvido)	off	2min10s	
10:48:00	02:48:00	prensa a trabalhar (300 golpes/min)	on	----	6 min
10:48:30	02:48:30	controlo aspeto visual	on	1min	
10:54:00	02:54:00	prensa parou (falta de aço no desenrolador)	off	----	33min30s
10:54:00	02:54:00	auxílio na prensa PM3 (erro)	off	17min30s	
11:11:30	03:11:30	controlo da qualidade e registo no SAP	off	7min30s	
11:19:00	03:19:00	preparar rolo de aço novo	off	2min	
11:21:00	03:21:00	retirar o resto de fita de aço e passar no endireitador	off	2min	
11:23:00	03:23:00	introduzir fita nova de aço	off	1min	
11:24:00	03:24:00	colocar calços na prensa e avançar fita de aço	off	1min30s	
11:25:30	03:25:30	fazer teste e retirar calços da prensa	off	2min	
11:27:30	03:27:30	prensa a trabalhar (300 golpes/min)	on	----	2h21min
11:27:30	03:27:30	controlar aspeto visual	on	1min	
11:30:00	03:30:00	alisar escumilha	on	30s	
11:32:30	03:32:30	colocar novo rolo de aço no desenrolador	on	6min	
11:59:30	03:59:30	controlo de qualidade e registo no SAP	on	5min30s	

12:05:00	04:05:00	substituir depósito da escumilha	on	2min	
12:30:30	04:30:30	Almoço (12:30:30 - 13:00:30)	on	30min	
13:07:00	05:07:00	controlo da qualidade e registo no SAP	on	16min	
13:35:00	05:35:00	alisar escumilha	on	30s	
13:48:30	05:48:30	prensa parou (falta de aço no desenrolador)	off	----	1h57min
13:48:30	05:48:30	retirar o resto de fita de aço e preparar rolo de aço novo	off	3min	
13:51:30	05:51:30	passar no endireitador	off	1min	
13:52:30	05:52:30	aproveitar a paragem para realizar o pedido de manutenção preventiva no módulo 3 da prensa	off	----	
13:52:30	05:52:30	espera (ativação do circuito pneumático)	off	7min30s	
14:00:00	06:00:00	auxílio na prensa PM3 (com problema)	off	1h20min	
15:20:00	07:20:00	substituir módulo3 (desapertar parafusos, buscar carrinho, retirar módulo, buscar novo módulo à serralharia, colocar novo módulo, apertar parafusos)	off	18min	
15:38:00	07:38:00	introduzir fita nova de aço	off	1min	
15:39:00	07:39:00	colocar calços na prensa e avançar fita	off	1min30s	
15:40:30	07:40:30	fazer teste e retirar calços da prensa	off	1min	
15:41:30	07:41:30	avançar fita de aço e fazer teste novamente	off	4min	
15:45:30	07:45:30	prensa a trabalhar (300 golpes/min)	on	----	2min40s
15:48:10	07:48:10	prensa parou para inspeção	off	----	4min50s
15:48:10	07:48:10	inspeção da ferramenta	off	3min50s	
15:52:00	07:52:00	controlo aspeto visual	off	1min	
15:53:00	07:53:00	prensa a trabalhar (300 golpes/min)	on	----	37min
		mudança de turno	on	5min	
		controlo da qualidade e registo no SAP	on	6min	
16:30:00	08:30:00	fim da análise	on	----	
Tempo total					510min

Golpes	96198	
Refugo	3400	gramas

Tempo total	510	minutos		
Paragens	189,333	minutos		
Defeitos	3400	gramas	4942	placas
Produção total	384792	placas		

APÊNDICE C

SRAM		Análise OEE		
Prensa:	PM3	Prensa PM3 Cadência = 400 golpes/min Placas por golpe = 6 Peso da placa = 0,875 gramas	Operador:	Alexandre Melo
Data:	04/05/2022		Kévin de Oliveira	
Peça:	500-17			

Hora	Tempo	Tarefa	on/off	Duração	Total
8:00:00	0:00:00	prensa parada (módulo 3 na serranharia)	off		45min30s
08:00:00	00:00:00	auxílio KAISER 2	off	4min	1min40s
08:04:00	00:04:00	colocar módulo 3 (buscar módulo 3 à serranharia, colocar módulo, apertar parafusos)	off	15min	
08:19:00	00:19:00	introduzir fita de aço e avançar fita	off	3min	
08:22:00	00:22:00	fazer teste	off	3min	
08:25:00	00:25:00	auxílio KAISER 2	off	1min	
08:26:00	00:26:00	início da produção	on	1min	
08:27:00	00:27:00	análise da qualidade (prensa parada)	off	4min	
08:31:00	00:31:00	desapertar parafusos e afinar módulo 3	off	3min30s	
08:34:30	00:34:30	apertar parafusos	off	2min30s	
08:37:00	00:37:00	fazer teste	off	1min	
08:38:00	00:38:00	início da produção	on	40s	
08:38:40	00:38:40	análise da qualidade (prensa parada)	off	6min50s	
08:45:30	00:45:30	início da produção (397 golpes/min)	on	---	
		escumilha	on	30s	38min40s
		controlo da qualidade e registo no SAP	on	17min30s	
09:37:00	01:37:00	prensa parou (falta de aço no desenrolador)	off	---	38min40s
09:37:00	01:37:00	auxílio KAISER 2	off	7min	1min20s
09:44:00	01:44:00	controlo da qualidade e registo no SAP	off	7min	
09:51:00	01:51:00	preparar novo rolo de aço	off	3min	
09:54:00	01:54:00	retirar o resto de fita de aço e passar no endireitador	off	2min30s	
09:56:30	01:56:30	subir cabeçote e verificações	off	1min30s	
09:58:00	01:58:00	meter panos e introduzir fita de aço	off	2min	
10:00:00	02:00:00	avançar fita de aço e fazer teste	off	2min30s	
10:02:30	02:02:30	auxílio KAISER 2	off	1min	
10:03:30	02:03:30	início da produção	on	40s	
10:04:10	02:04:10	análise da qualidade (prensa parada)	off	3min20s	
10:07:30	02:07:30	ajustar fita de aço	off	3min30s	
10:11:00	02:11:00	início da produção	on	40s	
10:11:40	02:11:40	controlo da qualidade (prensa parada)	off	2min50s	
10:14:30	02:14:30	auxílio no arranque	off	1min10s	
10:15:40	02:15:40	início da produção (397 golpes/min)	on	---	45min
		colocar novo rolo de aço no desenrolador	on	5min	45min
		controlo da qualidade e registo no SAP	on	6min20s	

