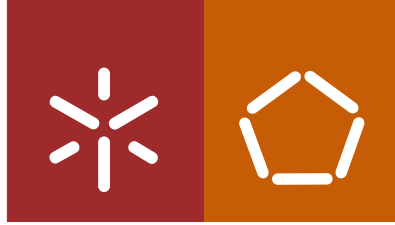




**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Anabela Costa da Silva

**Organização e Gestão da Manutenção de Ferramentas numa Empresa de Produção de Peças Metálicas**



**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Anabela Costa da Silva

**Organização e Gestão da Manutenção de  
Ferramentas numa Empresa de Produção de  
Peças Metálicas**

Dissertação de Mestrado  
Mestrado Engenharia e Gestão da Qualidade

Trabalho realizado sob orientação da  
**Professora Doutora Isabel da Silva Lopes**

outubro de 2015

## DECLARAÇÃO

Nome:

Anabela Costa da Silva

Endereço eletrónico: anabelacs@gmail.com

Número do Bilhete de Identidade: 12703797

Título da dissertação:

Organização e Gestão da Manutenção de Ferramentas numa Empresa de Produção de Peças Metálicas

Orientadora:

Professora Doutora Isabel Silva Lopes

Ano de conclusão: 2015

Designação do Mestrado:

Mestrado em Engenharia e Gestão da Qualidade

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;

Universidade do Minho, \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

Assinatura:

*"Manutenção é isto...*

*Quando tudo vai bem, ninguém se lembra que existe;*

*Quando algo vai mal, dizem que não existe;*

*Quando é para gastar, acha-se que não é preciso que exista;*

*Porém quando realmente não existe, todos acham que deveria existir."*

*Arnold Sutter*



## AGRADECIMENTOS

Durante a realização deste projeto deparei-me com momentos bons e momentos menos bons, e foi nestes últimos que contei com o apoio de pessoas que me rodeiam no meu quotidiano. Confesso que entre viagens para o Porto, trabalho diário e dedicação à tese, as relações pessoais foram muitas vezes postas em segundo plano, e peço já desculpa pelos momentos que não estive presente...

Em primeiro lugar, cabe-me agradecer à Professora Doutora Isabel Lopes, pela sua compreensão, disponibilidades, atenção, paciência e força transmitida. Nos dias em que não me sentia capaz de continuar ou que achava que o caminho não era o certo, as suas palavras faziam-me ver que era possível. Agradeço ainda por todas as dúvidas que foram esclarecidas e sugestões dadas. A conclusão deste trabalho deve-se muito à orientação neste projeto.

Agradeço aos meus pais todo o esforço, compreensão e motivação neste meu percurso académico. Obrigada por acreditarem e sentirem orgulho em mim!

Um obrigado especial à empresa - ETMA, pela oportunidade de estágio e por toda a disponibilidade lá encontrada. Agradeço em especial ao Senhor Lino, responsável da serralharia, por todas as explicações e tempo passado comigo. Agradeço também ao Engenheiro João Pedro que esteve sempre disponível e receptivo ao trabalho que fui propondo ao longo do tempo. Agradeço ainda aos meus colegas de projeto Ernesto Silva e Cláudia Pires.

Não posso esquecer todos os meus amigos, a paciência, a motivação a confiança. Agradeço aos meus colegas do INE, que diariamente me incentivavam, o meu especial agradecimento à minha colega e amiga São por acreditar sempre que faria um bom trabalho e era capaz, por ouvir os meus desabafos e as minhas queixas.

Por fim, e não menos importante, um obrigado especial ao meu namorado Bruno pela paciência, apoio, compreensão e amizade que disponibilizou sempre e incondicionalmente - a ti, meu pilar obrigada.



## RESUMO

Desenvolvido numa empresa do ramo da metalomecânica, este projeto apresenta como objetivo principal melhorar a eficiência da secção de serralharia que se dedica à manutenção de ferramentas dos equipamentos de produção.

De forma a satisfazer o objetivo apontado, o estudo teve uma fase inicial dedicada ao levantamento dos problemas existentes, o que permitiu identificar fragilidades e possíveis oportunidades de melhoria. Assim, os principais problemas encontrados foram: dados inexistentes ou pouco fiáveis; falta de indicadores de desempenho que medissem a eficácia e eficiência da serralharia; elevados tempos associados à montagem e desmontagem de ferramentas nos respetivos equipamentos; e ainda o facto de não estar definida uma periodicidade de substituição dos componentes da ferramenta originando perdas de tempo, problemas no *stock* de componentes, atrasos na produção e aumentos de custos.

Com o objetivo de solucionar os problemas descritos foram definidas e implementadas diversas ações. Em primeiro lugar, foi alterada a folha de registos de intervenções de manutenção, onde se acrescentou novos campos. Foram também propostos indicadores de desempenho específicos à serralharia tendo em conta os objectivos definidos para esta área. Frisa-se que em paralelo com este projeto decorreu a construção de uma base de dados para informatizar os registos e obtenção automática dos indicadores propostos. A nível dos tempos de montagem e desmontagem de ferramentas, implementou-se a metodologia SMED. Por fim, foram estudados os modelos de manutenção preventiva - *Age Replacement Policy* e *Block Replacement Policy* - de forma a encontrar o intervalo ótimo de substituição de componentes. Foi desenvolvido no software de estatística R um procedimento capaz de estimar os parâmetros da distribuição de Weibull que melhor se ajusta aos tempos de falha dos componentes, e seguidamente obter o intervalo ótimo de substituição que minimiza os custos. Foi ainda aplicado um modelo de substituição em grupo para substituição preventiva dos componentes da mesma ferramenta com o objetivo de estudar a vantagem da substituição em grupo em detrimento da substituição individual.

Dado a não existência de dados, estes procedimentos estão apenas automatizados e prontos a receber dados reais e assim aferir sobre questões que auxiliarão no planeamento das atividades da serralharia.

## PALAVRAS-CHAVE

Manutenção; *Age Replacement Policy*, *Block Replacement Policy*, Substituição em grupos.





## ABSTRACT

Developed in a company of the metalworking sector, this project has as main objective improving the efficiency of the company metalwork section which is dedicated to the maintenance of production equipment tools.

To meet the pointed out goal, the study had an initial phase dedicated to the survey of the existing problems, which identified weaknesses and potential opportunities for improvement. Thus, the main problems found were: non-existent or unreliable data; lack of performance indicators to measure the effectiveness and efficiency of the metalwork section; high duration associated with the processes of assembly and disassembly of tools from the respective equipment; the replacement frequency of the tool components is not defined, causing loss of time, problems in stock components, production delays and increase in costs.

In order to solve the identified problems several actions have been defined and implemented. First, the sheet to maintenance interventions records was changed, adding new fields. Specific performance indicators to metal work section were also proposed taking into account the objectives set for this area. In parallel with this project a database was developed for data recording and for obtaining automatically the proposed indicators. Concerning the assembly and disassembly tools times, the SMED methodology was implemented. Finally, the models of preventive maintenance - Age Replacement Policy and Block Replacement Policy - were studied in order to find the optimal period between parts replacements. In the R statistical software a procedure was developed to estimate the Weibull distribution parameters that best fit to the failure times of the components, and then determines the optimal replacement interval that minimizes costs. A group replacement model was further applied for preventive replacement of components of the same tool, with the aim of studying the group substitution advantage over the individual replacement.

Given the lack of data, this procedure is only automated and ready to receive real data and thus be the basis for the activities planning of the metalwork section.

## KEYWORDS

Maintenance; Age Replacement Policy; Block Replacement Policy; Group replacing



## ÍNDICE

Agradecimentos.....	v
Resumo.....	vii
Abstract.....	ix
Índice de Figuras.....	xiii
Índice de Tabelas.....	xv
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xvi
1. Introdução.....	1
1.1 Âmbito.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Metodologia de investigação.....	4
1.4 Estrutura do trabalho.....	4
2. Revisão bibliográfica.....	7
2.1 A manutenção, definição, evolução e importância.....	7
2.1.1 Conceito de manutenção.....	7
2.1.2 Evolução histórica da manutenção.....	8
2.1.3 Importância e objetivos da manutenção.....	9
2.2 Tipo de manutenção.....	11
2.3 Indicadores de desempenho da manutenção.....	14
2.4 Custos de manutenção.....	16
2.4.1 Custos diretos.....	16
2.4.2 Custos indiretos.....	17
2.5 Modelos de manutenção.....	18
2.5.1 Modelação dos tempos de falha.....	19
2.5.2 Age Replacement Policy.....	20
2.5.3 Block Replacement Policy.....	22
2.5.4 Substituição em Grupo.....	25
2.6 SMED - <i>Single Minute Exchange of Die</i> .....	28
2.6.1 Fases de implementação do SMED.....	28

2.6.2	Vantagens da utilização do SMED .....	29
3.	Descrição da empresa e estado inicial da serralharia e estampagem .....	31
3.1	Apresentação da empresa .....	31
3.2	Missão, Valores e Visão .....	31
3.3	Principais produtos.....	33
3.4	ETMA e a manutenção .....	33
3.5	Estado inicial da empresa.....	33
3.5.1	Análise do cadastro da ferramenta.....	35
3.5.2	Análise de falhas da "Abraçadeira" .....	37
3.5.3	Armário de ferramentas da serralharia .....	38
3.5.4	Quebras e danificações prematuras das ferramentas .....	39
3.5.5	Avaliação do desempenho na serralharia .....	40
3.5.6	Montagem e desmontagem de ferramentas .....	40
4.	Definição e apresentação de propostas de melhoria .....	43
4.1	Alterações no cadastro da ferramenta.....	43
4.2	Alterações no armário de ferramentas da serralharia .....	44
4.3	Análise das causas das quebras e danificações prematuras das ferramentas .....	45
4.4	Implementação de indicadores de desempenho na serralharia.....	47
4.5	Implementação da metodologia SMED.....	50
4.6	Planeamento da substituição de componentes.....	62
4.6.1	Age Replacement Policy.....	63
4.6.2	Block Replacement Policy .....	64
4.6.3	Aplicação das políticas Age e Block Replacement Policy a dados de um componente da ferramenta "Abraçadeira" .....	68
4.6.4	Substituição em grupo .....	71
5.	Discussão de Resultados.....	79
6.	Conclusão e Sugestão para trabalhos futuros .....	85
	Referências Bibliográficas .....	89
	Anexos .....	91

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de resumo de evolução da manutenção (adaptado de Moubray (1997)).	9
Figura 2: Principais objetivos da função manutenção (adaptado de Pinto (2013)).	11
Figura 3: Classificação da manutenção segundo a norma NP EN 13306:2010.	12
Figura 4: Indicadores chave em manutenção segundo a norma NP EN 15341:2009.	15
Figura 5: Custos de manutenção (Lopes (2007)).	16
Figura 6: Substituição em intervalos de operações constantes (Lopes, 2007).	20
Figura 7: Substituição em intervalos de tempos constantes (Lopes, 2007).	23
Figura 8: Determinação de <i>Htp</i> com recurso à teoria da renovação (Fonte Jardine (1973)).	24
Figura 9: Determinação de <i>Htp</i> no caso discreto (Fonte Jardine (1973)).	24
Figura 10: Metodologia utilizada para o agrupamento (adaptado de Talukder & Knapp (2002)).	27
Figura 11: Organigrama funcional da ETMA	32
Figura 12: Imagem de um Prensa.	34
Figura 13: Imagem de uma Bihler	34
Figura 14: Exemplo de ferramentas.	34
Figura 15: Exemplo do cadastro da ferramenta preenchido pelos operadores, em vigor na ETMA no início do estudo.	36
Figura 16: Diagrama de Pareto para o tipo de avarias.	38
Figura 17: Armário de ferramentas existente na serralharia.	39
Figura 18: Nova folha de cadastro da ferramenta proposta para a recolha de dados.	44
Figura 19: Diagrama de causa efeito - Ferramenta ou componente partido/danificado.	46
Figura 20: Fase 1 para a implementação do SMED.	51
Figura 21: Fase 2 para a implementação do SMED.	51
Figura 22: <i>Checklist</i> para o Borne M5 DF.	59



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Dados da Abraçadeira .....	36
Tabela 2: Tabela de frequências para o tipo de avarias registadas. ....	37
Tabela 3: Registo e classificação de operações internas e externas.....	52
Tabela 4: Tempos gastos em cada uma das operações para as quatro máquinas observadas (M1, M2, M3 e M4). ....	53
Tabela 5: Resultados globais da observação das operações.....	55
Tabela 6: Conversão de operações internas em operações externas. ....	60
Tabela 7: Resultados dos custos totais por unidade de tempo para o modelo <i>Age Replacement Policy</i> 64	
Tabela 8: Resultados dos custos totais por unidade de tempo para o modelo <i>Block Replacement Policy</i> .....	67
Tabela 9: Resultados dos custos totais por unidade de tempo para o modelo <i>Age Replacement Policy</i> para o punção 20A.....	69
Tabela 10: Resultados dos custos totais por unidade de tempo para o modelo <i>Block Replacement Policy</i> para o punção 20A.....	70
Tabela 11: Resultados obtidos para o custo total de vários grupos.....	76
Tabela 12: Síntese de problemas e ações de melhoria implementadas.....	80



## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

LCC: *Life Cycle Costing*

KPI: *Key Performance Indicator*

MTBF: *Mean Time Between Failures*

MTTR: *Mean Time to Repair*

OEE: *Overall Equipment Effectiveness*

RCM: *Reliability Centered Maintenance*

SMED: *Single Minute Exchange of Die*

TPM: *Total Productive Maintenance.*

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Âmbito

Segundo Monchy (1989), o termo manutenção surgiu nas unidades militares durante as guerras para cumprir o objetivo de manter a capacidade em efetivos e material num nível constante.

Após um longo período em que a manutenção foi considerada como um "mal necessário" da função produtiva, hoje reconhece-se na manutenção uma das áreas mais importantes e atuantes da atividade industrial através do seu contributo para o bom desempenho produtivo, da segurança de pessoas e bens, da qualidade do produto, das boas relações interpessoais, da imagem da empresa e da rentabilidade económica do processo. Este reconhecimento é adicionalmente reforçado pelas crescentes e progressivas exigências das normas de qualidade relativas à manutenção dos meios produtivos.

Após várias mudanças e evolução, a manutenção, passou a ser vista como uma mais-valia, justificada com a necessidade de gerir as diferentes áreas da manutenção, e a realizar-se de forma preventiva abandonando-se a ideia de "repara quando parte". Associadas a estas mudanças foram surgindo diversas técnicas, ferramentas e metodologias ligadas a esta área que visam principalmente aumentar a eficiência do processo de manutenção. Dentro destas pode-se destacar TPM- *Total Productive Maintenance*, o RCM - *Reliability Centered Maintenance* e até os próprios modelos de manutenção. Quando falamos do TPM evidencia-se técnicas como os 5S e o SMED- *Single Minute Exchange of Die*. O SMED, visa a eliminação e redução de *stocks* e desperdícios, ou seja, à medida que são reduzidos os tempos de troca de ferramentas também se verifica uma redução dos lotes e consequentemente uma diminuição dos *stocks* e respetivos custos.

Relativamente aos modelos de manutenção preventiva estes têm como objetivo encontrar a melhor política de manutenção para determinados equipamentos, considerando a sua fiabilidade e os custos associados às avarias e às ações de manutenção preventiva. Existem ainda modelos que permitem aferir sobre a vantagem ou não da substituição. A maior parte dos modelos visam minimizar o custo total da manutenção, porém alguns deles procuram minimizar o tempo de paragem do equipamento ou maximizar a sua disponibilidade (Lopes, 2007).

Para realização da dissertação com vista à obtenção de grau de Mestre em Engenharia e Gestão da Qualidade foi realizado um estágio numa empresa de competentes metálicos, sediada em Braga - ETMA - *Metal Parts*. Esta empresa dedica-se ao fabrico de peças de metais para setores automóveis, elétrico, eletrodomésticos, entre outros, integrando dez processos produtivos integrados: fabrico de protótipos, ferramentas, peças torneadas, peças estampadas, formação automática, forjamento a frio, tratamento térmico, tratamentos de superfície e montagens.

Este estudo focou-se em duas áreas da fábrica: serralharia e produção. Na serralharia efetuam-se as intervenções de manutenção e conceção de ferramentas e seus componentes. A produção da fábrica encontra-se dividida em três partes: estampagem, parafusos e torneamento, neste trabalho a área estudada corresponderá à estampagem.

No momento inicial do estudo os problemas encontrados prendiam-se com a montagem e desmontagem das ferramentas e o tempo gasto nestas operações; a inexistência de indicadores de desempenho para a área da serralharia e o facto de não existir planeamento relacionando com as intervenções de manutenção preventiva nas ferramentas, isto é, embora esta fosse realizada, era feita de uma forma intuitiva e baseada na experiência do colaborador, não existindo uma periodicidade definida para a realização da mesma.

## 1.2 Objetivos

Os objetivos globais deste trabalho são:

- Reduzir os tempos de intervenção de manutenção das ferramentas;
- Reduzir tempos de paragens devido à espera de ferramentas;
- Reduzir custos associados à manutenção de ferramentas.

Relativamente aos objetivos específicos tem-se:

- Analisar o estado inicial da serralharia e da estampagem, identificar pontos fracos e apontar soluções para problemas encontrados;
- Estudar uma metodologia que permita minimizar os tempos de montagem/ desmontagem das ferramentas;
- Definir novos e adequados indicadores de desempenho para a serralharia;

- Estudar modelos de manutenção preventiva e identificar a periodicidade ótima de substituição dos componentes;
- Contribuir para o desenvolvimento de uma aplicação informática capaz de obter uma base de dados de forma a melhorar os registos e futuramente a análise dos dados.

De uma forma detalhada os objetivos deste trabalho são o de planear a substituição preventiva de componentes da ferramenta de forma a evitar a sua quebra. Ou seja, visa-se definir a periodicidade ideal para realização da manutenção e a forma mais adequada de o fazer, para isso, é necessário encontrar a política ideal de substituição dos componentes da ferramenta que melhor se adequa à realidade da empresa. Deve-se ter presente os custos que esta operação acarreta.

Foram estudados e testados modelos de manutenção, associados às políticas descritas acima - *Block Replacement Policy* e *Age-Based Preventive Replacement Policy* - com o intuito de definir intervalos de substituição para evitar que o item ou componente falhe durante a operação, acarretando outros custos ou danos não desejados.

Quer-se também estudar a vantagem de uma substituição em grupo, ou seja, aferir sobre a possibilidade de quando se para a máquina para substituição de um componente existir ou não vantagem em substituir os restantes.

Ainda como forma de minimizar, quer os tempos de espera, quer os próprios custos associados à mudança e manutenção de ferramentas. Aqui pretende-se diminuir os tempos de montagem e desmontagem das ferramentas nas respetivas máquinas, uma vez que a própria conjuntura do mercado exige cada vez mais lotes pequenos. Pretende-se não só reduzir o tempo para no caso de mudança de produto, mas também no caso de manutenção corretiva ou preventiva da ferramenta. Quer-se, assim, identificar as atividades da montagem de ferramentas onde se gasta mais tempo, assim como encontrar soluções que minimizem estes tempos.