11:00:40	03:00:40	prensa parou	off	---	17min30s
11:00:00	03:00:40	auxílio KAISER 2	off	5min20s	20s
11:06:00	03:06:00	controlo da qualidade e registo no SAP	off	7min30s	
11:13:30	03:13:30	escumilha	off	30s	
11:14:00	03:14:00	auxílio KAISER 2	off	2min	
11:16:00	03:16:00	auxílio no arranque	off	1min20s	
11:17:20	03:17:20	início da produção	on	20s	
11:17:40	03:17:40	controlo visual (prensa parada)	off	30s	
11:18:10	03:18:10	início da produção (397 golpes/min)	on		
		ver KANBANS e módulos disponíveis na serralharia para trocar de ferramenta	on	6min	
11:32:50	03:32:50	prensa parou (lote concluído e mudança de fabrico)	off	---	4h57min10s
11:32:50	03:32:50	controlo da qualidade e registo no SAP	off	7min10s	1min40s
11:40:00	03:40:00	registar lote	off	2min	
11:42:00	03:42:00	anotar descrição dos módulos (mudança de fabrico)	off	5min	
11:47:00	03:47:00	anotar descrição dos módulos no sistema informático (mudança de fabrico)	off	4min	
11:51:00	03:51:00	entrega do registo do lote	off	2min	
11:53:00	03:53:00	auxílio KAISER 2	off	9min	
12:02:00	04:02:00	cortar fita de aço e tirar fita	off	3min	
12:05:00	04:05:00	retirar o resto de fita de aço e preparar novo rolo de aço	off	4min	
12:09:00	04:09:00	introduzir fita no endireitador	off	2min30s	
12:11:30	04:11:30	desligar tubos e detetores	off	2min30s	
12:14:00	04:14:00	desapertar parafusos (por acabar)	off	2min	
12:16:00	04:16:00	auxílio KAISER2	off	7miin	
12:23:00	04:23:00	continuar a desapertar parafusos	off	8min	
12:31:00	04:31:00	almoço (12:31:00 - 13:01:00)	off	30min	
13:01:00	05:01:00	escumilha	off	1min	
13:02:00	05:02:00	continuar a desapertar parafusos	off	2min30s	
13:04:30	05:04:30	auxílio KAISER 2	off	9min30s	
13:14:00	05:14:00	continuar a desapertar parafusos	off	2min30s	
13:16:30	05:16:30	substituir módulos (buscar carrinho, retirar módulos, buscar módulos à serralharia, colocar módulos e apertar parafusos)	off	29min	
13:45:30	05:45:30	auxílio KAISER 2	off	2min30s	
13:48:00	05:48:00	colocar detetores	off	1min30s	
13:49:30	05:49:30	introduzir fita de aço	off	2min30s	
13:52:00	05:52:00	avançar fita de aço (a prender)	off	6min	
13:58:00	05:58:00	fazer teste e afinar detetores	off	6 min	
14:04:00	06:04:00	anotar descrição dos módulos (sistema informático)	off	3min	

14:07:00	06:07:00	auxílio no arranque	off	30s
14:07:30	06:07:30	início da produção	on	30s
14:08:00	06:08:00	prensa parou, defeito módulo 2 - ajustar fita	off	3min30s
14:11:30	06:11:30	início da produção	on	30s
14:12:00	06:12:00	prensa parou, defeito módulo 2 - análise do problema	off	6min
14:18:00	06:18:00	auxílio KAISER 2	off	7min
14:25:00	06:25:00	ajustar fita de aço	off	4min
14:29:00	06:29:00	tirar fita de aço e analisar problema com serralheiro	off	4min
14:33:00	06:33:00	tirar módulo 1 da prensa (a marcar muito a fita)	off	5min
14:38:00	06:38:00	anotar problema do módulo 1	off	1min30s
14:39:30	06:39:30	levar módulo 1 até à serralharia	off	3min
14:42:30	06:42:30	esperar arranjo do módulo 1	off	37min30s
15:20:00	07:20:00	buscar módulo 1 à serralharia	off	2min30s
15:22:30	07:22:30	colocar módulo 1 e apertar parafusos	off	9min30s
15:32:00	07:32:00	auxílio KAISER 2	off	6min
15:38:00	07:38:00	introduzir fita de aço e avançar fita	off	2min30s
15:40:30	07:40:30	auxílio no arranque	off	1min
15:41:30	07:41:30	afinar detetores	off	3min30s
15:45:00	07:45:00	avançar fita de aço e fazer teste	off	2min
15:47:00	07:47:00	início produção	on	40s
15:47:30	07:47:40	análise da qualidade (prensa parada)	off	5min50s
15:52:30	07:53:30	mudança de turno (explicação do problema)	off	5min
15:58:30	07:58:30	auxílio KAISER 2	off	6min30s
16:05:00	08:05:00	tirar fita de aço	off	2min
16:07:00	08:07:00	substituir módulo 1 (desapertar parafusos, buscar carrinho, retirar módulo, levar para a serralharia)	off	5min30s
16:12:30	08:12:30	esperar arranjo do módulo 1	off	17min30s
16:30:00	08:30:00	fim da análise	off	---
Tempo total				510min

Golpes	46118	
Refugo	2400	gramas

Tempo total	510	minutos		
Paragens	393,833	minutos		
Defeitos	2400	gramas	2743	placas
Produção total	276708	placas		

SRAM					Análise OEE	
Prensa:	PM3	Prensa PM3 Cadência = 400 golpes/min Placas por golpe = 6 Peso das placas = 0,748 gramas		Operador:	Alexandre Melo	
Data:	05/05/2022					
Peça:	500-34, 500-28, 500-29			Kévin de Oliveira		

Hora	Tempo	Tarefa	on/off	Duração	Total
8:00:00	0:00:00	prensa parada (módulo 1 na serralharia, punção partido)	off		1h
08:00:00	00:00:00	mudança de turno	off	3min	
08:03:00	00:03:00	auxílio KAISER 2	off	17min	
08:20:00	00:20:00	espera da serralharia (módulo 1)	off	7min30s	
08:27:30	00:27:30	buscar carrinho e módulo 1	off	1min30s	
08:29:00	00:29:00	colocar módulo 1	off	1min	
08:30:00	00:30:00	apertar parafusos	off	6min	
08:36:00	00:36:00	colocar detetores	off	1min	
08:37:00	00:37:00	introduzir e avançar fita de aço	off	4min	1min
08:41:00	00:41:00	afinar detetores	off	1min30s	
08:42:30	00:42:30	fazer teste	off	2min30s	
08:45:00	00:45:00	início da produção	on	1min	
08:46:00	00:46:00	análise da qualidade (prensa parada)	off	4min30s	
08:50:30	00:50:30	esvaziar depósito do óleo das peças	off	1min30s	
08:52:00	00:52:00	analisar fita de aço	off	2min	
08:54:00	00:54:00	avançar fita de aço	off	6min	
09:00:00	01:00:00	início da produção (397 golpes/min)	on	---	3min30s
09:03:30	01:03:30	prensa parou (falha no avanço - defeitos)	off	---	2h24min20s
09:03:30	01:03:30	cortar fita de aço, analisar fita e avançar fita	off	4min	
09:07:30	01:07:30	analisar fita de aço com chefe	off	3min30s	
09:11:00	01:11:00	introduzir fita de aço e ajustar	off	2min	
09:13:00	01:13:00	avançar fita de aço e analisar	off	2min30s	
09:15:30	01:15:30	analisar fita de aço com chefe	off	2min30s	
09:18:00	01:18:00	auxílio KAISER 2	off	6min	
09:24:00	01:24:00	substituir módulo 1 (desapertar parafusos, tirar módulo, buscar carrinho e levar para a serralharia)	off	10min	
09:34:00	01:34:00	espera da serralharia (módulo 1)	off	1h16min	2min50s
10:50:00	02:50:00	buscar carrinho e módulo 1	off	2min	
10:52:00	02:52:00	colocar módulo 1	off	1min	
10:53:00	02:53:00	apertar parafusos	off	5min	
10:58:00	02:58:00	introduzir e avançar fita de aço	off	6min	
11:04:00	03:04:00	fazer teste	off	2min	
11:06:00	03:06:00	início da produção	on	50s	
11:06:50	03:06:50	inspeção limalhas (prensa parada)	off	4min40s	
11:11:30	03:11:30	análise da fita de aço	off	3min	
11:14:30	03:14:30	fazer teste	off	2min30s	