É ainda objetivo a definição de novos indicadores que possam ser aplicados à área da serralharia, assim como o seu posterior cálculo e aferição sobre os resultados dos mesmos. Para que existissem dados que reflitam resultados fidedignos e que possibilitassem o cálculo desses indicadores necessários à análise decidiu-se que seria pertinente o desenvolvimento de uma aplicação informativa que permitisse o registo das intervenções de manutenção, neste sentido, foi definido como objetivo a colaboração na sua conceção, quer a nível de ideias a incorporar, quer em parâmetros que possibilitassem o cumprimento dos objetivos atrás descritos.

### 1.3 Metodologia de investigação

A sustentação da metodologia neste projeto, metodologia investigação-ação, dividiu-se, principalmente, nas seguintes fases: diagnóstico, definição de ações, implementação e apresentação de resultados. Sendo a revisão bibliográfica uma constante ao longo de todas as fases.

A fase referente ao diagnóstico passou pela identificação dos objetivos, estratégias, procedimentos, levantamento das necessidades e problemas existentes na empresa, nomeadamente da serralharia e estampagem. Para isto recorreu-se a documentos da empresa, conversa com operadores e responsáveis e ainda à análise de dados existentes.

Após identificação do estado inicial, efetuou-se uma comparação com os objetivos pré estabelecidos, tornando possível identificar áreas de atuação. Para os problemas listados na fase precedente foram então definidas ações de melhoria. Estas ações foram de seguida implementadas. Para isto, recorreu-se a ferramentas da qualidade, adaptações de procedimentos existentes e modelos de manutenção preventiva.

Por fim, apontam-se os principais resultados do estudo e conclusões dos mesmos. Nesta fase foram explicados os resultados obtidos, emitidas as conclusões realizando-se um interligação entre a teoria e a prática.

### 1.4 Estrutura do trabalho

Este documento encontra-se dividido em 6 capítulos: introdução, revisão bibliográfica, a empresa, análise e apresentação de resultados, discussão de resultados, conclusão e sugestões para trabalhos futuros.

No primeiro capítulo é feita uma breve contextualização do trabalho, apresentando-se sinteticamente os temas abordados, assim como explicados os objetivos propostos para o trabalho.

O segundo capítulo corresponde a um enquadramento teórico onde se detalha todos os temas do trabalho. Inicialmente, dá-se um grande enfoque à temática "manutenção" apresentando-se a sua definição, evolução, importância, assim como os tipos de manutenção existentes. Indicadores de desempenho e custos de manutenção são também elucidados. É ainda feita uma abordagem à troca rápida de ferramentas - SMED (*Single Minute Exchange of Die*) - onde se explica as suas fases de

implementação assim como algumas das vantagens associadas a este método. Por fim, abordam-se os modelos de manutenção, explicando-se as principais políticas de manutenção preventiva.

No terceiro capítulo, faz-se uma apresentação da empresa, onde se apresenta a sua missão, visão, valores e os seus principais serviços e produtos, assim como se descreve o estado inicial em que esta se encontrava aquando o início do estudo.

O quarto capítulo corresponde à análise e soluções. São apresentadas as ações de melhorias, assim como algumas metodologias adotadas para a concretização dos objetivos propostos. Desenvolveram-se e foram também testados os diversos modelos de manutenção.

No quinto capítulo, descrevem-se os resultados obtidos ao longo do trabalho e os mesmos são discutidos.

No sexto capítulo, e último, apresentam-se as principais conclusões do trabalho elaborado e são feitas as sugestões de melhoria para trabalhos futuros.



## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A manutenção, definição, evolução e importância

#### 2.1.1 Conceito de manutenção

O conceito de manutenção deixou de ser visto somente como uma parte obrigatória da produção, assumindo-se como um elemento importante para alcançar os objetivos estratégicos da organização (Kobbacy & Murthy, 2008). Existem várias definições para o conceito de manutenção, que variam de autor para autor, mas com um objetivo transversal.

Segundo a norma NP EN 13306:2010 -Terminologia da manutenção- manutenção é a combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão, durante o ciclo de vida de um item, destinados a mantê-lo ou repô-lo num estado em que ele pode desempenhar a função requerida. Ainda segundo esta norma, a gestão de manutenção engloba as atividades de gestão que determinam os objetivos, a estratégia e as responsabilidades respeitantes à manutenção e que os implementem por diversos meios tais como o planeamento, o controlo e a supervisão da manutenção e a manutenção de métodos na organização, incluindo os aspetos económicos.

Segundo a AFNOR (2001), a manutenção pode ser definida como o conjunto de ações que permitem manter, ou restabelecer, um bem num estado específico, em condições de assegurar um serviço determinado, com um custo global mínimo.

Para Cabral (2006), a manutenção é definida como um conjunto de ações destinadas a assegurar o bom funcionamento das máquinas e das instalações, garantindo que essas intervenções sejam oportunas e com o alcance certo, com o objetivo de evitar que avariem ou baixem de rendimento e, no caso disso acontecer, que sejam repostas em boas condições de operacionalidade com a maior brevidade, tudo a um custo global otimizado.

Kardec et al (1998) vêm a manutenção como forma de garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo que o processo de produção e a preservação do meio ambiente apresentem fiabilidade e custos adequados.

Segundo Marcorin & Lima (2003), a manutenção tem procurado novos modos de pensar, técnicos e administrativos, já que as exigências de mercado tornam visíveis as limitações atuais dos sistemas de gestão.



Ferreira (1998), declara que a manutenção deve ser uma operação antecedente à primeira avaria de um equipamento, isto é, inicia-se logo na fase de projeto do equipamento na instalação industrial. É na fase de concepção do equipamento que a manutibilidade, a fiabilidade, a disponibilidade e a sua durabilidade vão ser pré-determinados.

### 2.1.2 Evolução histórica da manutenção

A palavra manutenção deriva do latim "*manus*", mão, e "*tentione*", o ato de segurar - o ato ou efeito de manter. Este conceito foi assim evoluindo ao longo do tempo, passando por três grandes períodos.

Segundo Pinto et al (2007), a primeira geração, referente ao período anterior à Segunda Guerra Mundial, quando a indústria era pouco desenvolvida e pouco mecanizada, os equipamentos eram simples e superdimensionados. Esta geração ficou conhecida como "repara quando parte", isto é, onde a reparação dos equipamentos era feita, somente, quando estes equipamentos se danificavam ou partiam. Aqui, a manutenção era realizada através de reparações simples e realizadas pelo próprio operário da produção e sem que existisse um procedimento sistemático. Foi nesta geração que surgiu o conceito de manutenção.

A segunda geração, inicia-se na Segunda Guerra Mundial, em que as pressões deste período aumentaram a procura de todo o tipo de produtos e ao mesmo tempo a mão-de-obra industrial diminuiu sensivelmente. Como consequência, verificou-se um aumento da mecanização, bem como da complexidade das instalações industriais. Aqui começa a evidenciar-se a necessidade de uma maior disponibilidade, estando assim a indústria dependente do bom funcionamento das máquinas. Isto levou à ideia de que as falhas dos equipamentos poderiam e deveriam ser evitadas, o que resultou no conceito de manutenção preventiva. Nesta geração, destaca-se como objetivos da área a longa vida dos equipamentos e baixos custos.

A terceira, e última geração, iniciou-se a partir da década de 70, em que o crescimento da automação e da mecanização levou a que a confiabilidade e a disponibilidade se tornassem pontos-chave em setores muito distintos como a saúde, processamento de dados, telecomunicações, entre outras. Nesta geração reforçou-se o conceito de manutenção preditiva, caracterizou-se pela procura de uma elevada disponibilidade, elevada fiabilidade, elevado grau de segurança, melhor qualidade dos produtos, longa vida dos equipamentos, eficiência do investimento, sem provocar danos para o ambiente.

A figura 1 apresenta um resumo das três gerações da manutenção.

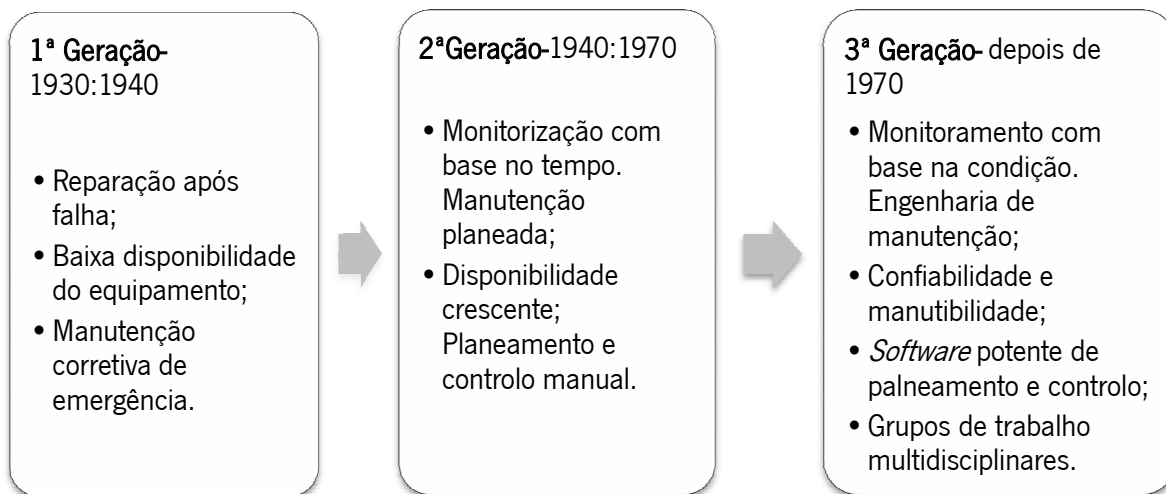


Figura 1: Esquema de resumo de evolução da manutenção (adaptado de Moubray (1997)).

### 2.1.3 Importância e objetivos da manutenção

A importância da manutenção tem crescido nos últimos anos, esta atingiu um papel significativo no desempenho das organizações pois é diretamente responsável pela operação correta do processo de produção. A manutenção é, então, necessária para manter o equipamento em boas condições de trabalho e disponível para alcançar um alto nível de produtividade de produtos de qualidade (Oliveira et al, 2014). Porém, esta nem sempre foi desenvolvida e aproveitada da melhor forma por parte das organizações, pois muitas vezes era vista como um custo para a produção, como referem Chand & Shirvani (2000), sendo que o custo de ações de manutenção corretiva representa em muitos casos, uma das maiores percentagens de custos totais da organização. Segundo Veldman et al (2011), nos últimos anos os gestores industriais têm compreendido que a manutenção pode ser uma função geradora de lucro e não apenas mais um custo.

Para Faria (1994), o principal objetivo de uma empresa é a obtenção de lucro, diferenças entre ganhos e despesas, e os departamentos que gerem ganhos são os departamentos de produção e marketing, por outro lado, o departamento de manutenção é visto como um dos responsáveis pelas despesas. Neste sentido, aquando situações de crise ou situações económicas pouco estáveis, a manutenção era vista como dispendiosa ou secundária ficando sujeita a cortes ou reduções. Hoje em dia, já se está

consciente que a manutenção pode desempenhar uma função vital na melhoria da produção, contribuindo para a melhoria da organização, minimizando problemas, deixando de ser um "mal necessário" (Marçal, 2004). Assim, existe, uma forma de otimizar resultados e reduzir custos para sobreviver a um mundo que se encontra em constante evolução.

Segundo Pinto (2013), o departamento de manutenção tem uma importância vital no funcionamento da empresa ou organização. Este autor considera que de pouco adianta o gestor de operações procurar ganhos de produtividade se os equipamentos não dispõem de manutenção adequada. Cabe à manutenção zelar pela condição dos bens físicos, devendo esta antecipar-se aos problemas através de um serviço contínuo de monitorização dos bens a serem mantidos. O planeamento criterioso da manutenção e a execução rigorosa do plano permitem o fornecimento estável dos produtos e serviços, graças ao trabalho contínuo dos equipamentos e sistemas, reduzindo ao mínimo as paragens.

Segundo Kardec et al (1998), o departamento de manutenção não deverá ser visto como aquele que realiza somente manutenção, mas sim como um processo de planos de desenvolvimento, planos de manutenção para que os equipamentos não avariem. Este departamento deve ser considerado como parte dos processos estratégicos. Para este autor, o departamento de manutenção apresenta como objetivos: aumento do lucro, aumento da disponibilidade, aumento da segurança dos trabalhadores e instalações/ equipamentos e redução de custos. Contudo, nem sempre é possível que a manutenção otimize todas estas áreas em simultâneo, assim caberá à gestão de manutenção encontrar um equilíbrio.

Embora não sendo uma das funções primárias de uma organização, a função manutenção contribui de forma indireta para a adição de valor aos produtos e serviços que uma empresa disponibiliza ao mercado. A importância da manutenção aumenta, assim, com a crescente complexidade das instalações, equipamento e sistemas disponíveis em cada empresa (Pinto, 2003).

Os objetivos da manutenção variam consoante o tipo de manutenção aplicada, sendo que estes objetivos devem ser mensuráveis e consistentes com a respetiva política de manutenção (NP 4488, 2008). Na figura 2, pode-se visualizar os principais objetivos da manutenção.

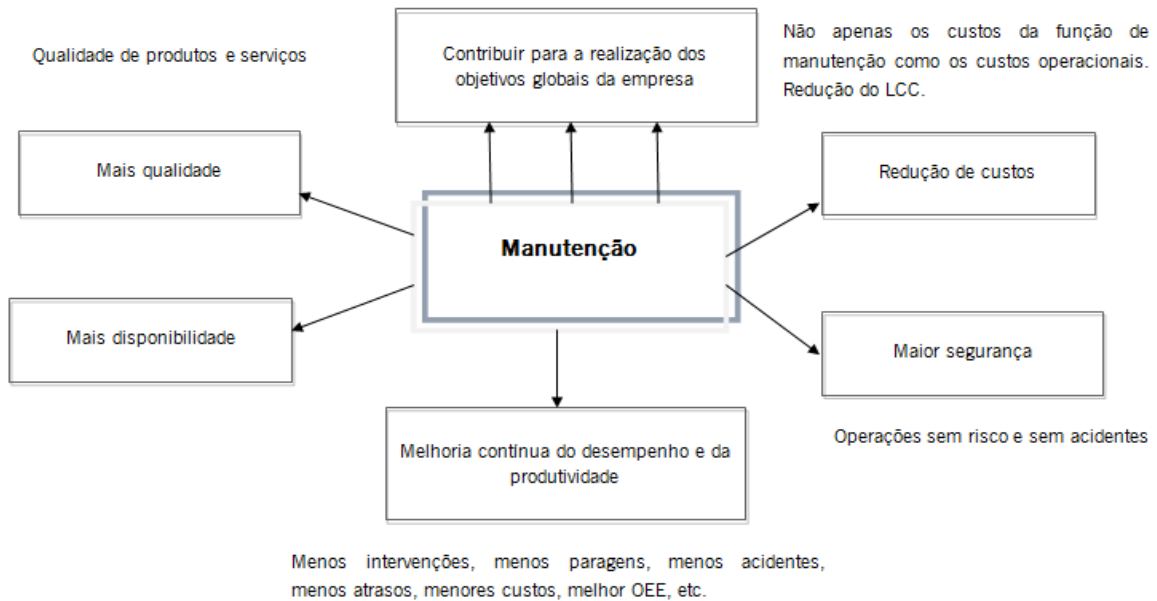


Figura 2: Principais objetivos da função manutenção (adaptado de Pinto (2013)).

De uma forma geral, pode-se listar os seguintes objetivos da manutenção:

- Assegurar a segurança das pessoas e dos bens;
- Assegurar os níveis de qualidade nos meios de produção e produto;
- Assegurar o baixo custo do produto.

Os objetivos da manutenção devem ser compatíveis com os objetivos da empresa de tal modo que, em termos de custos, o objetivo principal seja o de atingir o equilíbrio entre os custos da não disponibilidade e os custos dos recursos de manutenção. Em relação aos objetivos de qualidade, a manutenção terá de contar com a crescente exigência do mercado em relação a produtos e serviços de elevada qualidade e em conformidade com normas e pedidos do cliente (Pinto, 2013).

## 2.2 Tipo de manutenção

A política de manutenção mais antiga consiste em deixar o equipamento funcionar até que ocorra uma avaria, nessa altura procede-se à reparação, no entanto, a existência de equipamentos cada vez mais complexos, e a necessidade de reduzir tempos e custos esteve na origem do desenvolvimento da manutenção planeada, e em especial da manutenção preventiva.

Segundo Assis (2004), a manutenção de um determinado sistema pode ser feita de duas formas diferentes: prevenindo/ diagnosticando ou reparando. Assim, podemos classificar as ações de manutenção em dois tipos: a preventiva e a corretiva, conforme se pode visualizar na figura 3. Esta mesma classificação é feita pela norma NP EN 13306:2010.

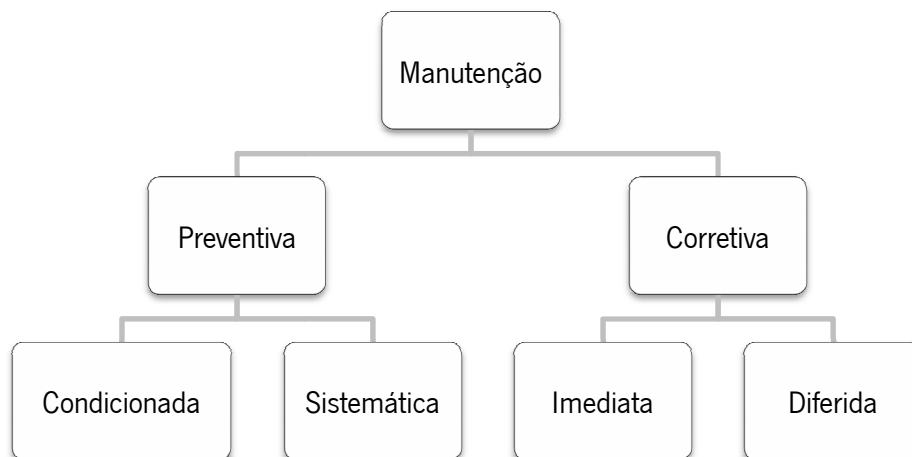


Figura 3: Classificação da manutenção segundo a norma NP EN 13306:2010.

A manutenção corretiva é levada a cabo para repor as capacidades funcionais de sistemas avariados ou com funcionamento deficiente. É uma abordagem reativa porque a ação de manutenção inicia-se após a ocorrência da falha do equipamento (Lopes, 2007).

A principal função da manutenção corretiva, tal como indica o seu nome é corrigir ou restaurar as condições de funcionamento de um determinado item, ou seja, efetua-se quando este apresenta índices de performance abaixo do esperado, ou em caso de avaria.

Quando se utiliza a manutenção corretiva não existem custos de manutenção até que ocorra uma avaria, contudo é o tipo de manutenção que acarreta mais custos (Marcorin e Lima, 2003). Os custos deste tipo de manutenção devem-se essencialmente à baixa utilização dos itens, à diminuição do tempo de vida da máquina, a perdas de produção devido a falhas que ocorrem de modo aleatório, a elevados inventários de peças sobresselentes e elevado número de horas extraordinárias de trabalho.

Dado que este tipo de manutenção não antevê ocorrências de falhas é necessário dispor de um *stock* de peças que possibilite reparar os equipamentos mais importantes, bem como ter uma equipa de manutenção para atuar imediatamente.

Segundo a NP EN 13306:2010, a manutenção preventiva consiste nas tarefas de manutenção realizadas em intervalos predeterminados ou de acordo com critérios estabelecidos, destinada a

reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um determinado item. No que concerne a este tipo de manutenção as operações mais comuns são a limpeza, lubrificação, substituição ou revisão. Como vantagens associadas a manutenção preventiva podem-se apontar:

- Aumento da fiabilidade do item;
- Redução de custos e do número de paragens não planeados;
- Aumento da vida do item;
- Controlo da carga de trabalho;
- Aumento da segurança;
- Facilita o controlo dos *stocks*.

Este tipo de manutenção subdivide-se em manutenção sistemática e em manutenção condicionada. Para a norma NP EN 13306: 2010, a manutenção sistemática é definida como a manutenção preventiva efetuada a intervalos de tempo preestabelecidos ou segundo um número definido de unidades de utilização mas sem controlo prévio do estado do bem. Por outro lado, a manutenção preventiva condicionada, é baseada na vigilância do funcionamento do bem e/ou dos parâmetros significativos desse funcionamento, integrando as ações daí decorrentes. A manutenção preventiva sistemática considera que as falhas são previsíveis, neste sentido, as operações são planeadas com uma determinada periodicidade para realizar a manutenção antes que ocorra a falha. Este tipo de manutenção representa uma evolução quando comparada com a manutenção corretiva, uma vez que permite diminuir a taxa de avarias que afetam o equipamento (devido à intervenção pré - estabelecida). A manutenção preventiva condicionada identifica-se com a realização de um acompanhamento do estado do item através de meios de vigilância sistemáticos (Monchy, 1989). Este tipo de manutenção é então considerado como sendo mais rentável, uma vez que, a intervenção é realizada imediatamente antes da ocorrência da avaria ou falha.

Segundo Pinto (2013), qualquer que seja a política de manutenção adotada, é sempre mais económico planear uma atividade do que não planear, uma vez que, falhar no planeamento é planear para falhar. Além dos custos diretos associados à perda de produção ou de serviço, há ainda que considerar os custos indiretos. Contudo, também é importante que se considere a existência de limites na extensão do planeamento da manutenção, ou seja, a manutenção preventiva poderá não ser técnica e economicamente viável para todos os equipamentos ou sistemas. Assim, de uma forma geral, independentemente da classificação, o objetivo da manutenção planeada deverá ser a diminuição dos trabalhos não planeados com o mínimo custo, isto é, maximizar a disponibilidade do equipamento ao mínimo custo possível.

## 2.3 Indicadores de desempenho da manutenção

A maior parte das empresas procuram permanecer no mercado com uma cota de participação estável ou crescente, isto significa que o objetivo é caminhar para a melhoria da performance. Este caminho poderá estar relacionado com a boa definição de indicadores, pois estes conseguirão medir o desempenho assim como aferir sobre melhorias alcançadas. Estes trazem consigo vantagens uma vez que possibilitam a identificação de tendências, comparação de resultados e assim definir ações de melhoria.

Segundo a norma NP EN 13306:2010, gestão de manutenção é definida como sendo todas as atividades de gestão que determinam os objetivos, estratégias e responsabilidades que dizem respeito à manutenção e que os implementam por diversos meios, tais como, o planeamento, o controlo e a supervisão da manutenção e a melhoria de métodos na organização, incluindo os aspetos económicos. Assim, esta norma estabelece como responsabilidade da gestão da manutenção a definição da estratégia da manutenção que melhor vá de encontro com a estratégia da empresa.

Como se sabe, apenas se consegue controlar aquilo que é possível medir, esta medição é um fator chave na gestão da performance.

Para Pinto (2013), um indicador serve para fornecer uma indicação sobre determinada característica ou acontecimento, um indicador de gestão ou KPI (*key performance indicator*), é uma relação racional e significativa do valor de dois elementos característicos da empresa. Este autor diz que a utilidade dos KPI pode ser resumida pelos pontos a seguir:

- Ajuda na tomada de decisões de gestão;
- Tomada de decisão baseadas em factos e não em opiniões;
- Possibilidade de fazer comparações de atividade entre dois anos diferentes;
- Avaliar os benefícios de uma política de manutenção;
- Preparar o orçamento da manutenção;
- Avaliar as alternativas de subcontratação;
- Ajudar a identificar problemas e oportunidades de melhoria.

Para Cabral (2006), é uma boa política encontrar indicadores expressivos mas simples de calcular; utilizar poucos indicadores e manter a possibilidade de ir ao pormenor para investigar desvios e variações anómalas.

O facto de existir uma grande quantidade de indicadores não é condição necessária para que se garanta o desempenho adequado do sistema. Por vezes, este é um dos problemas mais comum, ou seja, existe muitas vezes indicadores em quantidade excessiva que na realidade não têm utilidade. Assim, os indicadores escolhidos devem ser poucos mas rigorosos, expressivos e de cálculo simples e que permitam a sua própria filtragem.

Para Kumar (2006), um indicador deve ser SMART: *Specific, Measurable, Attainable, Realistic e Timely*.

- *Specific* (Específico): claro, inequívoco e focado no que realmente se quer medir;
- *Measurable* (Mensurável): quantificado e comparável;
- *Attainable* (Atingível): possível de atingir;
- *Realistic* (Realista): encaixar-se nas condições específicas da organização;
- *Timely* (Oportuno): deve refletir o *status* da organização a cada momento.

Quando os indicadores são definidos devem compreender pelo menos as seguintes características: nome, tipo, definição precisa e dados necessários para o cálculo.

A norma portuguesa NP EN 15341 de 2009 apresenta os indicadores chave de desempenho usados na manutenção, formando três grandes grupos: os indicadores técnicos, os organizacionais e os económicos. Muitos indicadores podem ser criados, contudo é de elevada relevância usar um documento normalizado, de modo a permitir, no futuro, análises e até comparações entre organizações que sejam equilibradas e claramente definidas. Os indicadores chave, segundo esta norma são sintetizados na figura 4.

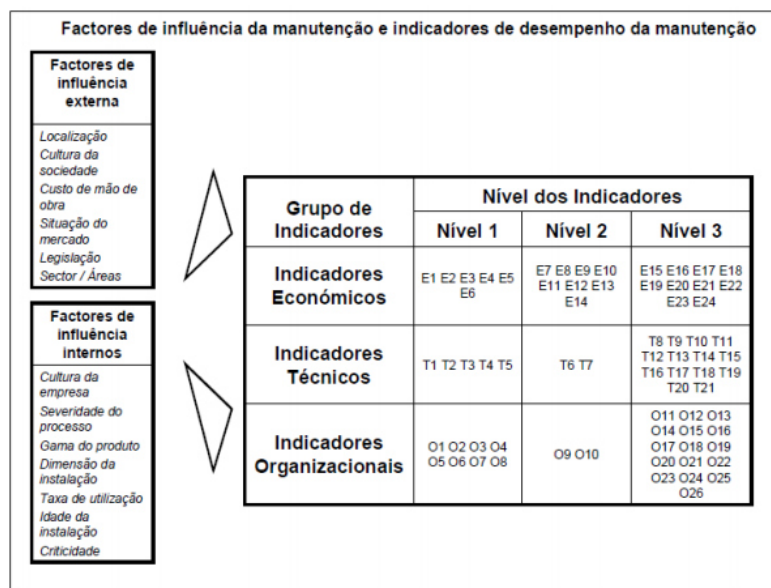


Figura 4: Indicadores chave em manutenção segundo a norma NP EN 15341:2009.



## 2.4 Custos de manutenção

A manutenção tem como objetivo amenizar os efeitos que as falhas dos equipamentos têm nas empresas e as consequências para a produção, assim como, contribuir para a eficácia económica da empresa.

Como se sabe, todas as intervenções de manutenção acarretam custos, contudo, estes nem sempre podem ser quantificados.

Segundo Monchy (1989), os custos de manutenção podem ser divididos em custos diretos de manutenção, custos indiretos, custos especiais, entre outros.

Relativamente aos custos de manutenção preventiva, estes variam consoante o número de intervenções, mas devido ao aumento da frequência de intervenções preventivas o custo de paragem vai diminuir, como mostra a figura 5.

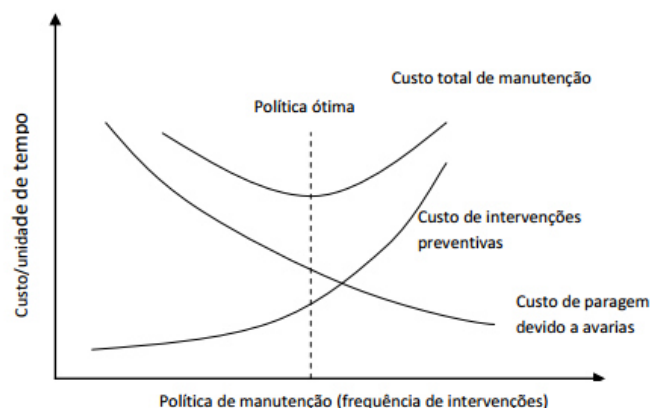


Figura 5: Custos de manutenção (Lopes (2007)).

### 2.4.1 Custos diretos

Monchy (1989), considera que os custos diretos de manutenção são dados por:

- Custos de mão-de-obra: produto do tempo gasto na reparação por uma taxa horária;
- Despesas gerais do serviço de manutenção: custos com a mão de obra administrativa, gastos comuns ou encargos gerais, custos fixos e acessórios à manutenção como o apoio administrativo, climatização ou telefones;

- Custos de posse dos *stocks*, das ferramentas e das máquinas, próprios da manutenção: gastos inerentes à posse dos materiais em armazém, bem como ligado ao mesmo, custos caracterizados por uma taxa de amortização, englobando a desvalorização por uso ou obsolescência;
- Custos das peças de reposição: valor da fatura de compra mais os custos relacionados com o transporte e execução da encomenda;
- Custos de contratos de manutenção: valor referente às obrigações pecuniárias;
- Custos da subcontratação: valor da fatura emitida pela entidade prestadora do serviço.

Assim, os custos diretos, resultam da soma dos custos apontados acima. Estes custos, são considerados os mais simples de calcular (muitas vezes os únicos considerados), pois estes são os valores que chegam primeiramente ao responsável da manutenção e utilizados nas primeiras análises técnico económicas.

#### 2.4.2 Custos indiretos

Os custos indiretos são atribuídos à falta de eficiência. Para o cálculo destes custos é necessário estabelecer as condições ideais de funcionamento, assim poder-se-á analisar e comparar as diferenças provocadas pelas condições de funcionamento não tão eficientes. Monchy (1989), afirma que, os custos indiretos da manutenção são associados a:

- Perda de produtividade resultante da baixa manutenção aos equipamentos que origina perda de rendimento;
- Paragens devido a avarias, ineficiência originando uma taxa de avarias acrescida;
- Acidentes ou avarias graves resultantes da falta de manutenção que originam indemnizações, multas entre outros;
- Defeitos resultantes de uma produção deficitária provocada por uma manutenção ineficaz (falta de regulação ou afinação, por exemplo);
- Perda de imagem comercial, uma vez que esta se enfraquece com a qualidade dos produtos a se deteriorar e falha de produção associada.

## 2.5 Modelos de manutenção

Segundo Campbell et al (2001) a classificação dos diversos modelos em função do tipo de decisão a tomar pode ser feita da seguinte forma: Modelos que abarcam a definição de políticas de manutenção preventiva ou substituição preventiva a adotar, assim como decisões em relação ao aprovisionamento de peças de reserva face a estas políticas; Modelos que determinam a periodicidade ótima de inspeção de sistemas, assim como as decisões a tomar face à adoção da manutenção condicionada; Modelos que ajudam na decisão de manter ou substituir equipamentos reparáveis, estes têm em consideração o efeito do valor temporal do dinheiro por incluírem, normalmente, os custos envolvidos em todo o ciclo de vida do equipamento; Modelos ligados ao planeamento de recursos de manutenção (mão-de-obra e ferramentas/ equipamentos).

Os modelos de manutenção, mais especificamente os modelos de substituição preventiva, permitem especificar o intervalo ótimo de substituição de cada componente com o objetivo de evitar desperdício do tempo de vida, por atuar demasiado cedo, ou por deteriorar os equipamentos quando se atua demasiado tarde.

Existem vários modelos que têm como objetivo encontrar a melhor política de manutenção para determinados equipamentos, considerando a sua fiabilidade e os custos associados às avarias e às intervenções de manutenção preventiva. Existem ainda modelos que permitem aferir sobre a vantagem ou não da substituição. A maior parte dos modelos visam minimizar o custo total da manutenção, porém alguns deles procuram minimizar o tempo de paragem do equipamento ou maximizar a sua disponibilidade (Lopes, 2007).

Os modelos que serão abordados ao longo deste projeto basear-se-ão nas políticas *Block Replacement Policy* e o *Age-based Preventive Replacement Policy*. Estas políticas e os respetivos modelos visam definir o intervalo de manutenção preventiva ou de substituição a adotar de forma a diminuir o número de falhas do equipamento. Estes pretendem encontrar a periodicidade de substituição em função dos custos de manutenção associados. No caso destes modelos, não se consideram o tempo despendido nas intervenções de manutenção, contudo, este tempo pode ser facilmente incluído se for considerado relevante.

Como referido anteriormente, a manutenção preventiva tem como objetivo prevenir o acontecimento de falhas, antecipando a substituição dos componentes que constituem o sistema. Este tipo de manutenção é adequado a equipamentos em que a função de risco aumenta com o uso. Assim,

assume-se que depois da substituição do componente este volta ao seu estado inicial - tão bom quanto novo - e estes tempos de falhas podem ser modelados por recurso a distribuições estatísticas.

### 2.5.1 Modelação dos tempos de falha

O primeiro passo para que se consiga utilizar um modelo de manutenção é modelar os dados de falha. A distribuição mais comumente utilizada para modelar o tempo vida dos componentes, é a distribuição de *Weibull*, pois esta assume uma variedade de forma muito grande, podendo ser utilizada em diversos tipos de dados (Furtado, 2009). Esta distribuição foi desenvolvida por Waloddi Weibull sendo muito utilizada na análise da fiabilidade pois adapta-se à maioria das situações devido à grande flexibilidade.

A distribuição de *Weibull* é descrita pelos parâmetros de forma, escala e localização:  $\beta$ ,  $\mu$  e  $\gamma$ , respetivamente. Quando o parâmetro de localização é zero tem-se uma distribuição de *Weibull* com dois parâmetros.

No caso geral, quando vimos a distribuição como triparamétrica a sua função densidade de probabilidade é dada por:

$$f(t) = \left(\frac{\beta}{\mu}\right) \left(\frac{t-\gamma}{\mu}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\mu}\right)^\beta} \quad (E1)$$

$$t, \beta, \mu \text{ e } \gamma \geq 0.$$

No caso da distribuição de *Weibull* com dois parâmetros ( $\beta$  e  $\mu$ ), as funções utilizadas para modelar a variável aleatória tempo até que ocorra uma falha  $t$  são:

- Função densidade de probabilidade:  $f(t) = \left(\frac{\beta}{\mu}\right) \left(\frac{t}{\mu}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\mu}\right)^\beta}, t > 0$  (E2)

- Função fiabilidade:  $R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\mu}\right)^\beta}, t > 0$  (E3)

- Função de risco:  $h(t) = \left(\frac{\beta}{\mu}\right) \left(\frac{t}{\mu}\right)^{\beta-1}, t > 0$  (E4)

Note-se que a função de risco pode apresentar características distintas. Pode ser uma função constante, crescente ou decrescente.  $\beta$  o parâmetro de forma, caracteriza os vários padrões da função de risco, isto é:

- Se  $\beta = 1$  a distribuição de *Weibull* aproxima-se de uma distribuição exponencial negativa, onde a função de risco é constante;
- Se  $\beta < 1$  tem-se uma função de risco decrescente;
- Se  $\beta > 1$  a função de risco é crescente.

### 2.5.2 Age Replacement Policy

Segundo Lopes (2007), encontram-se na literatura diversos autores que explicam a política baseada na idade ou no tempo de funcionamento do equipamento, destacando-se Ascher e Feingold (1984), Barlow e Hunter (1960) e Barlow e Proschan (1965). Esta política - *Age Replacement Policy* - considera que a substituição dos componentes é realizada depois de decorrer um intervalo de tempo fixo de operação (T) dos sistemas sem que se tenha verificado falhas, ou então quando a falha ocorre (conforme figura 6). Esta política conjectura que os tempos de falhas são independentes e identicamente distribuídos ou que a função de risco dos componentes é crescente.

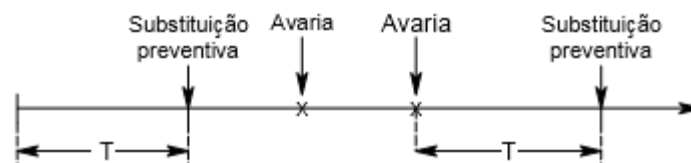


Figura 6: Substituição em intervalos de operações constantes (Lopes, 2007).

Lopes (2007) cita Sheu e Griffith (2001), autores que apresentaram um modelo para determinar a idade de substituição de uma unidade em operação onde a peça sobresselente não está sempre disponível. No seu modelo, os autores, consideram dois tipos de falha: a primeira, tratando-se de uma reparação e que torna o sistema tão bom quanto novo, e a segunda que obriga a substituição do equipamento.

Siopa et al (2012) dizem que o modelo de substituição baseado na idade ótima define uma estratégia de manutenção com base em consequências de falha e da variação de taxas de falha do componente ao longo do tempo das operações. No seu trabalho os autores propõem uma adoção do modelo de idade ótima de substituição a fim de otimizar simultaneamente a alocação de redundâncias e o

respetivo plano de manutenção do equipamento, tendo como objetivo principal obter uma metodologia simples que necessite do mínimo dos dados possível.

No *Age Replacement Policy* a substituição dos itens é realizada depois de decorrido um intervalo de tempo fixo da operação sem que exista falha, ou então, quando à ocorrência de falha, obrigando a que a idade do componente seja monitorizada.

A nível dos custos totais por unidade de tempo, para determinar esta expressão há necessidade de considerar dois ciclos de operação diferentes. O ciclo 1 corresponde ao caso onde se realiza substituição preventiva com base num tempo fixo  $T$ , isto é, verifica-se quando o item não falha num intervalo  $[0, T]$ . No ciclo 2 substitui-se devido à ocorrência de falha ( $M(T)$ ), ou seja, quando a falha acontece antes que seja atingido o instante  $T$ .