11:17:00	03:17:00	início da produção	on	1min	
11:18:00	03:18:00	inspeção limalhas (prensa parada)	off	2min	
11:20:00	03:20:00	ajustar e avançar fita	off	1min	
11:21:00	03:21:00	início da produção	on	1min	
11:22:00	03:22:00	inspeção limalhas (prensa parada)	off	3min	
11:25:00	03:25:00	ajustar e avançar fita	off	2min50s	
11:27:50	03:27:50	início da produção (397 golpes/min)	on	---	30min40s
11:58:30	03:58:30	prensa parou	off	---	7min50s
11:58:30	03:58:30	controlo da qualidade e registo no SAP	off	6min30s	
12:05:00	04:05:00	auxílio no arranque	off	1min20s	
12:06:20	04:06:20	início da produção (397 golpes/min)	on	---	23min40s
12:30:00	04:30:00	prensa parada pelo operador para hora de almoço	off	---	43min30s
12:30:00	04:30:00	almoço (12h30-13h00) - prensa parada	off	30min	
13:00:00	05:00:00	auxílio KAISER 2	off	4min30s	
13:04:30	05:04:30	controlo da qualidade e registo no SAP	off	5min40s	
13:10:10	05:10:10	preparação do carrinho para novo lote (500-28)	off	1min50s	
13:12:00	05:12:00	auxílio no arranque	off	1min30s	
13:13:30	05:13:30	início da produção (397 golpes/min)	on	---	12min40s
13:26:10	05:26:10	prensa parou (falta de aço no desenrolador)	off	---	19min50s
13:26:10	05:26:10	auxílio KAISER 2	off	3min20s	
13:29:30	05:29:30	análise da qualidade	off	6min	
13:35:30	05:35:30	auxílio KAISER 2	off	30s	
13:36:00	05:36:00	preparar novo rolo de aço	off	2min30s	
13:38:30	05:38:30	retirar o resto de fita de aço e passar no endireitador	off	2min	
13:40:30	05:40:30	introduzir fita nova de aço e avançar fita	off	3min30s	
13:44:00	05:44:00	fazer teste	off	2min	
13:46:00	05:46:00	início da produção (397 golpes/min)	on	---	3min30s
13:49:30	05:49:30	prensa parou (defeito módulo2)	off	---	2min30s
13:49:30	05:49:30	auxílio KAISER 2	off	2min	
13:51:30	05:51:30	soprar óleo	off	30s	
13:52:00	05:52:00	início da produção (397 golpes/min)	on	---	18min
		controlo da qualidade e registo no SAP	on	2min	
14:10:00	06:10:00	prensa parou (defeito módulo 2)	off	---	5min50s
14:10:00	06:10:00	acabar controlo da qualidade e registo no SAP	off	4min	
14:14:00	06:14:00	soprar óleo e inspeção	off	1min50s	
14:15:50	06:15:50	início da produção (397 golpes/min)	on	---	6min10s
14:22:00	06:22:00	prensa parou (defeito módulo 2)	off	---	3min
14:22:00	06:22:00	soprar óleo e inspeção	off	3min	
14:25:00	06:25:00	início da produção (397 golpes/min)	on	---	1h42min40s
		controlo da qualidade e registo no SAP	on	19min30s	
		escumilha	on	1min	
		início da produção de placas 500-29	on	---	
		mudança de turno	on	---	

		análise de qualidade	on	10min	
		escumilha	on	30s	
16:07:40	08:07:40	prensa parou (falta de aço no desenrolador)	off	---	22min20s
16:07:40	08:07:40	auxílio KAISER 2	off	3min20s	
16:11:00	08:11:00	análise da qualidade	off	4min	
16:15:00	08:15:00	preparar novo rolo de aço	off	2min30s	
16:17:30	08:17:30	retirar o resto de fita de aço e passar no endireitador	off	3min30s	
16:21:00	08:21:00	introduzir fita nova de aço e avançar fita	off	2min	
16:23:00	08:23:00	ajustar fita de aço (fita presa)	off	6min	
16:29:00	08:29:00	fazer teste	off	1min	
16:30:00	08:30:00	fim da análise	off	---	
Tempo total					510min

Golpes	81254	
Refugo	5500	gramas

Tempo total	510	minutos		
Paragens	305,333	minutos		
Defeitos	5500	gramas	7353	placas
Produção total	487524	placas		

APÊNDICE D

KPI	DESCRIÇÃO	UNITS	Média	jan/22	fev/22	mar/22	abr/22
NC_P1	Notas criadas - Prioridade 1	[un]	2	2	3	1	2
NC_P1	Notas criadas - Prioridade 1	[%]	1%	1%	1%	0%	1%
NPF_P1	Notas por fechar - Prioridade 1	[un]	0	0	0	0	1
NPF_P1	Notas por fechar - Prioridade 1	[%]	2%	0%	0%	0%	7%
NC_P2	Notas criadas - Prioridade 2	[un]	64	67	57	76	56
NC_P2	Notas criadas - Prioridade 2	[%]	26%	24%	25%	31%	23%
NPF_P2	Notas por fechar - Prioridade 2	[un]	1	0	0	1	4
NPF_P2	Notas por fechar - Prioridade 2	[%]	9%	0%	0%	8%	27%
NC_P3	Notas criadas - Prioridade 3	[un]	163	177	157	145	171
NC_P3	Notas criadas - Prioridade 3	[%]	65%	64%	69%	59%	69%
NPF_P3	Notas por fechar - Prioridade 3	[un]	4	1	1	8	4
NPF_P3	Notas por fechar - Prioridade 3	[%]	55%	33%	100%	62%	27%
NC_P4	Notas criadas - Prioridade 4	[un]	17	23	10	21	14
NC_P4	Notas criadas - Prioridade 4	[%]	7%	8%	4%	9%	6%
NPF_P4	Notas por fechar - Prioridade 4	[un]	3	2	0	4	6
NPF_P4	Notas por fechar - Prioridade 4	[%]	34%	67%	0%	31%	40%
NC_P5	Notas criadas - Prioridade 5	[un]	4	7	2	3	4
NC_P5	Notas criadas - Prioridade 5	[%]	2%	3%	1%	1%	2%
NPF_P5	Notas por fechar - Prioridade 5	[un]	0	0	0	0	0
NPF_P5	Notas por fechar - Prioridade 5	[%]	0%	0%	0%	0%	0%
TNC	TOTAL NOTAS CRIADAS	[un]	250	276	229	246	247
TNPF	TOTAL NOTAS POR FECHAR	[un]	8	3	1	13	15
TNPF	TOTAL NOTAS POR FECHAR	[%]	3,2%	1,1%	0,4%	5,3%	6,1%

NC_P12	Notas Criadas - Prioridades 1 e 2	[un]	66	69	60	77	58
--------	-----------------------------------	------	----	----	----	----	----

DESCRIÇÃO	UNITS	Média	jan/22	fev/22	mar/22	abr/22
Tempo de Manutenção Corretiva	[h]	468	667	586	324	295
Tempo de Manutenção Preventiva N2	[h]	318	301	280	472	220
Tempo de Manutenção de Instalação	[h]	102	114	98	74	122
Tempo total	[h]	888	1082	963	871	637
% de Instalações	[%]	12,1%	10,5%	10,1%	8,5%	19,2%
% de Manutenção Corretiva	[%]	51,5%	61,6%	60,8%	37,2%	46,3%
% de Manutenção Preventiva	[%]	36,4%	27,9%	29,1%	54,2%	34,5%