Considere-se:

$c_p$ : custo de substituição preventiva;

$c_f$ : custo de substituição após a falha do componente;

$f(t)$ : função densidade de probabilidade de falha do componente;

$T$ : intervalo entre substituições preventivas.

Assim, o custo total, por unidade de tempo, com substituições preventivas no instante  $t$  é dado pela seguinte expressão:

$$C(T) = \frac{\text{Custo total esperado por ciclo}}{\text{Comprimento esperado do ciclo}} \quad (E5)$$

com,

$$\begin{aligned} \text{Custo total esperado por ciclo} &= \text{custo substituição preventiva} \times \text{prob. de se verificar o ciclo 1} \\ &\quad + \text{custo da falha} \times \text{prob. de se verificar o ciclo 2} \\ &= c_p R(T) + c_f [1 - R(T)] \end{aligned} \quad (E6)$$

onde  $R(T)$  representa a fiabilidade do item para um período de tempo  $T$ :  $R(T) = \int_T^{\infty} f(t) dt$

$$\begin{aligned} \text{Comprimento esperado do ciclo} &= \text{comprimento do ciclo 1} \times \text{prob. de se verificar o ciclo 1} \\ &\quad + \text{comprimento do ciclo 2} \times \text{prob. de se verificar o ciclo 1} \\ &= T \cdot R(T) + M(T) \cdot [1 - R(T)] \end{aligned} \quad (E7)$$

$M(T)$  corresponde ao comprimento esperado do ciclo 2 que consiste no tempo médio em que o *item* estará a funcionar antes que ocorra a falha, sendo que esta é calculada recorrendo à expressão:

$$M(T) = \int_{-\infty}^T \frac{t \times f(t)}{1-R(t)} dt \quad (E8)$$

Assim, a expressão resultante é:

$$C(T) = \frac{C_p \times R(T) + C_f \times [1-R(T)]}{T \times R(T) + M(T) \times [1-R(T)]} \quad (E9)$$

A nível da distribuição de Weibull, a *Age Replacement Policy* apresenta uma expressão que permite obter o custo total por unidade de tempo:

$$C(T) = \frac{C_p \times e^{-(T/\mu)^\beta} + C_f \times [1 - e^{-(T/\mu)^\beta}]}{\int_0^T e^{-(t/\mu)^\beta} dt} \quad (E10)$$

### 2.5.3 Block Replacement Policy

Nakagawa (2005) no seu livro "*Maintenance theory of reliability*" afirma que se num sistema constituído por uma bloco ou por um grupo de unidades se a sua idade não for observada e só as suas falhas forem conhecidas, então todas as unidades podem ser substituídas periodicamente independentemente da sua idade de uso. Neste caso, esta política designa-se *Block Replacement Policy*.

Lopes (2007) indica que a substituição preventiva baseada nesta ocorre em intervalos de tempos fixos e que a substituição devido à falha ocorre sempre que necessário. Neste modelo o intervalo entre as substituições é curto sendo este desenvolvido com base num só ciclo de operação, caso contrário haveria necessidade de analisar os diversos ciclos durante o período de operação do equipamento e incluir no modelo a evolução do dinheiro ao longo do tempo.

Assim, considera-se que o intervalo entre substituições é curto sendo este desenvolvido com base num único ciclo de operação ( $t_0$ ), caso contrário seria essencial analisar os vários ciclos durante o tempo de operação do equipamento e incluir no modelo a evolução do dinheiro ao longo do tempo, como se pode verificar na figura 7.

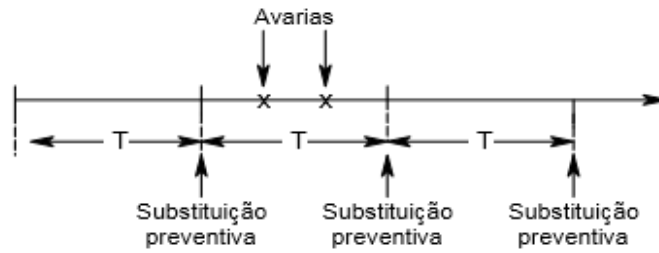


Figura 7: Substituição em intervalos de tempos constantes (Lopes, 2007).

Considere-se então:

$C_p$ : custo de substituição preventiva;

$C_f$ : custo de substituição após a falha do componente;

$f(t)$ : função densidade de probabilidade de falha do componente;

$t_p$ : intervalo entre substituições preventivas.

Na política *Block Replacement Policy*, o custo total esperado por unidade de tempo com substituições preventivas no instante  $t_p$  é dado por:

$$C(t_p) = \frac{\text{Custo total no intervalo } [0, t_p]}{\text{Comprimento do intervalo}} \quad (E11)$$

em que,

$$\begin{aligned} \text{Custo total no intervalo } [0, t_p] &= \\ &= \text{custo substituição preventiva} + \text{custo esperado associado às falhas} \\ &= C_p + C_f \times H(t_p) \end{aligned} \quad (E12)$$

com  $H(t_p)$  função de renovação ou o número esperado de falhas no intervalo  $[0, t_p]$ , assim obtém-se,

$$C(t_p) = \frac{C_p + C_f \times H(t_p)}{t_p} \quad (E13)$$

Derivando a expressão em ordem a  $t_p$  e igualando-a a zero obtém-se a expressão correspondente à solução ótima

$$\frac{C_p}{C_f} = t_p \times h(t_p) - H(t_p) \quad (E14)$$

em que  $H(t_p) = \int_0^{t_p} h(t) dt$ .

O intervalo ótimo de substituição também pode ser obtido numericamente ou graficamente, determinando o valor de  $t_p$  que minimiza o custo total.



Jardine (1973), apresenta duas formas para a determinação de  $H(t_p)$ , número esperado de falhas. Este pode ser determinado através da teoria da renovação (utilizando transformadas de *Laplace*) ou recorrendo a uma abordagem discreta.

A determinação de  $H(t_p)$  recorrendo à teoria de renovação é um processo complexo, figura 8

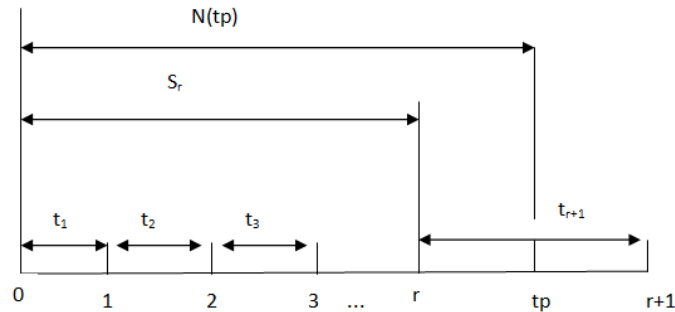


Figura 8: Determinação de  $H(t_p)$  com recurso à teoria da renovação (Fonte Jardine (1973)).

Com:

$N(t_p)$ : número de falhas no intervalo  $[0, t_p]$ ;

$t_1, t_2, t_3$ : intervalo entre falhas;

$S_r$ : tempo até à falha  $r$ .

A expressão para obtenção de  $H(t_p)$  é obtida com recurso às transformadas de Laplace, sendo estas complexas, podendo ser consultadas em Jardine (1973).

O caso discreto é ilustrado na figura 9 onde se tem quatro semanas entre substituições preventivas. Então,  $H(4)$  é o número esperado de falhas no intervalo  $[0,4]$ , começando com o novo equipamento.

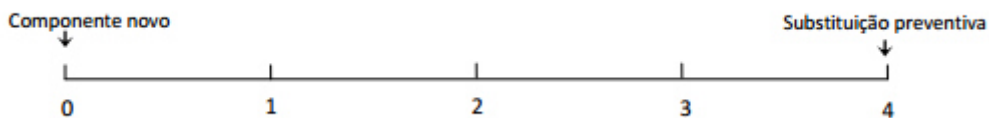


Figura 9: Determinação de  $H(t_p)$  no caso discreto (Fonte Jardine (1973)).

A expressão, para o caso discreto, que permite obter  $H(t_p)$  é dada por:

$$H(t_p) = \sum_{i=0}^{t_p-1} [1 + H(t_p - i - 1)] \times \int_0^{i+1} f(t) dt \quad (E15)$$

Frise-se que com bases nestes dois modelos, determinar-se-á a quantidade necessária de produtos num dado intervalo.

#### 2.5.4 Substituição em Grupo

Já em 1920 se falava no conceito de tecnologia de grupo, onde as peças eram agrupadas de acordo com as suas características semelhantes e fabricadas num processo padronizado. De um modo geral, tecnologia de grupo pode ser considerada como uma teoria de gestão que assume como princípio "coisas semelhantes devem ser feitas de forma semelhante".

Hitomi (1969) define tecnologia de grupo como sendo um método que se foca em estabelecer grupos de peças ou famílias de peças com base em semelhanças comuns a todas as peças num determinado grupo específico. Na parte de produção, a tecnologia de grupo é mais comumente utilizada para células.

Por vezes é mais vantajoso optar-se pela substituição de itens semelhantes em grupos uma vez que o custo de substituição do grupo pode ser menor.

Segundo Jardine (1973), existe um grande número de *itens* semelhantes que estão sujeitos a falhas sempre que um item não é substituído por um novo. Este autor desenvolveu um modelo, baseado na suposição de que a política de substituição era realizada em intervalos fixos de tempo e que esta é utilizada para determinar o intervalo ótimo entre substituições de grupo de forma a minimizar o custo total esperado por unidade de tempo.

Considere-se:

$C_p$ : custo de substituição de um item em condições de substituição de grupo;

$C_f$ : custo de substituição após a falha;

$f(t)$ : função densidade de probabilidade de falha do item;

$N$  é o número total de itens no grupo;

A política de substituição é a realização de substituição do grupo a intervalos constantes de duração  $t_p$ , com substituições de falha que ocorrem tantas vezes quanto necessário no intervalo  $[0, t_p]$ .

O custo de substituição esperado por unidade de tempo, para o grupo no tempo  $t_p$  é dado por:

$$C(t_p) = \frac{\text{Custo total esperado no intervalo } [0, t_p]}{\text{Comprimento do intervalo}} \quad (E16)$$

em que

$$\text{Custo total esperado no intervalo } [0, t_p] =$$

$$\begin{aligned}
&= \text{custo de substituição em grupo no tempo } t_p + \text{custo devido a falhas no intervalo } [0, t_p] \\
&= N \times C_g + N \times C_f \times H(t_p) \qquad (E17)
\end{aligned}$$

sendo  $H(t_p)$  o número esperado de falhas no intervalo  $[0, t_p]$ , assim obtém-se,

$$C(t_p) = \frac{NC_g + NC_f H(t_p)}{t_p} \qquad (E18)$$

No artigo "*Equipment assignment to multiple overhaul blocks in series systems*", Talukder & Knapp (2002), descrevem um método heurístico para o agrupamento de equipamentos aquando a realização de intervenções de manutenção preventivas em grupo, o procedimento que os autores descreveram apresenta como objetivo minimizar as custos totais de manutenção. O conceito de tecnologia de grupo foi aplicado a problemas de agrupamento que envolve substituições preventivas de componentes em bloco. Segundo o mesmo artigo, quando se trabalha com a política de manutenção preventiva *Block Replacement* considera-se um único intervalo de substituição e este é determinado para todos os componentes, isto é, o sistema é visto como um só componente.

Talukder & Knapp (2002), citam autores como Jardine (1972), Sherwin (1997) e Shen & Jhang (1997) como aqueles contribuíram para a evolução dos modelos de substituição em grupo. Jardine (1972) propôs um dos primeiros modelos de manutenção preventiva para grupos de componentes idênticos; já Sherwin (1997) construiu um modelo de substituição em bloco enquanto que Shen & Jhang (1997) introduziram uma política de manutenção de duas fases para um grupo de unidades idênticas e reparáveis que aliassem custos mínimos de reparação, revisão, substituição e tempo de inatividade.

Segundo os autores do artigo devem ser cumpridos os seguintes pressupostos:

- Todos os equipamentos estão relacionados numa estrutura de confiabilidade em série;
- O tempo até ocorrer falha dos equipamentos são distribuídos segundo uma distribuição de *Weibull*, com parâmetros conhecidos ou possíveis de estimar;
- Condição de manutenção planeada que leva a "*as good as new*";
- Tempos de reparação são insignificantes relativamente ao intervalo de manutenção preventiva e ao tempo médio até à falha (MTTF).

Relativamente à metodologia de grupo apresentada, os autores resumem-na de uma forma global, como mostra a figura 10.

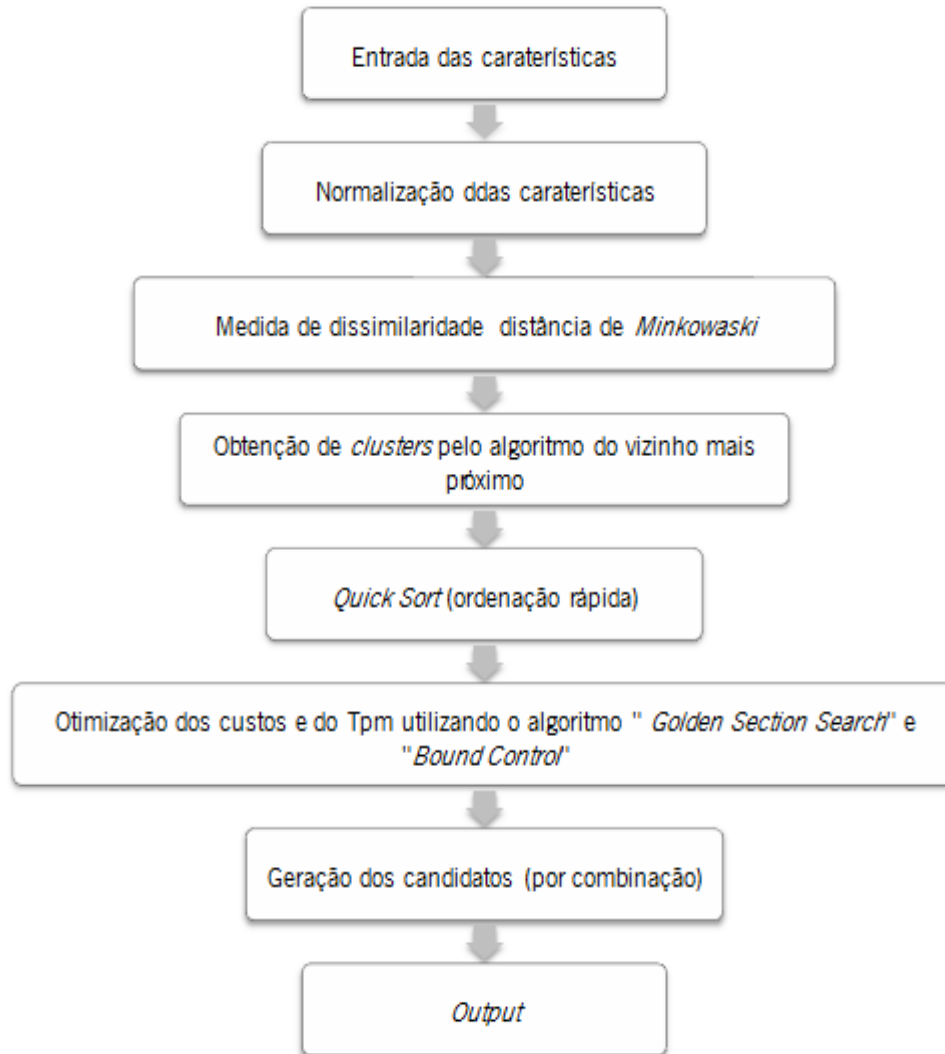


Figura 10: Metodologia utilizada para o agrupamento (adaptado de Talukder & Knapp (2002)).

No exemplo que os autores apresentam no artigo, utilizam um equipamento com 10 *itens*, em que valores dos parâmetros necessários  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $R$  foram gerados aleatoriamente e os custos foram calculados para cada um desses *itens*. Para implementar o método descrito no artigo "*Equipment assignment to multiple overhaul blocks in series systems*", os autores utilizaram o EXCEL e o SAS.

## 2.6 SMED - *Single Minute Exchange of Die*

Nos dias de hoje, a realidade vivida pelas empresas deixou de ser a de ter grandes lotes de produção, assim como, produzir para acumular *stocks*.

Os tempos de mudança de ferramenta representam um dos maiores desperdícios nas empresas atuais, dado que esta mudança não é vista como uma atividade valorizada pelo cliente.

As técnicas de mudança rápida de ferramentas, vulgarmente designadas por *quick changeover*, têm vindo a ser desenvolvidas e aplicadas na generalidade das organizações industriais para responder às pressões de mercado (redução de quantidade de fabrico, redução de *stocks*, redução de tempos e custos, etc.). Dentro de inúmeras técnicas a mais aplicada é a técnica SMED- *Single Minute Exchange of Die* -, esta técnica é utilizada com o objetivo de melhorar as condições dos *setups* realizados e com isto criar uma política de redução de custos (imediata ou a médio/ longo prazo) (Couto, 2008).

O SMED foi desenvolvido por Shiego Shingo (engenheiro da Toyota) na década de 1960 após ter melhorado o *setup* numa prensa de 1000 toneladas, passando o *setup* de 4 horas de duração para apenas 3 minutos. O SMED é um método cujo objetivo passa por alcançar tempos de preparação na ordem de um dígito (tempo em minutos). Apesar de não ser regra obter-se sempre tempos inferiores a 10 minutos, a aplicação do SMED permite reduções bastantes surpreendentes (Shingo, 1985).

Esta metodologia surgiu nas empresas justificada pela necessidade destas aumentarem a competitividade, de reduzir e controlar custos, assim como pela reengenharia dos próprios processos de produção de forma a otimizar as tarefas assim como acrescentar valor para o produto final.

### 2.6.1 Fases de implementação do SMED

Shingo (1985) distingue quatro etapas para a implementação da metodologia SMED, que foi desenvolvida ao longo dos tempos. Este autor considera que inicialmente existe a necessidade de realização de uma análise preliminar do processo e de preparação, de forma a identificar as operações que compõem o *setup*. Shingo aconselha o recurso a filmagens e entrevistas informais com os colaboradores, considerando que as operações de mudança de ferramenta podem ser classificadas em operações internas e operações externas. As primeiras caracterizam-se por serem aquelas que são realizadas com a máquina parada, em oposição, as externas realizam-se com a máquina em funcionamento.

Tendo em conta o que é dito por Shingo (1985) e Mota (2007), nos seus trabalhos, detalham-se as fases para implementação SMED da seguinte forma:

Fase 0: Não existe distinção entre operações internas e externas. Nesta situação a mudança é desorganizada e não planeada. A mudança é realizada a partir de várias tarefas, sendo que algumas implicam a paragem do equipamento (internas) e outras podem ser realizadas com o equipamento a produzir;

Fase 1: Separação entre operações internas e externas. O primeiro passo é a distinção entre operações internas e externas de forma a garantir que as primeiras se realizam com a máquina parada. Tipicamente, esta alteração poupa 30% de tempo na realização da mudança;

Fase 2: Conversão de operações internas em operações externas: Aqui o objetivo passa por tentar converter as operações internas em operações externas;

Fase 3: Desenvolvimento de todas as operações de *Setup*. Esta fase visa a diminuição do tempo das operações internas, desenvolvendo soluções para realização das diferentes tarefas de um modo mais fácil, rápido e seguro.