APÊNDICE E

Tapete de Peças Minster PM2 - 125 – Amostra

Horas	FA	TBF	F(t)	R(t)	f(t)	lambda
130,33	1	3,00	0,02857143	0,97142857	0,00811688	0,00835561
18,23	2	6,52	0,05714286	0,94285714	0,00388279	0,00411811
48,53	3	16,65	0,08571429	0,91428571	0,00414351	0,00453197
236,40	4	18,23	0,11428571	0,88571429	0,01502613	0,01696498
482,67	5	20,42	0,14285714	0,85714286	0,00367391	0,00428623
39,32	6	31,73	0,17142857	0,82857143	0,00298489	0,00360245
663,15	7	39,32	0,20000000	0,80000000	0,00339085	0,00423856
311,25	8	48,53	0,22857143	0,77142857	0,00255566	0,00331289
6,52	9	61,47	0,25714286	0,74285714	0,00149467	0,00201206
152,85	10	85,63	0,28571429	0,71428571	0,00161752	0,00226452
222,73	11	94,40	0,31428571	0,68571429	0,00132736	0,00193573
352,92	12	124,72	0,34285714	0,65714286	0,00137381	0,00209057
295,92	13	130,33	0,37142857	0,62857143	0,00747700	0,01189523
1241,50	14	131,22	0,40000000	0,60000000	0,00197816	0,00329693
179,52	15	152,85	0,42857143	0,57142857	0,00117880	0,00206291
393,67	16	179,52	0,45714286	0,54285714	0,00080274	0,00147873
85,63	17	222,73	0,48571429	0,51428571	0,00092175	0,00179230
131,22	18	236,40	0,51428571	0,48571429	0,00281701	0,00579972
31,73	19	241,83	0,54285714	0,45714286	0,00325419	0,00711853
4049,33	20	253,25	0,57142857	0,42857143	0,00095067	0,00221822
16,65	21	295,92	0,60000000	0,40000000	0,00091728	0,00229321
94,40	22	311,25	0,62857143	0,37142857	0,00108907	0,00293211
3,00	23	345,90	0,65714286	0,34285714	0,00119604	0,00348844
124,72	24	352,92	0,68571429	0,31428571	0,00102574	0,00326372
878,80	25	393,67	0,71428571	0,28571429	0,00042100	0,00147350
241,83	26	482,67	0,74285714	0,25714286	0,00020420	0,00079413
61,47	27	663,15	0,77142857	0,22857143	0,00014387	0,00062945
20,42	28	878,80	0,80000000	0,20000000	0,00019142	0,00095711
253,25	29	925,27	0,82857143	0,17142857	0,00013302	0,00077595
925,27	30	1241,50	0,85714286	0,14285714	0,00006291	0,00044037
1869,95	31	1809,67	0,88571429	0,11428571	0,00007468	0,00065341
2165,73	32	1869,73	0,91428571	0,08571429	0,00014000	0,00163329
345,90	33	2165,73	0,94285714	0,05714286	0,00002228	0,00038985
1809,67	34	4049,33	0,97142857	0,02857143	0,00001517	0,00053090

Tapete de Peças Minter PM2 - 125 - Exponencial 2 Parâmetros

FA	TBF	t'=TBF-gama	R(exp 2P)	Erro^2
1	3,00	-142,00	1,000000	0,000816
2	6,52	-138,48	1,000000	0,003265
3	16,65	-128,35	1,000000	0,007347
4	18,23	-126,77	1,000000	0,013061
5	20,42	-124,58	1,000000	0,020408
6	31,73	-113,27	1,000000	0,029388
7	39,32	-105,68	1,000000	0,040000
8	48,53	-96,47	1,000000	0,052245
9	61,47	-83,53	1,000000	0,066122
10	85,63	-59,37	1,000000	0,081633
11	94,40	-50,60	1,000000	0,098776
12	124,72	-20,28	1,000000	0,117551
13	130,33	-14,67	1,000000	0,137959
14	131,22	-13,78	1,000000	0,160000
15	152,85	7,85	0,990391	0,175529
16	179,52	34,52	0,958429	0,172700
17	222,73	77,73	0,908820	0,155658
18	236,40	91,40	0,893667	0,166425
19	241,83	96,83	0,887718	0,185395
20	253,25	108,25	0,875336	0,199599
21	295,92	150,92	0,830580	0,185399
22	311,25	166,25	0,815065	0,196813
23	345,90	200,90	0,781057	0,192019
24	352,92	207,92	0,774342	0,211652
25	393,67	248,67	0,736487	0,203196
26	482,67	337,67	0,660120	0,162390
27	663,15	518,15	0,528705	0,090080
28	878,80	733,80	0,405524	0,042240
29	925,27	780,27	0,382995	0,044761
30	1241,50	1096,50	0,259579	0,013624
31	1809,67	1664,67	0,129051	0,000218
32	1869,73	1724,73	0,119862	0,001166
33	2165,73	2020,73	0,083284	0,000683
34	4049,33	3904,33	0,008211	0,000415

gama	145
lambda	0,00123

Erro RMS	
R(t)	0,308151

R(t)	0,8
tempo	326,42

Tapete de Peças Minter PM2 - 125 - Distribuição Normal

FA	TBF	R(t) Normal	Erro^2	f(t)	lambda
1	3,00	0,733448	0,056635	0,00019575	0,00026689
2	6,52	0,732068	0,044432	0,00019626	0,00026809
3	16,65	0,728077	0,034674	0,00019772	0,00027156
4	18,23	0,727452	0,025047	0,00019794	0,00027210
5	20,42	0,726584	0,017046	0,00019825	0,00027286
6	31,73	0,722082	0,011340	0,00019985	0,00027677
7	39,32	0,719040	0,006555	0,00020091	0,00027942
8	48,53	0,715327	0,003147	0,00020218	0,00028264
9	61,47	0,710072	0,001075	0,00020394	0,00028721
10	85,63	0,700140	0,000200	0,00020713	0,00029584
11	94,40	0,696497	0,000116	0,00020826	0,00029901
12	124,72	0,683753	0,000708	0,00021203	0,00031009
13	130,33	0,681370	0,002788	0,00021270	0,00031217
14	131,22	0,680991	0,006560	0,00021281	0,00031250
15	152,85	0,671730	0,010060	0,00021533	0,00032056
16	179,52	0,660165	0,013761	0,00021829	0,00033066
17	222,73	0,641107	0,016084	0,00022268	0,00034734
18	236,40	0,635001	0,022287	0,00022397	0,00035270
19	241,83	0,632566	0,030773	0,00022446	0,00035485
20	253,25	0,627428	0,039544	0,00022548	0,00035937
21	295,92	0,608034	0,043278	0,00022894	0,00037653
22	311,25	0,600997	0,052702	0,00023005	0,00038279
23	345,90	0,584975	0,058621	0,00023230	0,00039711
24	352,92	0,581710	0,071516	0,00023271	0,00040004
25	393,67	0,562657	0,076697	0,00023477	0,00041726
26	482,67	0,520595	0,069407	0,00023740	0,00045601
27	663,15	0,435088	0,042649	0,00023456	0,00053911
28	878,80	0,337087	0,018793	0,00021760	0,00064555
29	925,27	0,317107	0,021222	0,00021227	0,00066940
30	1241,50	0,196924	0,002923	0,00016526	0,00083923
31	1809,67	0,063039	0,002626	0,00007377	0,00117027
32	1869,73	0,054652	0,000965	0,00006595	0,00120677
33	2165,73	0,025346	0,001011	0,00003523	0,00138989
34	4049,33	0,000013	0,000816	0,00000004	0,00263097

média	526,01
desv pad	839,1295

Erro RMS	
R(t)	0,153973

R(t)	0,8
tempo	-180,222

Tapete de Peças Minter PM2 - 125 – LogNormal

FA	TBF	t'=log(TBF)	R(logNORMAL)	Erro^2	f(t)	lambda
1	3,00	0,477121	0,992295	0,000435	0,00966492	0,00973997
2	6,52	0,814248	0,975099	0,001040	0,01221524	0,01252718
3	16,65	1,221414	0,919984	0,000032	0,01221001	0,01327198
4	18,23	1,260787	0,911673	0,000674	0,01201050	0,01317413
5	20,42	1,310056	0,900388	0,001870	0,01171750	0,01301383
6	31,73	1,501470	0,846622	0,000326	0,01019674	0,01204403
7	39,32	1,594614	0,814527	0,000211	0,00929659	0,01141349
8	48,53	1,686010	0,779272	0,000062	0,00835781	0,01072514
9	61,47	1,788663	0,735451	0,000055	0,00727916	0,00989754
10	85,63	1,932626	0,667329	0,002205	0,00580107	0,00869296
11	94,40	1,974972	0,646040	0,001574	0,00538654	0,00833778
12	124,72	2,095936	0,582878	0,005515	0,00427875	0,00734072
13	130,33	2,115044	0,572654	0,003127	0,00411561	0,00718691
14	131,22	2,118000	0,571069	0,000837	0,00409069	0,00716322
15	152,85	2,184265	0,535258	0,001308	0,00355464	0,00664099
16	179,52	2,254113	0,497205	0,002084	0,00303835	0,00611087
17	222,73	2,347779	0,446277	0,004625	0,00242673	0,00543772
18	236,40	2,373647	0,432331	0,002850	0,00227408	0,00526005
19	241,83	2,383510	0,427035	0,000906	0,00221772	0,00519328
20	253,25	2,403549	0,416317	0,000150	0,00210627	0,00505931
21	295,92	2,471174	0,380645	0,000375	0,00176014	0,00462410
22	311,25	2,493109	0,369274	0,000005	0,00165753	0,00448861
23	345,90	2,538951	0,345885	0,000009	0,00145774	0,00421453
24	352,92	2,547676	0,341496	0,000740	0,00142190	0,00416375
25	393,67	2,595132	0,318010	0,001043	0,00123877	0,00389539
26	482,67	2,683650	0,276157	0,000362	0,00094715	0,00342975
27	663,15	2,821612	0,216835	0,000138	0,00060540	0,00279200
28	878,80	2,943890	0,171027	0,000839	0,00039523	0,00231092
29	925,27	2,966268	0,163368	0,000065	0,00036445	0,00223088
30	1241,50	3,093947	0,123988	0,000356	0,00022542	0,00181809
31	1809,67	3,257599	0,083942	0,000921	0,00011647	0,00138748
32	1869,73	3,271779	0,080993	0,000022	0,00010973	0,00135483
33	2165,73	3,335604	0,068681	0,000133	0,00008353	0,00121624
34	4049,33	3,607383	0,031636	0,000009	0,00002401	0,00075885

média	2,248988
desv pad	0,731389

Erro RMS	
R(t)	0,032040

R(t)	0,8
tempo	43,00

Tapete de Peças Minter PM2 - 125 – Weibull

FA	TBF	$x=\ln(\ln(1/R(t)))$	$y=\ln(TBF-gama)$	R(Weibull)	erro^2	lambda
1	3,00	-3,54088930	#NÚM!	1,000000	0,000816	#DIV/0!
2	6,52	-2,83292489	1,25846099	0,948450	0,000031	0,00940324
3	16,65	-2,41226427	2,61373952	0,883796	0,000930	0,00565961
4	18,23	-2,10898688	2,72326717	0,876090	0,000093	0,00543210
5	20,42	-1,86982471	2,85761897	0,865990	0,000078	0,00516547
6	31,73	-1,67103553	3,35794187	0,821403	0,000051	0,00428264
7	39,32	-1,49993999	3,59236855	0,796278	0,000014	0,00392259
8	48,53	-1,34895543	3,81837145	0,769210	0,000005	0,00360416
9	61,47	-1,21317662	4,06851380	0,735780	0,000050	0,00328177
10	85,63	-1,08923964	4,41437281	0,683237	0,000964	0,00288297
11	94,40	-0,97472994	4,51524548	0,666498	0,000369	0,00277606
12	124,72	-0,86784862	4,80172333	0,615497	0,001734	0,00249357
13	130,33	-0,76721231	4,84678214	0,607019	0,000465	0,00245184
14	131,22	-0,67172699	4,85374754	0,605698	0,000032	0,00244545
15	152,85	-0,58050482	5,00963479	0,575385	0,000016	0,00230673
16	179,52	-0,49280713	5,17343418	0,542083	0,000001	0,00216944
17	222,73	-0,40800387	5,39239952	0,495493	0,000353	0,00199859
18	236,40	-0,32554357	5,45275372	0,482288	0,000012	0,00195391
19	241,83	-0,24492999	5,47575200	0,477220	0,000403	0,00193715
20	253,25	-0,16570298	5,52246042	0,466869	0,001467	0,00190355
21	295,92	-0,08742157	5,67989953	0,431486	0,000991	0,00179453
22	311,25	-0,00964769	5,73091114	0,419888	0,002348	0,00176056
23	345,90	0,06807110	5,83743886	0,395522	0,002774	0,00169169
24	352,92	0,14622172	5,85770456	0,390870	0,005865	0,00167890
25	393,67	0,22535149	5,96786321	0,365541	0,006372	0,00161102
26	482,67	0,30610396	6,17309837	0,318478	0,003762	0,00149180
27	663,15	0,38927239	6,49246708	0,247299	0,000351	0,00132359
28	878,80	0,47588500	6,77513775	0,188752	0,000127	0,00119060
29	925,27	0,56735071	6,82683802	0,178689	0,000053	0,00116776
30	1241,50	0,66572981	7,12165625	0,126087	0,000281	0,00104566
31	1809,67	0,77429099	7,49924065	0,072633	0,001735	0,00090774
32	1869,73	0,89883355	7,53194352	0,068802	0,000286	0,00089669
33	2165,73	1,05159087	7,67912659	0,053153	0,000016	0,00084858
34	4049,33	1,26845297	8,30556558	0,013011	0,000242	0,00067109

gama	3
eta	386,7196
beta	0,625391

Erro RMS	
R(t)	0,0311953

R(t)	0,8
tempo	38,14

APÊNDICE F

Tapete de Peças HAULICK 200 – Amostra

Horas	FA	TBF	F(t)	R(t)	f(t)	lambda
3913,35	1	142,80	0,04545455	0,95454545	0,00215731	0,00226004
990,73	2	172,90	0,11038961	0,88961039	0,00049805	0,00055985
718,15	3	364,38	0,17532468	0,82467532	0,00045893	0,00055650
936,65	4	438,65	0,24025974	0,75974026	0,00056776	0,00074731
1744,40	5	585,23	0,30519481	0,69480519	0,00046742	0,00067274
438,65	6	716,20	0,37012987	0,62987013	0,00074354	0,00118046
142,80	7	718,15	0,43506494	0,56493506	0,00057103	0,00101080
716,20	8	888,70	0,50000000	0,50000000	0,00053792	0,00107584
3590,05	9	936,65	0,56493506	0,43506494	0,00127133	0,00292217
1281,43	10	990,73	0,62987013	0,37012987	0,00090664	0,00244953
888,70	11	1077,38	0,69480519	0,30519481	0,00042371	0,00138834
1077,38	12	1281,43	0,75974026	0,24025974	0,00018539	0,00077163
172,90	13	1744,40	0,82467532	0,17532468	0,00005025	0,00028659
585,23	14	3590,05	0,88961039	0,11038961	0,00005143	0,00046591
364,38	15	3913,35	0,95454545	0,04545455	0,00020085	0,00441872