Mota (2007) declara que, segundo Shingo, os procedimentos que devem ser seguidos na implementação da metodologia SMED são: observar o procedimento utilizado atualmente; classificar as várias operações efetuadas entre internas e externas; converter as operações internas em externas; desenvolver soluções que permitam reduzir o tempo das operações internas; desenvolver soluções que permitam diminuir o tempo demorado nas operações externas; criar procedimentos rigorosos de modo a reduzir falhas na realização das mudanças; voltar ao início do processo e repetir todo este procedimento de modo a reduzir de novo o tempo de mudança.

### 2.6.2 Vantagens da utilização do SMED

A implementação do SMED pode ser extremamente importante para o desempenho e melhoria da empresa. Hoje em dia, os clientes para além de preços competitivos exigem qualidade, precisão e tempos reduzidos e cada vez mais apertados.

Segundo a literatura e o próprio Shingo, pode-se listar como algumas das vantagens do SMED:

- Produção sem que exista acumulação do *stock*: pedidos de volume reduzido e grande variedade faz com que haja possibilidade de realização de lotes pequenos não originando *stocks*;
- Aumento da taxa de utilização das máquinas e capacidade produtiva: com a redução dos tempos de *setup* os índices de utilização das máquinas e a sua produtividade aumentam;
- Aumento da qualidade: as condições operacionais são programadas antecipadamente o que vai originar maior qualidade e consequente redução de não conformes;
- Aumento da segurança: operações mais seguras pois tornam-se mais simples;
- Aumento da eficiência: devido à redução dos tempos de mudança da ferramenta;
- Redução de custos: o aumento da produtividade vai fazer diminuir os custos;
- *Honsekeeping* simplificado: redução do número de ferramentas necessárias;
- Redução dos tempos de produção: devido à redução do tamanho do lote há redução do tempo e que o lote espera para ser processado e o tempo que cada lote espera para estar completo;
- Aumento da flexibilidade de produção: permite responder às mudanças de demanda.

Note-se que a aplicação da metodologia SMED consiste em ações de melhoria, resultado de trabalho de equipa, procurando a redução de tempos e atividades de mudança ou ajuste, com o objetivo de maximizar a utilização de meios e o aumento da flexibilidade dos processos. As consequências diretas da redução do tempo de mudança são a redução dos custos e a dos lotes de fabrico. As reduções dos tempos de *setup* só se consegue, e só se obtêm os resultados desejados, com a contribuição de todos. Por norma, não são o resultado de grandes contributos de poucas pessoas, mas sim de pequenos contributos de muitas pessoas. (Pinto, 2013).

Frisa-se ainda que este método pode ser utilizado na manutenção para reduzir os tempos das intervenções.

### 3. DESCRIÇÃO DA EMPRESA E ESTADO INICIAL DA SERRALHARIA E ESTAMPAGEM

#### 3.1 Apresentação da empresa

A realização do projeto, em contexto industrial, teve lugar na empresa ETMA – *Metal Parts*. A empresa foi fundada em 1940 e a sua aposta estratégica foi ampliar o leque de ofertas de processos produtivos e de potenciar a sua experiência na área do desenvolvimento de Protótipos. Esta unidade fabril tem a capacidade de oferecer aos seus clientes peças em metal exclusivas de acordo com o desenho e características da peça do cliente. Realiza, ainda, tratamentos galvânicos, tais como: prateamento, estanhagem, cobreamento, zincagem, niquelagem (química e eletrolítica) e latonagem ([www.etma.pt](http://www.etma.pt)).

A ETMA possui uma secção de serralharia, onde são fabricadas ferramentas progressivas (e outro tipo de ferramentas) para a estampagem a frio, corte, formação e forjamento a frio. Esta mesma secção realiza o desenvolvimento, reparação e manutenção de punções e ferramentas utilizadas no fabrico de peças metálicas. Esta secção depara-se frequentemente com um número elevado de tarefas cujas prioridades não estão claramente definidas.

Como resultado da constante aposta na qualidade e na inovação, o processo produtivo é, desde 1993, certificado pelo Instituto Português da Qualidade, com a Norma NP EN ISO 9001, tendo sido a primeira Empresa do ramo a obter este certificado. Em 2009 obteve a certificação ambiental segundo a norma NP EN ISO 14001 e já no decorrer de 2010 como corolário da aposta na indústria automóvel tem o seu sistema de qualidade certificado segundo a exigente norma ISO/TS 16949. Em 2013 a ETMA transferiu o armazém de embalagem e expedição para um novo espaço localizado em Sequeira na cidade de Braga.

#### 3.2 Missão, Valores e Visão

A ETMA tem por missão criar valor para os seus clientes, para os seus acionistas e para os seus colaboradores. Esta missão é conseguida pela presença no mercado marcada pela constante aposta na qualidade, competitividade e inovação dos seus produtos e serviços e pela constante motivação dos seus colaboradores, como forma de garantir a sua sustentabilidade.



A competência e honestidade do seu desempenho e a qualidade do seu trabalho têm sido alguns dos argumentos utilizados para a crescente afirmação da empresa num sector de atividade fortemente competitivo e complexo, sendo estes os valores da empresa.

A ETMA propõe-se ultrapassar as expectativas dos seus clientes através da melhoria contínua nos domínios da qualidade, do serviço, da produtividade e da inovação, respeitando o meio ambiente. Garantir elevados níveis de produtividade no intuito de tornar a empresa mais competitiva. Utilizar tecnologia avançada nos produtos, processos e serviços. Contribuir para o desenvolvimento e bem-estar dos funcionários e da comunidade onde se insere.

O pilar fundamental da empresa assenta nas conquistas passadas e na visão que têm do futuro. A crescente diversificação de negócios e mercado e a continuação da satisfação das necessidades e expectativas dos clientes são algumas das principais metas a atingir. Apostam em ser uma referência no sector de atividade na região onde estão inseridos.

Para melhor se entender a estrutura da organização da empresa onde se desenvolveu o trabalho apresenta-se na figura 11 o organigrama da empresa.

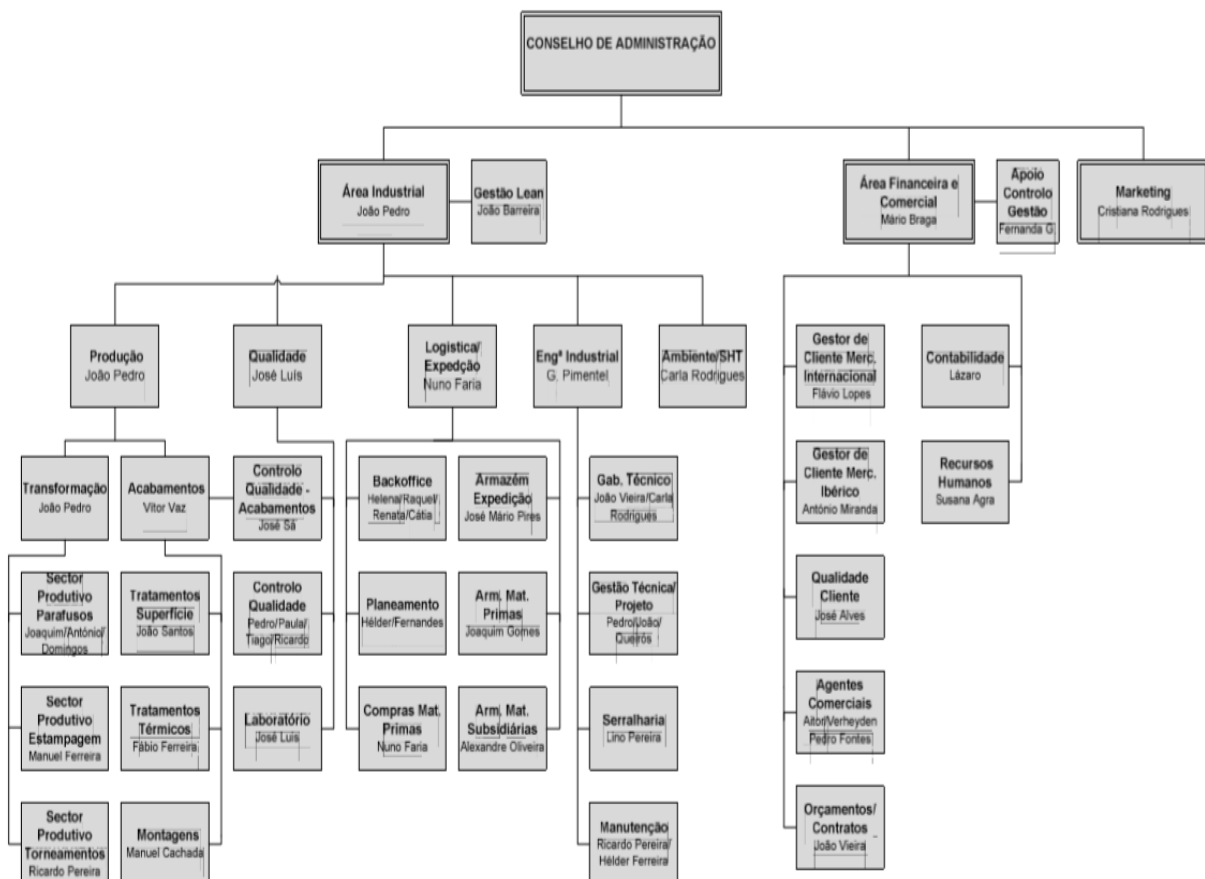


Figura 11: Organigrama funcional da ETMA

### 3.3 Principais produtos

A ETMA – Empresa Técnica de Metalurgia, S.A. é uma empresa de subcontratação na área da metalomecânica. Esta empresa dedica-se à produção de peças torneadas e estampadas assim como de parafusos. Atualmente a sua atividade está centrada na produção de componentes obtidos por estampagem para a indústria eletrónica, eléctrica, automóvel e para a conceção e produção de ferramentas para produção de peças em chapa, para aplicação nas diversas indústrias.

### 3.4 ETMA e a manutenção

No que concerne à manutenção, a ETMA pretende garantir a disponibilidade de meios e infraestruturas disponíveis e aptos para o normal funcionamento da empresa.

As atividades realizadas neste âmbito são: realização de ações de manutenção preventiva e corretiva; gestão de manutenção de equipamentos produtivos e infraestruturas; elaboração e controlo dos registos de manutenção; realização de ações de melhoria nos equipamentos produtivos.

As intervenções de manutenção das ferramentas ou punções são efetuadas na área da serralharia da empresa. Esta área é composta por um conjunto de profissionais com uma larga experiência na área e que efetuam quer substituições quer reparação de ferramentas ou punções. Para além das intervenções de manutenção estes colaboradores também têm como função a construção de novas ferramentas que serão fundamentais na parte de produção e que permitem obter a peça em questão, assim, é ainda a serralharia que apoia a área de produção, nomeadamente a estampagem, quer a nível das novas ferramentas produzidas, quer a nível das intervenções executadas.

### 3.5 Estado inicial da empresa

Como já mencionado acima, a ETMA- *Metal Parts* foi a instituição de acolhimento e onde foi realizado o trabalho tendo este duração de aproximadamente 6 meses.

O estudo em causa focou-se em dois setores da empresa: a serralharia e a estampagem. A serralharia tem como tarefas a conceção de ferramentas e seus componentes, assim como é responsável pelas

intervenções de manutenção. Na parte da produção (estampagem) existem dois tipos de máquinas - as *Bihler*'s e as Prensas, e é neste setor que se produzem as peças. Exemplos destas máquinas aparecem nas figuras 12 e 13.

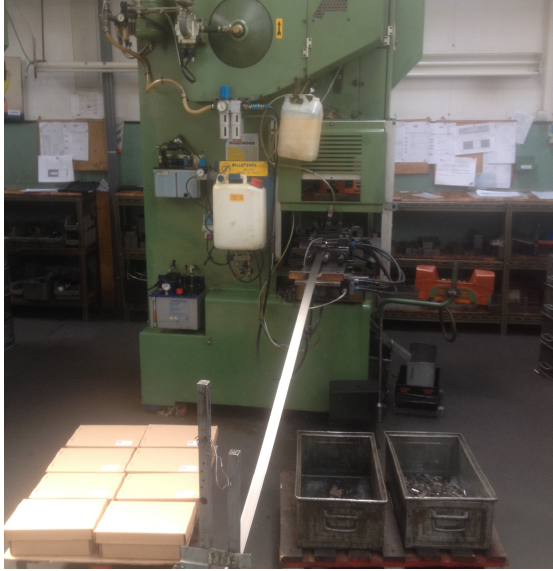


Figura 12: Imagem de um Prensa



Figura 13: Imagem de uma Bihler

Uma ferramenta é constituída por componentes que irão determinar a diferente forma da peça (Figura 14). Estes componentes podem ser punções ou matrizes, estes desgastam-se ao longo da produção, sendo necessários substituí-los de forma a não comprometer a qualidade do produto final.



Figura 14: Exemplo de ferramentas.

Como a empresa produz um leque muito variado de produtos e dado o reduzido intervalo de tempo do estágio, decidiu optar-se por analisar apenas duas ferramentas que permitissem refletir a realidade da empresa, e para que futuramente os resultados obtidos e metodologias aplicadas possam ser replicados. Neste sentido, para testar qual o melhor modelo a ser aplicado, assim como aferir sobre a periodicidade ótima de manutenção preventiva, optou-se pela análise da "Abraçadeira". Decidiu-se também estudar os tempos de montagem/desmontagem da ferramenta que produz o "Borne M5 DF". No que concerne à Abraçadeira, esta escolha justificou-se pelo facto desta apresentar um grande número de pedidos e de estar em produção praticamente constante, assim está sujeita a um número significativos de intervenções de manutenção ao longo de todo o ano.

Aquando da recolha de informação sobre o estado inicial da empresa, identificaram-se algumas fragilidades, assim como oportunidades de melhoria. A informação reunida teve por base alguns documentos existentes na empresa, informação disponibilizada por colaboradores e responsável da serralharia e estampagem e também por observação direta do processo produtivo.


Assim, nessa fase inicial foi possível ficar como o conhecimento prévio do estado em que se encontrava a serralharia e a parte de produção da empresa, assim como, conhecer os seus pontos fracos e assim identificar possíveis áreas de atuação/ melhoria.

Apresentar-se-á nas secções seguintes deste capítulo as fragilidades e problemas encontrados na análise inicial do estado das áreas em estudo, O facto de se detalhar os problemas encontrados permitirá numa fase posterior ter pontos de partida para atuar e encontrar soluções de melhoria que minimizem ou solucionem os pontos expostos.

### 3.5.1 Análise do cadastro da ferramenta

Após análise preliminar verificou-se que o registo das intervenções de manutenção era efetuado manualmente pelos operadores sendo os dados registados no "cadastro da ferramenta" - anexo 1. O registo era feito pelos colaboradores da serralharia e pelos da produção. Quando se efetuou uma análise mais detalhada verificou-se que os dados presentes nos registos não eram fiáveis. Nesta análise a ferramenta em causa foi a "Abraçadeira"- Tabela 1, o seu cadastro apresenta dados desde de setembro de 2013.

Tabela 1: Dados da Abraçadeira

Dados da peça:	Dados da ferramenta:
<ul style="list-style-type: none"> <li>Referência: 7437G</li> <li>Nº de código: 4150507437000</li> <li>Cliente: 505</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dimensão: 400×350×300</li> <li>Peso: 230 kg</li> <li>Tira: 43×1,8 mm</li> <li>Material: Fita de aço DC 03</li> <li>Localização: Estampagem.</li> </ul>
	

O registo de dados no cadastro era atualizado pelos operadores da produção quando a ferramenta necessitava de intervenção, esta era desmontada (ou por avaria ou por fim de ordem de produção) e levada para a serralharia, aí eram efetuadas as intervenções necessárias. No final o operador responsável por essa intervenção registava-a no cadastro. Para este registo os operadores preenchiam os diversos campos conforme apresentado na figura 15.

PRODUÇÃO (Estampagem/Parafusos)						MANUTENÇÃO (Serralharia)				
Montagem		Desmontagem		Nº peça contador	Quant. Peças Acumulado	Tipo de avaria	Intervenção		Desmontagem	Descrição
Data	Nome	Data	Nome				Data	Nome		

Figura 15: Exemplo do cadastro da ferramenta preenchido pelos operadores, em vigor na ETMA no início do estudo.

A análise do cadastro permitiu identificar falhas nos registos: por exemplo, os operadores não registavam corretamente o fim de ordem de fabrico o que criava entropias com a própria contagem, alguns componentes só tinham sido substituídos num determinado ano (2013) e até à data nenhum registo sobre a sua reparação/ substituição havia sido registada. Verificou-se também que não existiam registos por parte dos operários que laboravam no turno da noite, pelo que não se pode aferir, por exemplo, sobre as horas de montagem/ desmontagem das ferramentas. Assim, os dados existentes não apresentam confiabilidade necessária ao estudo, logo não se dispõe de informação suficiente para aferir corretamente sobre a periodicidade ótima de substituição para um determinado item - por exemplo.

### 3.5.2 Análise de falhas da "Abraçadeira"

A análise aos dados disponíveis relativos à Abraçadeira permitiu construir uma tabela de frequências e um diagrama de Pareto relativo ao tipo de avarias registado pelos operadores (Tabela 2 e Figura 16).

Tabela 2: Tabela de frequências para o tipo de avarias registadas.

Tipo	Freq.Absoluta	%	Tipo	Freq.Absoluta	%
A- Rebarba	37	28,7	I - Furo empapado	0	0
B- Punção partido	49	38	J- Defeito estampagem	5	3,9
C- Matriz partida	0	0	L- Esquadrias	0	0
D- Cotas n/ conforme	1	0,8	M - Preparador largo/partido	0	0
E- Molas partidas	1	0,8	N - Bússola larga/partida	0	0
F- Desgaste punção	17	13,2	O - Cutelo largo/partido	0	0
G- Extrator partido	14	10,9	P - Manutenção preventiva	0	0
H - Mudar referência	1	0,8	Z - Outras ações	4	3,1

*Diagrama de Pareto relativo às avarias*

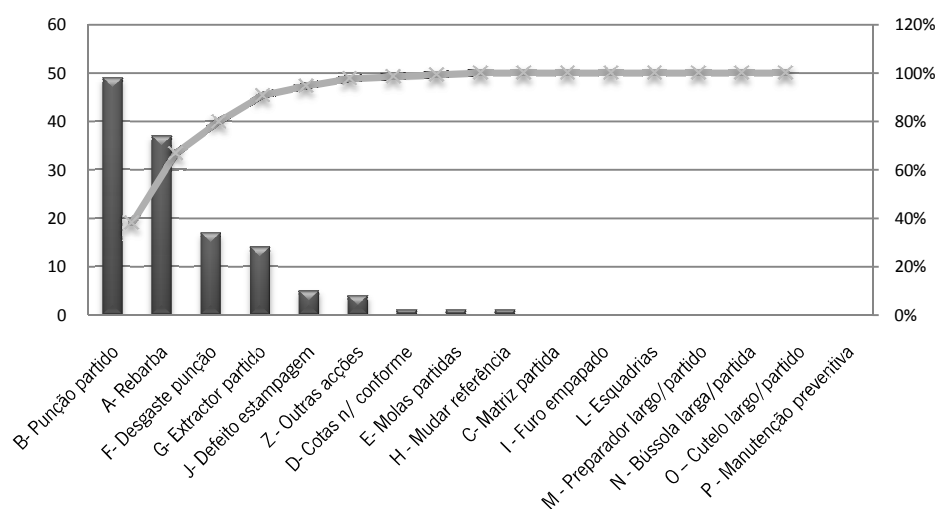


Figura 16: Diagrama de Pareto para o tipo de avarias.

Por observação do diagrama de Pareto é possível identificar as principais causas (falhas) que poderão estar na origem das intervenções de manutenção efetuadas, sendo que as falhas mais comuns registadas pelos operadores são: B- Punção partido; A- Rebarba; F- Desgaste de punção e G- Extrator partido. Desta análise verifica-se que neste período de tempo nunca se substituiu preventivamente, assim como há um número significativo de falhas que nunca ocorrem.

Constatou-se que a manutenção preventiva não é uma prática corrente na ETMA, apesar desta ser realizada, é feita intuitivamente. Os colaboradores responsáveis normalmente efetuam intervenções de manutenção quando se deteta algum problema e depois por experiência eles próprios tomam a iniciativa de afinar componentes, trocar outros, mas isto não é baseado em dados ou em critérios.

Outra lacuna desta folha de registo é o facto de esta não permitir identificar os componentes (ou punções) substituídos ou reparados, o que não possibilitava identificar o tempo de vida útil de cada um dos componentes da ferramenta.

### 3.5.3 Armário de ferramentas da serralharia

Verificou-se, na serralharia, a existência de um armário (Figura 17) onde os componentes das diversas ferramentas eram guardados, este não estava devidamente organizado e muito dos componentes não

se encontravam identificados ou estavam em falta. Este fator pode ser responsável por atrasos uma vez que não cumprem o requisito do *stock* mínimo, ou seja, se se verificar a necessidade de utilizar um componente para uma intervenção de manutenção e este não existir atrasa todo o processo e consequentemente desencadeia atrasos na produção.



Figura 17: Armário de ferramentas existente na serralharia.

#### 3.5.4 Quebras e danificações prematuras das ferramentas

Nas máquinas que se localizam no setor da estampagem são introduzidas as ferramentas sendo estas calibradas e afinadas até que produzam peças que vão de encontro às especificações pré-estabelecidas (uma ferramenta produz uma peça específica). As ferramentas são robustas e constituídas por diversos componentes, e sob condições normais estas teriam capacidade para produzir uma grande quantidade de peças. Contudo, isso nem sempre acontece e por vezes verifica-se que há componentes que se danificam antes do previsto. Estas danificações podem ocorrer em pequenos punções (mais frequente) ou até em matrizes da ferramenta (menos frequente). Nesta fase



do estudo não foi possível definir com exatidão o número de vezes que tal ocorria pois não existiam dados que permitissem aferir sobre este facto. Por conversa com os operadores e com o responsável sabe-se que isto ocorre com frequência e muitas das vezes não sabem o motivo que leva à interrupção da produção, não estando assim assinaladas as causas que originam esta paragem. Logo, interessa identificar estas causas para que se consiga saber qual a sua origem e assim minimizar esse efeito.

### 3.5.5 Avaliação do desempenho na serralharia

Nesta fase verificou-se uma ausência de controlo de tempos e conseqüentemente falta de planeamento das atividades. Não existindo planeamento, as tarefas não se encontram padronizadas originando erros o que poderá originar replicação de tarefas pois estes erros irão obrigar a trabalhos repetidos.

Perante o descrito acima seria de todo importante ter indicadores de desempenho capazes de medir a eficácia e eficiência da serralharia. Verificou-se contudo, e após análise do Manual de Sistema de Gestão e do ficheiro dos indicadores de gestão para 2014, a não existência de indicadores de desempenho específicos para a serralharia (ver anexo 2).

### 3.5.6 Montagem e desmontagem de ferramentas

Um dos grandes problemas relatados pelos responsáveis da ETMA foi o tempo que se perdia a trocar as ferramentas, ou seja, problema associado ao elevado tempo gasto com a montagem e desmontagem das ferramentas. Assim, um dos objetivos deste trabalho passará pelo estudo do processo de mudanças de ferramentas na área de serralharia, isto porque esta mudança é cada vez mais frequente e é responsável por tempos não produtivos (paragens) e desperdícios, ou seja, pretende-se minimizar estes tempos e os conseqüentes custos associados a esta troca de ferramentas. Em 2011, havia sido realizado um estudo de tempos associados à montagem e desmontagem das ferramentas nas *Bihler* 's e nas Prensas, contudo o estudo não chegou a ser levado até ao fim. Aquando deste estudo, foram efetuadas filmagens e cronometragens a 5 ferramentas e os principais resultados obtidos a nível das operações e processo foram:

Tempo de espera: 33.3%  
Afinações: 17.3%  
Desaperto/ aperto: 11.8%  
Limpeza: 11.5%  
Montagem: 9.5%  
Desmontagem: 8.4%  
Transporte/ deslocação: 3.7%  
Controlo da qualidade: 3.3%  
Arrumação: 0.6%  
Lubrificação: 0.6%

A nível das operações apontava-se o tempo de espera como sendo a operação que mais tempo gasta. Os motivos apontados para este tempo de espera foram: Operador (48.4%); Responsável (0.7%); Serralharia (34.5%); Operador serralheiro (10%); Obstrução - empilhador (1.3%); Outros (5.1%)

Após obtenção destes resultados foram propostas ações de melhorias e algumas postas em prática, verificou-se uma ligeira diminuição dos tempos de espera sendo apontadas como causas a falta de operador no local (37%) e a serralharia (42%). Apesar de algumas atuações feitas com o objetivo de se obter melhorias não se conseguiu obter os resultados desejados, sendo ainda referido num dos relatórios de trabalho que a *checklist* existente até à data era pouco clara.



## 4. DEFINIÇÃO E APRESENTAÇÃO DE PROPOSTAS DE MELHORIA

### 4.1 Alterações no cadastro da ferramenta

Após análise ao cadastro da ferramenta e uma vez que os dados registados não eram os mais fiáveis, conseqüentemente não permitiam retirar as melhores conclusões para o estudo, decidiu-se recolher novos registos. Com isto, pretende-se obter valores mais fidedignos e mais controlados e com estes, futuramente, fazer uma análise adequada e que melhor represente o comportamento dos componentes. O objetivo era passar de um registo manual para um sistema informatizado. Neste sentido, e como forma de adaptar o operador, começou-se por fazer uma alteração à folha do cadastro da ferramenta. Na nova folha de registo foram introduzidos alguns campos que estarão disponíveis, numa fase posterior, na aplicação informática, e que permitirão obter dados para a análise - figura 18.

Quando a ferramenta vai para a serralharia e há necessidade de se efetuar uma intervenção de manutenção existem três situações distintas que podem ser realizadas: Substituir preventivamente; Reparar (porque atingiu o fim de vida) ou Substituir porque atingiu o fim de vida. A primeira situação corresponde a um tempo suspenso, ou seja, o componente não chegou ao seu fim de vida. As duas últimas situações são próximas, mas no futuro o objetivo é que não exista a segunda situação. Contudo, se quando se repara um componente este não fica tão bom quanto novo, então estas duas situações são distintas. Assim, introduzindo-se os campos "corretiva" e "preventiva", será possível identificar as três situações descritas acima. Através destas duas colunas introduzidas será então possível saber se o tempo registado é um tempo suspenso ou é a duração de vida do componente (tempo de falha).

Foi ainda acrescentado um campo relativo à ordem de produção que permite identificá-la e saber que quantidade deverá ser produzida. Nesta nova folha de registo é ainda possível registar data e horas para o início e o fim da desmontagem/montagem e das intervenções necessárias.

PRODUÇÃO							MANUTENÇÃO (Serralharia)							
Ordem de produção		Operador	Desmontagem/ Montagem			Nº contador	Motivo (*)	Intervenções de manutenção						
Nº	Quant.	Nº	Data	Hora	Montagem (M) Desmontagem (D)			Início			Fim		Componente substituído ou reparado	Corretiva
						Nº	Data	Hora	Descrição	Data	Hora			

Figura 18: Nova folha de cadastro da ferramenta proposta para a recolha de dados.

Frisa-se que apesar da aplicação informática ser desenvolvida por um estagiário de engenharia informática, a nova folha de registo teve um papel crucial uma vez que quando esta foi adaptada teve-se em conta aquilo que era considerado obter como *output*. Dentro destes *output's* queria-se obter valores que permitissem calcular indicadores de desempenho, tempos de falhas e outros dados que permitissem ir de encontro às necessidades da empresa e dos objetivos estabelecidos.

#### 4.2 Alterações no armário de ferramentas da serralharia

Como mencionado acima, secção 3.5.3, na serralharia existe um armário onde são guardados os componentes das diversas ferramentas, contudo alguns destes componentes não estavam identificados ou estavam em falta. Para colmatar esta situação começou-se por identificar, recorrendo a etiquetas com códigos de barras, os componentes que não estavam identificados (seguiu-se o procedimento que já era feito anteriormente na empresa), e feito um levantamento dos componentes em falta e que estavam, assinalados como "componentes exigidos para *stock* mínimo". O armário de ferramentas será também alvo de uma informatização, isto é, na aplicação para registo de intervenções preventivas serão registado os componentes retirados do armário serão também emitidas alertas sobre o *stock* desse componente.

### 4.3 Análise das causas das quebras e danificações prematuras das ferramentas

Quando se fala das razões que podem estar na origem da quebra ou desgaste prematuro de ferramentas ou seus componentes poder-se-á apontar algumas causas, contudo estas são genéricas pois não se está a especificar uma ferramenta em concreto. Após observação direta do processo e registo de informação obtida juntos dos colaboradores, apontam-se, de um modo genérico, algumas das razões que contribuem ou que estão na origem da danificação da ferramenta ou de algum componente.

Deficiente extração da peça: quando a peça não é extraída e acumula duas ou mais peças, e como a matriz e punção estão com folga para cortar ou estampar apenas uma peça, geralmente a ferramenta parte.

Deficiente extração da apara: quando as aparas ficam presas no respetivo canal e se vão acumulando, com o esforço do punção e com o “empapar” de aparas, a ferramenta tende a rachar. Isto acontece normalmente quando se efetua o corte de geometrias muito pequenas, em alguns casos o que parte é o punção de corte. Nesta situação, o óleo em excesso potencia a colagem das aparas à parede do canal das aparas.

Má alimentação: quando a alimentação do material ou avanço for incorreto pode potenciar desgaste ou partir algum componente de corte, matriz ou punção.

Deficiente lubrificação da banda do material ou de componentes da ferramenta: quando há falta de óleo na banda pode haver desgaste nos punções e matrizes de corte ou dobragem, o que provoca gripagem e aquecimento podendo levar à rutura dessas peças. Quando é noutro componente, como por exemplo, casquilhos e colunas o atrito pode provocar aquecimento e gripagem dos mesmos, originando prisão na ferramenta e aumentando o esforço de trabalho. Pode acontecer de os casquilhos se romperem ou a máquina parar devido ao esforço excessivo.

Desgaste de componente: quando um punção não estiver afiado origina mais esforço de corte que pode levar à rutura de um ou ambos. Normalmente estas situações são facilmente identificadas pois a peça tende a ter rebarbas.

Descuido do operador de manutenção: troca de punções ou posição dos punções ou matrizes originam que estes partam. São muito raros os casos em que isto acontece porque geralmente os punções estão marcados quanto à posição e orientação na ferramenta.

Qualidade da matéria-prima: quando a chapa cortada é mais dura pode causar desgaste mais acelerado nos punções e matrizes.

Tendo em conta o descrito acima, elaborou-se um diagrama de causa efeito onde são apontadas as principais causas, seguindo o método proposto por Kaoru Ishikawa em 1943, apresentado na figura 19.

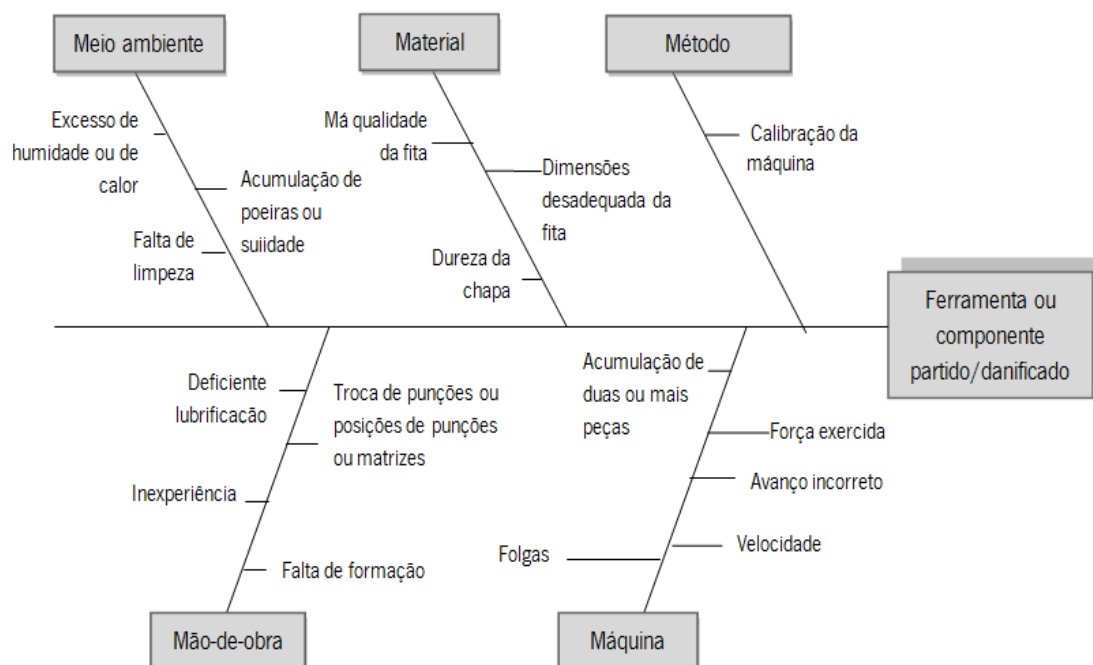


Figura 19: Diagrama de causa efeito - Ferramenta ou componente partido/danificado.

A quebra de ferramentas ou componentes faz com que os custos de manutenção aumentem e provoca atrasos na produção, podendo isso penalizar a empresa quer a nível de gastos desnecessários, quer por penalizações por partes dos clientes devido a atrasos de entrega do produto. Neste sentido, é de todo importante que se minimizem estas ocorrências.

Sugere-se então que sejam verificadas, antes da produção, as especificações da fita, nomeadamente se esta tem as características pretendidas (dimensões, qualidade de material, dureza, entre outros).

Relativamente ao operador, sugere-se que se este não tiver experiência lhe seja dada uma pequena formação e que inicialmente seja acompanhado por outro operador que já conheça o processo.

Quanto a problemas relacionados com a máquina sugere-se que a produção seja mais controlada de forma a minimizar a ocorrência de falhas, isto é, durante a produção o operador deverá verificar mais vezes a velocidade da máquina, a quantidade de material que a máquina está a puxar, se tem ou não peças ou aparas acumuladas. Este controlo deverá ser estabelecido uma vez que nada está documentado ou regulamentado sendo estes procedimentos executados pelo operador de forma aleatória. Assim, seria vantajoso que existisse um plano de montagem onde os principais passos fossem detalhados, permitindo que o processo fosse mais controlado.

#### 4.4 Implementação de indicadores de desempenho na serralharia

Relativamente à avaliação de desempenho para potenciar a melhoria e justificado pelo facto da sua não existência na área da serralharia, pretende-se definir e calcular alguns indicadores que se adequem a esta área. Com a definição destes indicadores visa-se avaliar corretamente a eficiência e eficácia da área em questão. Pretende-se com estes indicadores contribuir para a melhoria da performance, facilitar a tomada de decisão quer do responsável de manutenção quer por parte da gestão assim como contribuir para o melhoramento e redução de custos acarretados por intervenções de manutenção na serralharia.

É ainda objetivo que estes indicadores sejam integrados na aplicação informática que está a ser desenvolvida e que esta tenha a capacidade de devolver o *output* dos mesmos. No desenvolvimento desta aplicação informática procurou-se, em colaboração com o estagiário de engenharia informática, que os dados para o seu cálculo fossem registados. Posteriormente, o estagiário desenvolveu as rotinas necessárias à sua obtenção.

Deixa-se de seguida um conjunto de indicadores específicos para a serralharia e que serão incorporados na aplicação informática. Estes indicadores foram apresentados ao gestor da serralharia que concordou com a sua implementação, reconhecendo a sua utilidade.



Indicador 1: Custo de manutenção de ações corretivas ou preventiva

$$\text{Custo MC} = \frac{\text{Custo manutenção corretiva}}{\text{Custo total da manutenção}}$$

$$\text{Custo MP} = \frac{\text{Custo manutenção preventiva}}{\text{Custo total da manutenção}}$$

O cálculo destes indicadores permitirá à empresa ter a percepção dos gastos quer com a manutenção corretiva, quer com a manutenção preventiva.

O denominador destes indicadores refere-se ao custo total da manutenção, o que engloba custos com mãos de obra, tempo de produção, custo com componentes, custo de material, custo de paragens, custos de intervenção, sejam elas corretivas ou preventivas, isto é, referem-se a todos os custos associados à manutenção para um determinado período de tempo. Relativamente aos numeradores, estes apenas dizem respeito aos custos associados à manutenção corretiva e preventiva, respetivamente. Estes indicadores englobam, assim, o custo despendido na secção da serralharia para um determinado período de tempo, podendo estes ser calculados mensalmente, trimestralmente ou anualmente.

A obtenção destes indicadores poderá ainda incentivar a empresa a passar de uma abordagem reativa à manutenção para uma abordagem proativa.

Indicador 2: MTTR- *Mean time to repair* (tempo médio de reparação)

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Tempo total das reparações}}{\text{Número total de avarias}}$$

Este indicador corresponde ao rácio entre o tempo total de reparações e o número total de avarias. O numerador diz respeito ao tempo total contabilizado de uma reparação de uma ferramenta, isto é engloba o tempo da reparação desde de que a ferramenta entra na serralharia até que está em bom estado para produzir novamente. No denominador tem-se o número total de avarias contabilizadas para a mesma ferramenta. Assim, o MTTR permite aferir sobre tempo médio necessário para resolver um problema e para repor o sistema em funcionamento e permite avaliar a eficiência do processo. Uma vez que nesta área da empresa não temos um processo controlado, este indicador tornar-se-á útil

pois permitirá medir a eficiência da serralharia e conseqüentemente atuar sobre problemas existentes, assim como contribuir para reduzir os custos.