Tapete de Peças HAULICK 200 - Exponencial 2 Parâmetros

FA	TBF	t'=TBF-gama	R(exp 2P)	Erro^2
1	142,80	-517,20	1,000000	0,002066
2	172,90	-487,10	1,000000	0,012186
3	364,38	-295,62	1,000000	0,030739
4	438,65	-221,35	1,000000	0,057725
5	585,23	-74,77	1,000000	0,093144
6	716,20	56,20	0,949076	0,101893
7	718,15	58,15	0,947357	0,146246
8	888,70	228,70	0,808406	0,095114
9	936,65	276,65	0,773148	0,114300
10	990,73	330,73	0,735225	0,133294
11	1077,38	417,38	0,678301	0,139209
12	1281,43	621,43	0,561059	0,102912
13	1744,40	1084,40	0,364769	0,035889
14	3590,05	2930,05	0,065550	0,002011
15	3913,35	3253,35	0,048528	0,000009

gama	660
lambda	0,00093

Erro RMS	
R(t)	0,266675432

R(t)	0,8
tempo	899,94

Tapete de Peças HAULICK 200 - Distribuição Normal

FA	TBF	f(t)	R(t) Normal	Erro^2	lambda
1	142,80	0,00011671	0,818450	0,018522	0,00014259
2	172,90	0,00011952	0,811339	0,006126	0,00014732
3	364,38	0,00013683	0,762210	0,003902	0,00017952
4	438,65	0,00014309	0,741416	0,000336	0,00019299
5	585,23	0,00015432	0,697781	0,000009	0,00022116
6	716,20	0,00016277	0,656214	0,000694	0,00024805
7	718,15	0,00016289	0,655579	0,008216	0,00024846
8	888,70	0,00017107	0,598525	0,009707	0,00028583
9	936,65	0,00017274	0,582037	0,021601	0,00029678
10	990,73	0,00017426	0,563268	0,037302	0,00030937
11	1077,38	0,00017588	0,532913	0,051856	0,00033004
12	1281,43	0,00017564	0,460990	0,048722	0,00038100
13	1744,40	0,00015515	0,305882	0,017045	0,00050724
14	3590,05	0,00001786	0,016157	0,008880	0,00110517
15	3913,35	0,00000929	0,007621	0,001431	0,00121918

média	1170,73
desv pad	1130,251

R(t)	0,8
tempo	219,49

Erro RMS	
R(t)	0,124993

Tapete de Peças HAULICK 200 – LogNormal

FA	TBF	t'=log(TBF)	R(logNORMAL)	Erro^2	f(t)	lambda
1	142,80	2,154728	0,967286	0,000162	0,00521663	0,00539305
2	172,90	2,237795	0,949222	0,003554	0,00456835	0,00481274
3	364,38	2,561555	0,799118	0,000653	0,00255000	0,00319102
4	438,65	2,642118	0,738811	0,000438	0,00216999	0,00293713
5	585,23	2,767327	0,629577	0,004255	0,00166702	0,00264785
6	716,20	2,855034	0,545505	0,007118	0,00137299	0,00251692
7	718,15	2,856215	0,544350	0,000424	0,00136934	0,00251555
8	888,70	2,948755	0,453452	0,002167	0,00110644	0,00244003
9	936,65	2,971577	0,431224	0,000015	0,00104839	0,00243119
10	990,73	2,995955	0,407721	0,001413	0,00098917	0,00242610
11	1077,38	3,032369	0,373248	0,004631	0,00090589	0,00242703
12	1281,43	3,107695	0,305330	0,004234	0,00075202	0,00246297
13	1744,40	3,241646	0,200551	0,000636	0,00053257	0,00265555
14	3590,05	3,555100	0,053360	0,003252	0,00022144	0,00414998
15	3913,35	3,592549	0,044049	0,000002	0,00019810	0,00449717

média	2,901361
desv pad	0,405267

R(t)	0,8
tempo	363,31

Erro RMS	
R(t)	0,046871

Tapete de Peças HAULICK 200 – Weibull

FA	TBF	$x=\ln(\ln 1/R(t))$	$y=\ln(\text{TBF-gama})$	R(Weibull)	erro ²	lambda
1	142,80	-3,06787262	4,03953633	0,951685	0,000008	0,00088290
2	172,90	-2,14582345	4,46475803	0,926655	0,001372	0,00088767
3	364,38	-1,64628077	5,62898709	0,780638	0,001939	0,00090086
4	438,65	-1,29178935	5,86547606	0,730041	0,000882	0,00090356
5	585,23	-1,01026145	6,21306691	0,639283	0,003083	0,00090755
6	716,20	-0,77166753	6,44603723	0,567536	0,003886	0,00091023
7	718,15	-0,56028817	6,44912671	0,566529	0,000003	0,00091027
8	888,70	-0,36651292	6,68798105	0,484946	0,000227	0,00091303
9	936,65	-0,18361041	6,74600076	0,464166	0,000847	0,00091370
10	990,73	-0,00611734	6,80763656	0,441779	0,005134	0,00091441
11	1077,38	0,17126482	6,89909791	0,408107	0,010591	0,00091547
12	1281,43	0,35489765	7,08626123	0,338491	0,009649	0,00091764
13	1744,40	0,55452614	7,41360856	0,221125	0,002098	0,00092146
14	3590,05	0,79015558	8,16167472	0,040003	0,004954	0,00093023
15	3913,35	1,12850840	8,24992794	0,029608	0,000251	0,00093127

gama	86
eta	1104,657
beta	1,012668

Erro RMS	
R(t)	0,060844

R(t)	0,8
tempo	337,17

APÊNDICE G

Pressão Hidráulica KAISER 1 - Amostra

Horas	FA	TBF	F(t)	R(t)	f(t)	lambda
1651,23	1	4,10	0,03448276	0,96551724	0,02089864	0,02164502
961,00	2	5,75	0,06896552	0,93103448	0,00936668	0,01006051
15,85	3	10,87	0,10344828	0,89655172	0,00930806	0,01038207
2512,98	4	12,60	0,13793103	0,86206897	0,02467401	0,02862185
4,10	5	13,60	0,17241379	0,82758621	0,02022297	0,02443609
861,58	6	15,85	0,20689655	0,79310345	0,01456897	0,01836956
1646,83	7	18,33	0,24137931	0,75862069	0,00970655	0,01279500
12,60	8	22,77	0,27586207	0,72413793	0,01084997	0,01498329
42,08	9	24,15	0,31034483	0,68965517	0,00328782	0,00476735
5,75	10	39,77	0,34482759	0,65517241	0,00324949	0,00495975
6972,17	11	42,08	0,37931034	0,62068966	0,00933385	0,01503787
270,83	12	46,87	0,41379310	0,58620690	0,00252049	0,00429965
66,45	13	66,45	0,44827586	0,55172414	0,00224005	0,00406008
46,87	14	76,68	0,48275862	0,51724138	0,00343413	0,00663931
22,77	15	86,53	0,51724138	0,48275862	0,00190575	0,00394763
18,33	16	110,83	0,55172414	0,44827586	0,00079151	0,00176569
76,68	17	169,02	0,58620690	0,41379310	0,00088883	0,00214800
169,02	18	169,48	0,62068966	0,37931034	0,00051034	0,00134544
567,18	19	270,83	0,65517241	0,34482759	0,00050975	0,00147827
39,77	20	274,38	0,68965517	0,31034483	0,00029055	0,00093623
169,48	21	452,33	0,72413793	0,27586207	0,00023195	0,00084081
86,53	22	567,18	0,75862069	0,24137931	0,00015836	0,00065605
10,87	23	861,58	0,79310345	0,20689655	0,00016189	0,00078248
13,60	24	961,00	0,82758621	0,17241379	0,00007406	0,00042954
24,15	25	1646,83	0,86206897	0,13793103	0,00007542	0,00054676
110,83	26	1651,23	0,89655172	0,10344828	0,00006002	0,00058020
274,38	27	2512,98	0,93103448	0,06896552	0,00001125	0,00016309
452,33	28	6972,17	0,96551724	0,03448276	0,00000773	0,00022426