Indicador 3: MTBF- *Mean time between failures* (tempo médio de funcionamento entre avarias)

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Tempo total de funcionamento}}{\text{Número total de avarias}}$$

O valor do MTBF é obtido pelo quociente entre o tempo total de funcionamento da ferramenta e o número total de avarias registados para essa ferramenta, no mesmo período de tempo. O tempo total de funcionamento corresponde ao tempo que a ferramenta está em produção, o número total de avarias é a contagem das avarias da ferramenta registadas para o período em que a ferramenta está a produzir.

Este indicador representa o tempo médio que a ferramenta permanece em funcionamento até falhar. Este é visto como um indicador de resultado e será aplicado a nível da ferramenta. Permitirá avaliar o tempo de funcionamento da ferramenta entre avarias, identificar a ferramenta mais crítica e conseqüentemente saber onde se atuar e melhorar.

Indicador 4: Indicador de fiabilidade

$$\text{Indicador 4} = \frac{\text{Número de avarias}}{\text{Número de unidades produzidas}}$$

O numerador refere-se ao número de avarias durante uma ordem de produção, o denominador diz respeito ao total de peças produzidas durante essa ordem de produção. Este indicador vai permitir saber no total de todas as unidades produzidas de uma determinada ordem de produção quantas avarias se verificaram. Permitirá também aferir quantas intervenções de manutenção foram realizadas nessa mesma ordem de produção.

Para o primeiro indicador a ETMA, até ao momento, não possui dados para o seu cálculo, uma vez que esta apenas contabiliza os custos de manutenção não os distinguindo em manutenção preventiva e corretiva. Este indicador foi proposto à gerência e esta mostrou grande interesse na sua obtenção,

pedindo assim ao engenheiro responsável que, a partir daquela data, fossem separados os dois custos. Assim, o Indicador 1: Custo de manutenção de ações corretivas ou preventiva será apenas deixado como sugestão para que quando existirem dados este seja calculado.

Os indicadores 2, 3 e 4 (Indicador 2- MTTR, o Indicador 3- MTBF e o Indicador 4 - Indicador de fiabilidade), serão incorporados na aplicação informática. Esta decisão teve em conta os campos disponíveis nesta aplicação, assim como os seus *outputs*.

A base dados que está a ser desenvolvida em paralelo com este projeto apresenta um conjunto de funcionalidades, das quais se destacam:

- Registo de operações de montagem e desmontagem das ferramentas na produção;
- Registo de operações de manutenção efetuadas.
- Consulta do histórico de todas as operações de manutenção efetuadas.

Assim, com um registo informatizado e mais controlado permitirá obter valores fidedignos que possibilitem calcular estes indicadores, uma vez que este permitirá obter os *inputs* necessários: tempo total de reparação de um componente; número de avarias e número total de unidades produzidas.

Como os registos existentes de intervenções de manutenção, nomeadamente no cadastro da ferramenta, não são representativos da realidade (como explicado anteriormente), até ao momento não é possível proceder com os cálculos dos indicadores propostos acima, logo estes são calculados e incorporados na empresa posteriormente.

#### 4.5 Implementação da metodologia SMED

Decorrente da análise inicial dos dados, nomeadamente dos pontos focados na secção 3.5.6, verificou-se a necessidade de estudar os tempos associados à montagem e desmontagem de ferramentas, uma vez que esta tarefa foi apontada como problemática na área da estampagem. Assim, com o objetivo de diminuir os tempos de montagem e desmontagem de ferramentas decidiu-se implementar a metodologia SMED.

Foi sugerido por parte da empresa que o estudo fosse iniciado com o "Borne M5 DF".

Depois da análise inicial (3.5.6) foram delineadas as seguintes fases de trabalho, conforme figura 20 e 21.

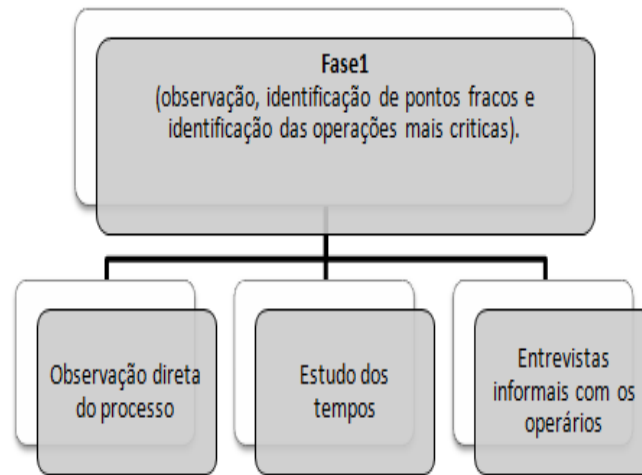


Figura 20: Fase 1 para a implementação do SMED.

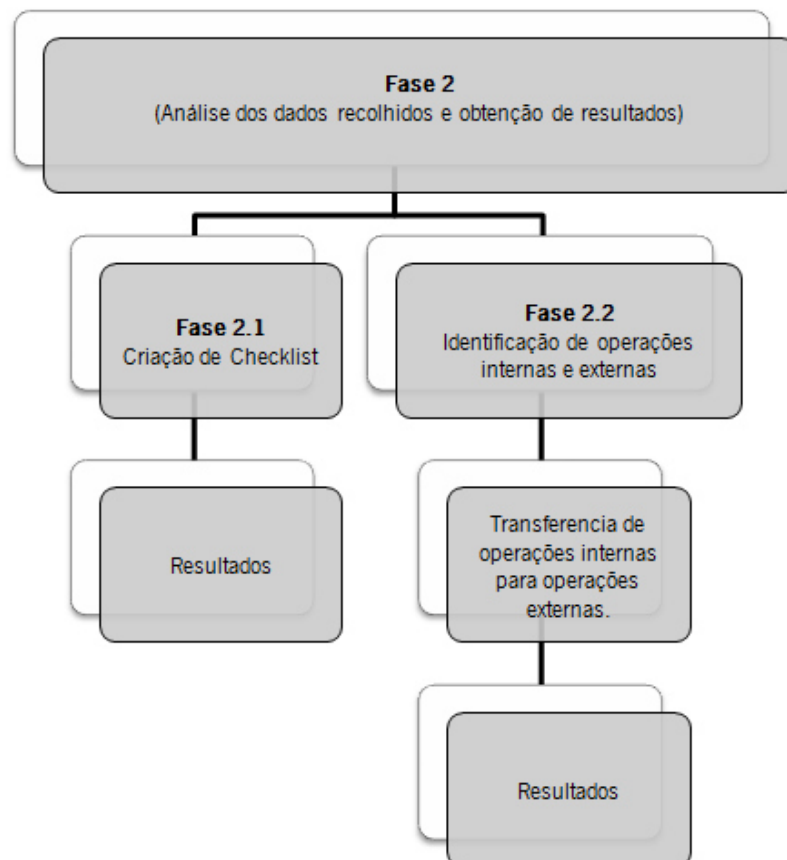


Figura 21: Fase 2 para a implementação do SMED

Para esta ferramenta, as operações realizadas foram observadas e foram registados os tempos para cada operação, estes compararam-se com os obtidos em 2011. A observação direta do processo permitiu identificar os problemas associados. Sendo também objetivo que os próprios operários ficassem conscientes do que se iria fazer e tornar a sua colaboração um ponto forte uma vez que são estes que melhor conhecem a máquina e a ferramenta.

De uma forma genérica o procedimento de montagem de uma ferramenta na máquina envolve as seguintes operações:

1. Limpeza da máquina;
2. Montagem da estrutura de apoio à ferramenta (*Bihler*);
3. Montagem da ferramenta;
4. Colocação da fita de alimentação;
5. Calibração da máquina e ajustes da fita retificando os avanços de forma a obter uma peça de acordo com as especificações;
6. Envio da peça para o controlo da qualidade;
7. Quando ordem do controlo de qualidade, iniciar a produção.

Para o registo das operações de montagem de uma ferramenta e segundo a metodologia SMED, recorreu-se à tabela 3.

Tabela 3: Registo e classificação de operações internas e externas.

Montagem/ Desmontagem da ferramenta					
Máquina			Data		
Início	Fim	Interna	Externa	Tempo perdido	Descrição da tarefa

A recolha de dados teve a duração de uma semana. Nesta semana recolheu-se informação sobre a montagem de ferramentas nas respetivas máquinas (*Bihler*'s e Prensas). Um exemplo desse registo pode ser consultado no anexo 3. Sendo que nesta fase foram observadas a montagem de duas Prensas e duas *Bihler*'s.

De notar que a montagem da ferramenta numa *Bihler* é mais demorada que nas Prensas. Enquanto as Prensas só executam movimentos na horizontal, as *Bihler*'s trabalham com movimentos axiais (em todos os sentidos), apresentando assim uma maior complexidade quer nos movimentos quer na própria estrutura.

Foram então contabilizados os tempos de cada operação, os principais resultados obtidos apresentam-se de seguida na tabela 4.

Tabela 4: Tempos gastos em cada uma das operações para as quatro máquinas observadas (M1, M2, M3 e M4).

Operações	M1	M2	M3	M4	%M1	%M2	%M3	%M4
Fita de alimentação	00:00:55	00:02:52	00:08:55	00:04:00	0,5%	3,5%	10,9%	2,0%
Arrumações	00:02:12	00:01:02			1,3%	1,3%		
Deslocação para ir buscar material	00:10:31		00:00:44	00:06:16	6,0%		0,9%	3,1%
Idas à serralharia	00:23:31				13,4%			
Deslocação a outra máquina	00:08:53	00:01:31	00:03:19	00:02:26	5,1%	1,8%	4,0%	1,2%
Troca de componente	00:16:00	00:03:09		00:01:53	9,1%	3,8%		0,9%
Espera devido à serralharia	33:29:00							
Paragens do operador		00:02:06				2,6%		
Testes de conformidade		00:04:14	00:04:55	00:14:10		5,2%	6,0%	7,1%
Ajustes/ Afinações			00:25:26	00:04:22			31,0%	2,2%
Medições paquimetro			00:01:15	00:03:08			1,5%	1,6%
Controlo qualidade			00:04:35				5,6%	
Retirar componente da produção anterior			00:03:55				4,8%	
Montagens e suas operações	01:52:53	01:07:06	00:28:56	02:42:45	64,5%	81,8%	35,3%	81,8%
<b>Tempo total:</b>	36:23:55	1:22:00	1:22:00	3:19:00				
Sem espera do componente da serralharia	02:54:55							

Salienta-se que apenas se dá destaque às operações mais significativas, e que em alguns casos não foi possível observar a montagem completa uma vez que na empresa operam três turnos. Note-se que para a máquina 1, quando foram calculados os tempos e respetivas percentagens (%M1) considerou-se o tempo (02:54:55) e percentagens sem a espera do componente da serralharia, este tempo é o

tempo para a máquina 1 em que se retira o tempo que a ferramenta esteve na serralharia. Assim, a observação total, das quatro máquinas, perfaz 8 horas e 55 minutos.

As operações apresentadas na tabela 4 podem ser descritas da seguinte forma:

- Fita de alimentação: operações relacionadas com o tempo gasto a colocar a fita de alimentação na máquina até esta esteja em condições para ser processada;
- Arrumações: consideraram-se todas as operações de arrumações de material utilizado;
- Deslocação para ir buscar material: corresponde ao tempo gasto pelo operador em deslocações para ir buscar material, normalmente uma ferramenta para utilizar no aperto/desaperto;
- Idas à serralharia: deslocações do operador a esta área da fábrica quer para fazer um pedido de componente necessário, quer para levar um componente para afinar ou retificar;
- Deslocação a outra máquina: tempo gasto pelo operador em deslocações a outra máquina, por exemplo para verificar se as peças por esta produzida estão conforme, ou para ajudar outro operador;
- Troca de componente: corresponde ao tempo que o operador despende a trocar um componente da ferramenta, ou porque este não é o adequado, ou porque não está em condições e necessita de uma intervenção;
- Espera devido à serralharia: há casos em que o operador monta toda a estrutura e depois tem que esperar pela ferramenta que está retida na serralharia ou então porque falta um componente que está a ser fabricado ou a sofrer uma intervenção;
- Paragens do operador: corresponde ao tempo em que o operador para a montagem por algum motivo não relacionado com esta;
- Teste de conformidade: corresponde ao tempo em que o operador verifica se a peça que a máquina produz está dentro daquilo que é estabelecido, isto é, que está a furar bem, se está a dobrar bem, etc.
- Ajustes/ afinações: tempo despendido em ajustes quer a nível da ferramenta, fita de alimentação ou máquina;
- Medições com o paquímetro: corresponde a medições realizadas às peças obtidas, onde são verificadas as especificações estabelecidas na ordem de fabrico;
- Controlo de qualidade: na ETMA existe um departamento de controlo da qualidade onde existem máquinas de alta precisão que permite verificar as especificações da peça. É ainda

este departamento o responsável pelo "ok" para início da produção. Neste caso, esta operação corresponde ao tempo gasto pelo operador de montagem a deslocar-se ao controlo de qualidade;

- Retirar componente da produção anterior: por vezes acontece que a fita de alimentação fica na ferramenta da produção anterior, sendo que, o operador tem que a retirar para colocar uma nova;
- Montagem e suas operações: foram englobados os apertos/ desapertos e todas as operações relacionadas com a montagem;

A tabela 4 permite visualizar os tempos e percentagens apurados nesta observação.

Em todas as observações a operação de montagem foi a que correspondeu a uma maior percentagem de tempo gasto. Destacam-se os seguintes resultados: para a máquina 1 o operador gastou 13.4% do tempo com idas à serralharia; na máquina 2 uma percentagem de 3.8% do tempo foi despendido na troca de componentes da ferramenta; para a máquina 3, o operador ocupou uma grande parte do seu tempo a realizar ajustes/ afinações na máquina para obtenção de uma peça dentro das especificações (31%); por fim, na máquina 4 destaca-se o tempo gasto com testes de conformidades - 7.1%.

A um nível global, média para as quatro máquinas, os resultados obtidos apresenta-se na tabela 5.

Tabela 5: Resultados globais da observação das operações.

Operações	%
Fita de alimentação	3,1%
Arrumações	0,6%
Deslocação para ir buscar material	3,3%
Idas à serralharia	4,4%
Deslocação a outra máquina	3,0%
Troca de componente	3,9%
Paragens do operador	0,4%
Testes de conformidade	4,3%
Ajustes/ Afinações	5,5%
Medições paquímetro	0,8%
Controlo qualidade	0,9%
Retirar componente da produção anterior	0,7%
Montagens e suas operações	69,1%



Comparando com os resultados obtidos no estudo de 2011 evidencia-se que a nível de arrumações os percentagens mantêm-se; na altura a percentagem gasta com a montagem e suas operações (aperto/desapertos, montagem, desmontagem) correspondia a 19.7%, enquanto neste momento esta operação ocupa aproximadamente 70% ao operador. A percentagem tendo aumentado quer dizer que há menos desperdício de tempo. A nível de ajustes/ afinações os resultados foram de 17.3% em 2011 e 5.5% atualmente.

Na tabela 5 não se apresenta a percentagem de espera devido à serralharia pois se se considerar o tempo total ter-se-ia um total de 42horas, 26 minutos e 55 segundos, resultado do tempo de ferramenta na serralharia para a máquina 1, o que não corresponde ao tempo real de observação. Assim, esta operação foi responsável a uma percentagem de 92% de tempo gasto na máquina 1.

Apontam-se, de seguida, uma lista de problemas que foram identificados no decorrer deste estudo.

Tempo de espera pela ferramenta vinda da manutenção: Quando estamos a falar da preparação da máquina para produzir um determinada peça estamos a referir-nos a todos o processo de engloba essa preparação, assim como a própria montagem da ferramenta específica que irá permitir obter a peça pretendida. O que acontece, algumas vezes, é que o operador da produção (estampagem) monta toda a estrutura e depois tem que deixar a máquina parada porque não tem a ferramenta que produz a peça. Esta encontrava-se na manutenção a sofrer uma intervenção. Verificou-se um caso em que o operador iniciou a montagem da *Bihler* e teve que suspender a montagem pois não tinha a ferramenta específica uma vez que esta se encontrava na serralharia. Neste caso, a máquina esteve parada aproximadamente dois dias à espera que a ferramenta viesse da manutenção;

Ferramentas são guardadas ao fim da ordem de produção sem passar pela manutenção: Se a ferramenta estiver a produzir peças conformes na ordem de produção anterior é simplesmente guardada até que seja novamente necessária para produzir. Por vezes a ferramenta é guardada e não se encontra a produzir dentro das conformidades pré estabelecidas. Assim, quando volta a ser necessária para produzir, ou o operador da produção não sabe o seu estado e monta a ferramenta e quando se apercebe desmonta-a, ou então a ferramenta é enviada diretamente para a manutenção devendo o operador aguardar até esta ficar pronta. Verificou-se um caso em que uns dos seus punções estava danificado e o operador da produção teve que parar e dirigir-se à manutenção para pedir um

novo. Houve então perda de tempo devido à deslocação do operador e ainda perda de tempo porque a manutenção teve que fabricar novos punções para essa ferramenta;

Pouco espaço na zona de trabalho: A zona entre máquinas é muito reduzida, sendo que os operadores ficam sem espaço para se movimentarem, verificou-se, numa das observações, um pequeno acidente de trabalho por parte de um operário que por falta de espaço bateu com a cabeça numa porta da máquina. Verificou-se também que devido à falta de espaço de movimentação os operadores demoram mais tempo a deslocar-se, logo a executar algumas das tarefas (como ir buscar um peça, por exemplo);

Operadores operam mais do que uma máquina ao mesmo tempo: Os responsáveis pela montagem de uma máquina durante o seu turno de trabalho não têm uma única máquina para operar, isto é, enquanto este está a executar uma montagem tem que se deslocar a outras máquinas, ou porque há necessidade de uma pequena intervenção, ou porque têm que inspecionar a peça que é produzida pela outra máquina, ou porque têm que transpor peças de um recipiente para outro;

Espera pela fita de alimentação: A fita de alimentação difere de ferramenta para ferramenta e tem que obedecer às especificações da peça que irá produzir. Essas diferenças podem ser a nível do tamanho, de tipo de material ou cor, assim, para cada ferramenta utilizada é necessário ter uma fita específica. Normalmente existe um planeamento para uma determinada ordem de produção, assim a fita é encomendada. Contudo, esta nem sempre está disponível aquando a montagem da máquina. Há casos em que a fita chega com dimensões erradas, ou não é no material exigido, então tem que se aguardar que uma nova chegue e assim a máquina fica parada à espera dessa nova fita. Há ainda casos em que o fornecedor promete uma data para a chegada da fita de alimentação e não cumpre essa data. Quando isto acontece, vai desencadear atrasos quer na montagem da ferramenta, quer na ordem de produção e tempos associados;

Espera pela aprovação do controlo da qualidade: Quando a ferramenta está montada e a máquina está operacional, o operador retira uma peça, utilizando o paquímetro, efetua as devidas medições e verifica se esta se encontra dentro das especificações. Se tal se verificar o operador produz uma amostra e esta terá que ser enviada para o controlo de qualidade que fica responsável por fazer a análise e depois autorizará ou não que a produção se inicie. Há casos em que esta aprovação por parte do

controlo da qualidade é demorada o que faz com que a máquina esteja parada e conseqüentemente haja atrasos na produção;

Problemas relacionados com o ajuste do avanço da ferramenta: Depois de colocada a fita de alimentação e a ferramenta estar montada o operador começa a fazer testes da peça produzida. Este, devido à sua experiência, e tendo por base uma amostra de uma peça produzida anteriormente, visualmente verifica se esta se encontra em conformidade, e caso considere que isso não acontece ajusta o avanço e repete o procedimento. Este ajuste no avanço é feito por tentativas e baseado na experiência do operador, que verifica, por exemplo, se o punção está a furar corretamente ou se a drobragem está correta, e caso não esteja, tem que ajustar o avanço até obter a peça conforme pretendida. Verificou-se que existem casos em que o operador perde muito tempo a tentar obter peças em conformidade, sendo que foi reportado que na semana de observação o operador esteve três dias a tentar afinar a máquina para que esta produzisse peças dentro das especificações. Frisa-se que este processo em que o operador tem de afinar a máquina de forma a obter o avanço correto é baseado na sua experiência.