Pressão Hidráulica KAISER 1 - Exponencial 2 Parâmetros

FA	TBF	t'=TBF-gama	R(exp 2P)	Erro^2
1	4,10	84,10	0,944417	0,000445
2	5,75	85,75	0,943357	0,000152
3	10,87	90,87	0,940079	0,001895
4	12,60	92,60	0,938974	0,005914
5	13,60	93,60	0,938335	0,012265
6	15,85	95,85	0,936901	0,020678
7	18,33	98,33	0,935322	0,031223
8	22,77	102,77	0,932502	0,043416
9	24,15	104,15	0,931628	0,058551
10	39,77	119,77	0,921785	0,071082
11	42,08	122,08	0,920338	0,089789
12	46,87	126,87	0,917345	0,109652
13	66,45	146,45	0,905212	0,124954
14	76,68	156,68	0,898937	0,145691
15	86,53	166,53	0,892936	0,168245
16	110,83	190,83	0,878302	0,184923
17	169,02	249,02	0,844227	0,185274
18	169,48	249,48	0,843963	0,215902
19	270,83	350,83	0,787758	0,196187
20	274,38	354,38	0,785859	0,226113
21	452,33	532,33	0,696293	0,176762
22	567,18	647,18	0,643983	0,162090
23	861,58	941,58	0,527148	0,102561
24	961,00	1041,00	0,492688	0,102575
25	1646,83	1726,83	0,309052	0,029283
26	1651,23	1731,23	0,308129	0,041894
27	2512,98	2592,98	0,171491	0,010511
28	6972,17	7052,17	0,008267	0,000687

gama	-80
lambda	0,00068

Erro RMS	
R(t)	0,299924

R(t)	0,8
tempo	248,15

Pressão Hidráulica KAISER 1 - Distribuição Normal

FA	TBF	f(t)	R(t) Normal	Erro^2	lambda
1	4,10	0,00013028	0,668512	0,088212	0,00019487
2	5,75	0,00013034	0,668082	0,069144	0,00019510
3	10,87	0,00013055	0,666747	0,052810	0,00019580
4	12,60	0,00013062	0,666295	0,038328	0,00019604
5	13,60	0,00013066	0,666033	0,026099	0,00019618
6	15,85	0,00013075	0,665445	0,016297	0,00019649
7	18,33	0,00013085	0,664797	0,008803	0,00019683
8	22,77	0,00013103	0,663634	0,003661	0,00019744
9	24,15	0,00013108	0,663272	0,000696	0,00019763
10	39,77	0,00013169	0,659167	0,000016	0,00019979
11	42,08	0,00013178	0,658559	0,001434	0,00020011
12	46,87	0,00013197	0,657295	0,005054	0,00020077
13	66,45	0,00013271	0,652113	0,010078	0,00020351
14	76,68	0,00013309	0,649394	0,017464	0,00020494
15	86,53	0,00013345	0,646769	0,026899	0,00020633
16	110,83	0,00013431	0,640262	0,036859	0,00020977
17	169,02	0,00013622	0,624518	0,044405	0,00021812
18	169,48	0,00013623	0,624393	0,060065	0,00021818
19	270,83	0,00013904	0,596483	0,063330	0,00023310
20	274,38	0,00013913	0,595495	0,081311	0,00023364
21	452,33	0,00014233	0,545344	0,072620	0,00026099
22	567,18	0,00014318	0,512535	0,073525	0,00027936
23	861,58	0,00014095	0,428575	0,049141	0,00032888
24	961,00	0,00013880	0,400751	0,052138	0,00034634
25	1646,83	0,00010862	0,228456	0,008195	0,00047547
26	1651,23	0,00010837	0,227501	0,015389	0,00047634
27	2512,98	0,00005635	0,085973	0,000289	0,00065549
28	6972,17	0,00000000	0,000002	0,001189	0,00171286

média	610,94
desv pad	1392,438

Erro RMS	
R(t)	0,181605

R(t)	0,8
tempo	-560,97

Pressão Hidráulica KAISER 1 – LogNormal

FA	TBF	t'=log(TBF)	R(logNORMAL)	Erro^2	f(t)	lambda
1	4,10	0,612784	0,949804	0,000247	0,02930992	0,03085892
2	5,75	0,759668	0,929536	0,000002	0,02726125	0,02932780
3	10,87	1,036230	0,875156	0,000458	0,02197783	0,02511306
4	12,60	1,100371	0,859171	0,000008	0,02060078	0,02397750
5	13,60	1,133539	0,850383	0,000520	0,01987955	0,02337717
6	15,85	1,200029	0,831685	0,001489	0,01842634	0,02215543
7	18,33	1,263162	0,812599	0,002914	0,01705057	0,02098276
8	22,77	1,357363	0,781744	0,003318	0,01503532	0,01923306
9	24,15	1,382917	0,772895	0,006929	0,01450099	0,01876192
10	39,77	1,599556	0,690328	0,001236	0,01029909	0,01491912
11	42,08	1,624076	0,680215	0,003543	0,00986841	0,01450779
12	46,87	1,670895	0,660532	0,005524	0,00907499	0,01373890
13	66,45	1,822495	0,593992	0,001787	0,00677902	0,01141264
14	76,68	1,884682	0,565762	0,002354	0,00596084	0,01053595
15	86,53	1,937167	0,541666	0,003470	0,00532599	0,00983261
16	110,83	2,044657	0,491933	0,001906	0,00418021	0,00849752
17	169,02	2,227938	0,407838	0,000035	0,00266812	0,00654213
18	169,48	2,229118	0,407305	0,000784	0,00266003	0,00653080
19	270,83	2,432697	0,318839	0,000675	0,00153139	0,00480302
20	274,38	2,438352	0,316497	0,000038	0,00150688	0,00476110
21	452,33	2,655455	0,232790	0,001855	0,00078500	0,00337214
22	567,18	2,753721	0,199383	0,001764	0,00057227	0,00287023
23	861,58	2,935296	0,145773	0,003736	0,00030838	0,00211545
24	961,00	2,982723	0,133537	0,001511	0,00026047	0,00195054
25	1646,83	3,216649	0,083557	0,002957	0,00010835	0,00129675
26	1651,23	3,217808	0,083350	0,000404	0,00010786	0,00129409
27	2512,98	3,400189	0,055387	0,000184	0,00005170	0,00093349
28	6972,17	3,843368	0,017451	0,000290	0,00000718	0,00041158

média	2,027247
desv pad	0,860926

Erro RMS	
R(t)	0,042232

R(t)	0,8
tempo	20,08

Pressão Hidráulica KAISER 1 – Weibull

FA	TBF	$x=\ln(\ln 1/R(t))$	$y=\ln(TBF-gama)$	R(Weibull)	erro^2	lambda
1	4,10	-3,349801	#NÚM!	1,000000	0,001189	#NÚM!
2	5,75	-2,638632	#NÚM!	1,000000	0,004756	#NÚM!
3	10,87	-2,214581	1,054312	0,884824	0,000138	0,02045396
4	12,60	-1,907709	1,526056	0,857750	0,000019	0,01600246
5	13,60	-1,664729	1,722767	0,844823	0,000297	0,01444575
6	15,85	-1,461873	2,060514	0,820133	0,000731	0,01211787
7	18,33	-1,286437	2,335052	0,797557	0,001516	0,01050496
8	22,77	-1,130805	2,692598	0,764504	0,001629	0,00872182
9	24,15	-0,990035	2,781920	0,755569	0,004345	0,00832578
10	39,77	-0,860722	3,458522	0,678574	0,000548	0,00585526
11	42,08	-0,740398	3,528711	0,669622	0,002394	0,00564531
12	46,87	-0,627205	3,660223	0,652360	0,004376	0,00527196
13	66,45	-0,519686	4,068172	0,594820	0,001857	0,00426380
14	76,68	-0,416659	4,229458	0,570474	0,002834	0,00392061
15	86,53	-0,317127	4,363481	0,549602	0,004468	0,00365655
16	110,83	-0,220215	4,633077	0,506007	0,003333	0,00317802
17	169,02	-0,125122	5,081529	0,429680	0,000252	0,00251668
18	169,48	-0,031077	5,084381	0,429183	0,002487	0,00251295
19	270,83	0,062703	5,571507	0,343506	0,000002	0,00195037
20	274,38	0,157065	5,584924	0,341144	0,000949	0,00193681
21	452,33	0,252977	6,096568	0,252931	0,000526	0,00148416
22	567,18	0,351632	6,326471	0,215472	0,000671	0,00131684
23	861,58	0,454596	6,749439	0,152555	0,002953	0,00105673
24	961,00	0,564096	6,859615	0,137755	0,001201	0,00099786
25	1646,83	0,683603	7,401738	0,076454	0,003779	0,00075262
26	1651,23	0,819200	7,404419	0,076201	0,000742	0,00075157
27	2512,98	0,983631	7,826036	0,042789	0,000685	0,00060354
28	6972,17	1,214110	8,848534	0,005817	0,000822	0,00035455

gama	8
eta	228,9034
beta	0,479731

Erro RMS	
R(t)	0,042046

R(t)	0,8
tempo	18,04

APÊNDICE H

Tapete de Peças KAISER 2 – Amostra

Horas	FA	TBF	F(t)	R(t)	f(t)	lambda
1364,12	1	12,63	0,04545455	0,95454545	0,00114848	0,00120317
3628,33	2	69,17	0,11038961	0,88961039	0,00043726	0,00049152
2184,60	3	279,97	0,17532468	0,82467532	0,00043641	0,00052919
676,42	4	337,65	0,24025974	0,75974026	0,00052042	0,00068500
2146,45	5	510,37	0,30519481	0,69480519	0,00038331	0,00055168
1663,22	6	676,42	0,37012987	0,62987013	0,00021924	0,00034807
337,65	7	1071,57	0,43506494	0,56493506	0,00024238	0,00042905
510,37	8	1126,50	0,50000000	0,50000000	0,00039286	0,00078571
1870,57	9	1364,12	0,56493506	0,43506494	0,00024092	0,00055375
69,17	10	1663,22	0,62987013	0,37012987	0,00025366	0,00068532
1126,50	11	1870,57	0,69480519	0,30519481	0,00041232	0,00135101
12,63	12	1963,73	0,75974026	0,24025974	0,00045477	0,00189284
1963,73	13	2146,45	0,82467532	0,17532468	0,00051452	0,00293464
1071,57	14	2184,60	0,88961039	0,11038961	0,00006742	0,00061075
279,97	15	3628,33	0,95454545	0,04545455	0,00004498	0,00098950

Tapete de Peças KAISER 2 - Exponencial 2 Parâmetros

FA	TBF	t'=TBF-gama	R(exp 2P)	Erro^2
1	12,63	1232,63	0,581376	0,139255
2	69,17	1289,17	0,567091	0,104019
3	279,97	1499,97	0,516858	0,094751
4	337,65	1557,65	0,503906	0,065451
5	510,37	1730,37	0,467030	0,051882
6	676,42	1896,42	0,434124	0,038317
7	1071,57	2291,57	0,364842	0,040037
8	1126,50	2346,50	0,356130	0,020699
9	1364,12	2584,12	0,320776	0,013062
10	1663,22	2883,22	0,281220	0,007905
11	1870,57	3090,57	0,256699	0,002352
12	1963,73	3183,73	0,246390	0,000038
13	2146,45	3366,45	0,227356	0,002707
14	2184,60	3404,60	0,223572	0,012810
15	3628,33	4848,33	0,118450	0,005328

gama	-1220
lambda	0,00044

R(t)	0,8
tempo	-712,86

Erro RMS	
R(t)	0,199769

Tapete de Peças KAISER 2 - Distribuição Normal

FA	TBF	R(t) Normal	Erro^2	f(t)	lambda
1	12,63	0,893672	0,003706	0,00009164	0,00010255
2	69,17	0,882941	0,000044	0,00009817	0,00011118
3	279,97	0,836274	0,000135	0,00012335	0,00014750
4	337,65	0,821643	0,003832	0,00013030	0,00015858
5	510,37	0,773109	0,006131	0,00015049	0,00019466
6	676,42	0,720142	0,008149	0,00016808	0,00023339
7	1071,57	0,574784	0,000097	0,00019573	0,00034053
8	1126,50	0,553180	0,002828	0,00019747	0,00035697
9	1364,12	0,458724	0,000560	0,00019818	0,00043201
10	1663,22	0,343693	0,000699	0,00018375	0,00053462
11	1870,57	0,271091	0,001163	0,00016547	0,00061037
12	1963,73	0,241162	0,000001	0,00015567	0,00064549
13	2146,45	0,188057	0,000162	0,00013467	0,00071612
14	2184,60	0,177955	0,004565	0,00013011	0,00073114
15	3628,33	0,009009	0,001328	0,00001215	0,00134865

média	1260,35
desv pad	1001,148

R(t)	0,8
tempo	417,77

Erros RMS	
R(t)	0,047188

Tapete de Peças KAISER 2 – LogNormal

FA	TBF	t'=log(TBF)	R(logNORMAL)	Erro^2	f(t)	lambda
1	12,63	1,101403	0,996134	0,001730	0,00138909	0,00139449
2	69,17	1,839918	0,937727	0,002315	0,00270703	0,00288680
3	279,97	2,447111	0,728698	0,009212	0,00180755	0,00248052
4	337,65	2,528467	0,686042	0,005431	0,00160410	0,00233819
5	510,37	2,707885	0,583446	0,012401	0,00116729	0,00200068
6	676,42	2,830216	0,509549	0,014477	0,00090025	0,00176676
7	1071,57	3,030021	0,389304	0,030846	0,00054641	0,00140357
8	1126,50	3,051731	0,376654	0,015214	0,00051467	0,00136642
9	1364,12	3,134853	0,329536	0,011136	0,00040512	0,00122937
10	1663,22	3,220950	0,283440	0,007515	0,00031085	0,00109669
11	1870,57	3,271974	0,257666	0,002259	0,00026353	0,00102276
12	1963,73	3,293082	0,247371	0,000051	0,00024569	0,00099321
13	2146,45	3,331721	0,229110	0,002893	0,00021553	0,00094071
14	2184,60	3,339372	0,225586	0,013270	0,00020992	0,00093056
15	3628,33	3,559707	0,137883	0,008543	0,00009270	0,00067228

média	2,845894
desv pad	0,654945

R(t)	0,8
tempo	197,10

Erro RMS	
R(t)	1,686978

Tapete de Peças KAISER 2 – Weibull

FA	TBF	$x=\ln(\ln 1/R(t))$	$y=\ln(TBF-gama)$	R(Weibull)	erro ²	lambda
1	12,63	-3,06787262	4,96025386	0,946783	0,000060	0,00046740
2	69,17	-2,14582345	5,29415873	0,921126	0,000993	0,00050287
3	279,97	-1,64628077	6,01608399	0,820295	0,000019	0,00058904
4	337,65	-1,29178935	6,14772015	0,792492	0,001073	0,00060627
5	510,37	-1,01026145	6,46204613	0,710936	0,000260	0,00064949
6	676,42	-0,77166753	6,69260470	0,636420	0,000043	0,00068313
7	1071,57	-0,56028817	7,09138431	0,479603	0,007282	0,00074550
8	1126,50	-0,36651292	7,13608536	0,460267	0,001579	0,00075283
9	1364,12	-0,18361041	7,30929268	0,383516	0,002657	0,00078195
10	1663,22	-0,00611734	7,49176817	0,302058	0,004634	0,00081384
11	1870,57	0,17126482	7,60118742	0,254626	0,002557	0,00083358
12	1963,73	0,35489765	7,64670244	0,235508	0,000023	0,00084193
13	2146,45	0,55452614	7,73037249	0,201637	0,000692	0,00085751
14	2184,60	0,79015558	7,74699217	0,195136	0,007182	0,00086063
15	3628,33	1,12850840	8,23172999	0,052310	0,000047	0,00095705

gama	-130
eta	1547,15
beta	1,219066

R(t)	0,8
tempo	322,04

Erro RMS	
R(t)	0,044046