Falta de experiência do operador: O facto do operador ser inexperiente faz com que os tempos de montagem sejam mais elevados, quer por este não ter a mesma sensibilidade, quer por este não conhecer os componentes da máquina. O operador perde também mais tempo em deslocações pois não tem o hábito de ter o material necessário perto de si, ou até mesmo porque não tem o seu material de trabalho e tem que ir pedir a outros operadores.

Depois de identificados os problemas e recolhidos os dados associados ao tempo de cada operação elaborou-se uma *checklist* (Figura 22) que permite ao operário responsável controlar a atividade que vai realizar e assim verificar se dispõe de todos os utensílios para a montagem/ desmontagem da ferramenta. O objetivo desta *checklist* é diminuir o tempo de paragens dos operários.

Esta *checklist* já foi adotada pela ETMA e incorporada num dos seus planos de melhoria.


		<i>CheckList</i>	
BORNE M5 DF - 7402G			
Máquina:	Data:	Responsável:	
Quantidade ordem de fabrico:			
<b>1. Matéria-prima</b>			Check
1.1 Fita de aço DC01 (C 390)			
1.2 Tira 8.9×1.5			
<b>2. Caderno de montagem</b>			
	Check		Check
2.1 Avanço 46.3mm		2.4 1ª E 2ª Dobra - Carro A7, esquerdo	
2.2 Distancia prensa à base		2.5 Carro A17, esquerdo	
2.3 Carro A5		2.6 Carros A17+A12, esquerdos	
<b>3. Cadastro</b>			Check
3.1 Existe			
3.2 Está atualizado			
<b>4. Máquina</b>		<b>5. Ferramenta</b>	
4.1 Prensa	Check	5.1 Prensa	
			Check
		Matriz de corte F1	Camisa de corte 4D
		Camisa de repuxar 4A	Punção de corte 20
		Postiço de corte 4B	Punção de repuxar 20B
		Camisa de corte 4C	Punção de corte 20C
		Punção de corte 20D	Punção de corte 20 F
		Punção de estampar 20G	
4.2 Carros	Check	5.2 Carros	
			Check
		Punção dobrar (carro A7) 60C	Punção dobrar (carro A17) 62C
		Punção dobrar (carro A7) 60D	Punção dobrar (carro A17) 62D
		Punção dobrar (carro A7) 60E	Punção dobrar (carro A17) 62E
		Punção dobrar (carro A12) 61A	
4.3 Extração	Check	5.3 Extração	
			Check
Lubrificação		Punção extrator 53A	Punção calcador 54
		Punção extrator 53	
4.4 Roscagem	Check		Check
		4.4 Roscagem	
Óleo			
4.5 Centro	Check	4.5 Centro	Check
		Punção de centro 52	
<b>6. Utensílios a utilizar</b>			
	Check		Check
6.1 Chave unbrako		6.3 Alicates	
6.2. Chave de bocas		6.4 Outros	
<b>7. Meios de Controlo</b>			
	Check		Check
7.1 Calibre		7.3 Moldes/ contra-moldes	
7.2 Paquímetro			

Figura 22: *Checklist* para o Borne M5 DF.

Seguindo os passos para as operações do SMED, visa-se transformar operações internas (máquina parada) em operações externas (máquinas em funcionamento). Neste sentido a fase seguinte passa por transformar operações internas em operações externas. As operações observadas e descritas acima foram todas realizadas com a máquina parada - operações internas -, neste sentido, seria vantajoso que algumas destas operações passassem a ser realizadas com a máquina em funcionando - operações externas. Esta conversão de tarefas poderá ser consultada na tabela 6.

Tabela 6: Conversão de operações internas em operações externas.

Operação	Internas	Externas	Observação
Fita de alimentação	(X) →	X	Questões relacionadas com a colocação da fita de alimentação na roda para que esta seja corretamente puxada poderá ser executada antes de se iniciar a montagem. Enquanto uma outra máquina está a produzir o operador poderá colocar a fita na roda e assim poupará tempo aquando a montagem. Esta operação implica outros tempos, como deslocação do operário para ir buscar e arrumar empilhador.
Arrumações	(X) →	X	Os operários durante a montagem executam algumas tarefas de arrumação, como por exemplo, arrumações de utensílios, ou limpeza. Estas operações podem ser executadas quando a máquina já estiver a produzir, assim minimizará tempos de montagem.
Deslocações para ir buscar o material	(X) →	X	Constatou-se várias situações em que o operador se deslocava para ir buscar material (utensílios ou componentes necessários). Este deveria ser preparado antes de iniciar a produção.

Deixa-se então de seguida um conjunto de sugestões para reduzir os tempos de montagem/desmontagem de ferramentas:

- A *checklist* proposta acima deverá ser preenchida com antecedência de forma a verificar se tudo está "ok" e algo está em falta. Por exemplo, através desta *checklist* o operador poderá saber se a ferramenta está disponível para a montagem.
- O operário deverá ter o material necessário à montagem/ desmontagem junto de si de forma a evitar deslocações. Poderá ser solução para ter o material necessário, a utilização de uma cinta de ferramentas;
- A ferramenta a montar deverá ser verificada antes da montagem a fim de se analisar se esta está em condições ou se não necessita de nenhuma intervenção de manutenção. Dever-se-á evitar as situações de montar uma ferramenta e posteriormente se detetar um componente partido;
- Relativamente à fita de alimentação, dever-se-á verificar se esta está disponível em stock e se cumpre as especificações estabelecidas. Não faz sentido que a máquina esteja parada à espera da fita. Se esta espera for da responsabilidade do fornecedor, sugere-se que este seja penalizado por não cumprimento de prazos;
- Considera-se que não é vantajoso que o operador responsável pela montagem/ desmontagem de uma determinada máquina tenha que em simultâneo executar outras tarefas noutras máquinas. Sugere-se que operador tenha apenas que preparar a máquina. Operações como limpeza, arrumação, troca de peças de um recipiente para outro podem ser executadas quando não estiverem a ser realizadas montagens ou desmontagens;
- Desenvolver técnicas de melhoria em questões relacionadas com os ajustes e afinação das máquinas. Como foi constatado o operador perde muito tempo com questões relacionadas com ajustes da máquina sendo esta operação baseado na experiência e conhecimento do operador;
- Otimizar questões relacionadas com o transporte das ferramentas. As ferramentas são muito pesadas e o seu transporte não é uma tarefa simples;
- Uma vez que a operação mais morosa se prende com as operações relacionadas com a montagem e desmontagem da ferramenta na máquina, a empresa deverá procurar soluções ao nível de ferramentas específicos para estas operações (por exemplo: chaves de roquetes ou ferramentas pneumáticas para montagem);

- Sugere-se também que seja melhorado o planeamento relativo à produção, isto para que só se prossiga com a montagem e desmontagem quando estiverem reunidas todas as condições (por exemplo disponibilidade de matéria prima e ferramenta);
- Será necessário também agendar a manutenção de ferramentas que não estejam em utilização para estarem disponíveis quando solicitadas.

#### 4.6 Planeamento da substituição de componentes

Um dos principais objetivos deste trabalho consiste na aplicação de um modelo de manutenção que permita obter a periodicidade ótima de substituição de um determinado componente pertencente a uma ferramenta, assim como, estudar a vantagem da substituição em grupo.

Como na fase inicial não existiam dados fiáveis para serem utilizados e a implementação do programa informático só foi conseguida a meados do ano, decidiu-se começar por trabalhar com dados gerados de forma aleatória. Considerou-se assim a distribuição de Weibull como distribuição associada aos tempos de falha dos componentes.

Foi então desenvolvido um código para determinação da periodicidade ótima de substituição com base em três modelos: *Age-based Preventive Replacement Policy*, *Block Replacement Policy* e Modelo de substituição em grupo baseado no artigo "Equipment assignment to multiple overhaul blocks in series systems".

A implementação foi desenvolvida com recursos ao *software* estatístico R, este é de carácter gratuito e o seu download pode ser realizado em <https://www.r-project.org>.

Os resultados obtidos pelos três modelos serão posteriormente analisados, podendo a empresa optar pelo modelo mais adequado a cada ferramenta, tendo em conta a possibilidade de registo da idade do componente (no caso da política *Age Replacement*). No caso da adoção do *Block Replacement*, aconselha-se que seja utilizado o modelo de substituição em grupo por forma a minimizar os tempos de paragem.

Nesta fase do trabalho são considerados  $\beta = 3.10$  (parâmetro de forma) e  $\mu = 33.48$  (parâmetro de escala) como os valores dos parâmetros da distribuição de *Weibull*.

#### 4.6.1 Age Replacement Policy

Indo ao encontro do apresentado na secção 2.5.2, o modelo *Age Replacement Policy* apresenta uma expressão (10) que permite obter o custo total por unidade de tempo.

Considerando o valor dos parâmetros  $\beta$  e  $\mu$  definidos acima, obter-se-á de seguida o valor do custo total por unidade de tempo. Assim, tem-se o seguinte código em R:

```
>beta=3.10# valor do parâmetro  $\beta$ 
>miu=33.48# valor do parâmetro  $\mu$ 
> custo_age<-function(T,cp,cf) {
  beta
  miu
  integral=function(t){exp(-((t/miu)^beta))}
  cp*exp(-(T/miu)^beta)+cf*(1-exp(-(T/miu)^beta))/integrate(integral,0,T)[[1]]}
```

Para alimentar esta função é necessário ter o valor da idade do componente (T), o valor do custo de manutenção preventiva (cp) e o valor atribuído ao custo de falha (cf).

Uma vez que na empresa não existe uma quantificação dos custos a nível de custos de manutenção preventiva e custos de falha, teve-se que se assumir estes valores. Note-se que estes serão utilizados para a política *Age Replacement Policy* como para *Block Replacement Policy* pelo que quando forem comparados, estes valores não vão distorcer os resultados uma vez que são iguais para as duas políticas. Relativamente ao valor da idade do componente (T), este será obtido de uma forma exaustiva e considerado o valor que minimize o custo.

Assim, irá assumir-se para valor de custo de substituição preventiva 1 euros e para custo devido a falha 20 euros. Note-se que estes custos são meros valores assumidos, e que estes, na realidade, vão variar de componente para componente uma vez que um pequeno punção não custará o mesmo que uma matriz. Tendo em conta que esta função apresenta apenas um valor mínimo, fez-se varia o valor de T. Considerando os parâmetros de entrada definidos, o código correspondente em R é o seguinte:



- > T=1:13 #valor atribuído à idade do componente
- > cp<-1 #valor atribuído ao custo preventivo
- > cf<-20 #valor atribuído ao custo de falha
- > custo\_age(T,cp,cf) # devolve o valor do custo associado à política Age

Na tabela 7 encontram-se os resultados obtidos para o custo, fazendo variar o valor de T (idade de componente).

Tabela 7: Resultados dos custos totais por unidade de tempo para o modelo *Age Replacement Policy*

T	C(T)
1	1
2	0.502
3	0.337
4	0.257
5	0.211
6	0.182
7	0.164
8	0.153
9	0.147
<b>10</b>	<b>0.1451</b>
11	0.1459
12	0.149
13	0.171

Por observação da tabela apresentada acima verifica-se que o custo mínimo corresponde a T=10. Este valor corresponde, recorrendo à política *Age Replacement Policy*, à idade ótima de substituição do componente. Sendo assim, o componente seria substituído quando atingida a idade T=10 ou quando falha.

#### 4.6.2 Block Replacement Policy

Para esta política os custos são obtidos com recursos à seguinte expressão:

$$C(t_p) = \frac{C_p + C_f \times H(t_p)}{t_p}$$

em que  $H(t_p) = \int_0^{t_p} h(t)dt$ .

Para obtenção do valor de  $H(t_p)$  recorrer-se-á à função densidade de probabilidade da distribuição de Weibull (expressão (E2)), em que os parâmetros são os mesmos considerados no ponto anterior.

```
> beta=3.1
```

```
> miu=33.48
```

```
> fprob=function (t){
```

```
(beta/miu)*((t/miu)^(beta-1))*(exp(-(t/miu)^beta)) # função densidade probabilidade de Weibull
```

Recorrendo à expressão (15) da secção 2.5.3. calcula-se os valores de  $H(t_p)$ . Para tal é necessário o valor de  $\int_0^{i+1} f(t)dt$ , estes valores podem ser obtidos com a seguinte função do R, em que se faz variar o valor de t.

```
> integral=integrate(fprob,t-1,t) # calcula o valor do integral, conforme o valor de t
```

```
> integral
```

Obtém-se assim que:

$$\int_0^1 f(t)dt = 1.88 \times 10^{-5}$$

$$\int_6^7 f(t)dt = 2.9 \times 10^{-3}$$

$$\int_1^2 f(t)dt = 1.4 \times 10^{-4}$$

$$\int_7^8 f(t)dt = 3.97 \times 10^{-3}$$

$$\int_2^3 f(t)dt = 4.04 \times 10^{-4}$$

$$\int_8^9 f(t)dt = 5.1 \times 10^{-3}$$

$$\int_3^4 f(t)dt = 8.1 \times 10^{-4}$$

$$\int_9^{10} f(t)dt = 6.4 \times 10^{-3}$$

$$\int_4^5 f(t)dt = 1.4 \times 10^{-3}$$

$$\int_{10}^{11} f(t)dt = 7.9 \times 10^{-3}$$

$$\int_5^6 f(t)dt = 2.1 \times 10^{-3}$$

Pelo que,

$$H(0) = 0$$

$$H(1) = [1 - H(0)] \int_0^1 f(t)dt = 1.88 \times 10^{-5}$$

$$H(2) = [1 - H(1)] \int_0^1 f(t)dt + [1 - H(0)] \int_1^2 f(t)dt = 1.6 \times 10^{-4}$$

$$H(3)$$

$$= [1 - H(2)] \int_0^1 f(t)dt + [1 - H(1)] \int_1^2 f(t)dt + [1 - H(0)] \int_2^3 f(t)dt = 5.6 \times 10^{-4}$$

$$H(4) = [1 - H(3)] \int_0^1 f(t)dt + [1 - H(2)] \int_1^2 f(t)dt + [1 - H(1)] \int_2^3 f(t)dt$$

$$+ [1 - H(0)] \int_3^4 f(t)dt = 1.37 \times 10^{-3}$$

$$H(5) = [1 - H(4)] \int_0^1 f(t)dt + [1 - H(3)] \int_1^2 f(t)dt + [1 - H(2)] \int_2^3 f(t)dt$$

$$+ [1 - H(1)] \int_3^4 f(t)dt + [1 - H(0)] \int_4^5 f(t)dt = 2.8 \times 10^{-3}$$

$$H(6) = [1 - H(5)] \int_0^1 f(t)dt + [1 - H(4)] \int_1^2 f(t)dt + [1 - H(3)] \int_2^3 f(t)dt$$

$$+ [1 - H(2)] \int_3^4 f(t)dt + [1 - H(1)] \int_4^5 f(t)dt + [1 - H(0)] \int_5^6 f(t)dt = 5.7 \times 10^{-3}$$

De forma análoga

$$H(7) = 8.6 \times 10^{-3}$$

$$H(10) = 2.4 \times 10^{-2}$$

$$H(8) = 1.3 \times 10^{-2}$$

$$H(11) = 3.2 \times 10^{-2}$$

$$H(9) = 1.8 \times 10^{-2}$$

Conseqüentemente os custos obtidos serão dados pela expressão (13).

Fazendo variar o valor de t e h, o custo será obtido da seguinte forma:

> t=1

> cp=1

> cf=20

> h1=0.0000188

```

> h2=0.00016
> h3=0.00056
> h4=0.00137
> h5=0.0028
> h6=0.0057
> h7=0.0083
> h8=0.013
> h9=0.018
> h10=0.024
> h11=0.032
> custo_block<-function(t,cp,cf) {
  (cp+cf*h1)/t } # função para obter os custos da política Block, fazendo variar o valor de
h(h1,h2,...,h11)
> custo_block(t,cp,cf) # devolve o valor do custo associado à política Block

```

Obtém-se os seguintes custos, conforme tabela 8.

Tabela 8: Resultados dos custos totais por unidade de tempo para o modelo *Block Replacement Policy*

T	C(T)
1	1.004
2	0.502
3	0.337
4	0.257
5	0.211
6	0.186
7	0.167
8	0.156
9	0.151
<b>10</b>	<b>0.148</b>
11	0.149

Daqui conclui-se que o período ótimo de substituição dá-se para  $t=10$ , com um custo de 0.148 euros.

#### 4.6.3 Aplicação das políticas Age e Block Replacement Policy a dados de um componente da ferramenta "Abraçadeira"

Como mencionado anteriormente, os dados existentes na empresa relativamente às intervenções de manutenção dos componentes não são fiáveis, contudo, e a título de exemplo reorganizaram-se os dados e separaram-se por componentes, verificou-se que havia componentes que nunca foram substituídos ou reparados, ou que só tinham sofrido intervenção num determinado período, denotando que os registos de intervenções não tinham sido feitos de forma regular.

Assim, neste trabalho e de forma a ilustrar a aplicabilidade das políticas apresentadas, tomou-se como exemplo os dados obtidos para um punção existente na ferramenta da abraçadeira e que foi apontado como um dos que sofre várias intervenções e cujos registos foram efetuados de forma regular. Os dados deste componente, número de peças produzidas desde a instalação do componente, encontram-se no anexo 4, e são referentes ao punção 20A.

Para este componente, encontra-se registada a data em que este deu entrada na serralharia para sofrer uma intervenção, sendo esta classificada em reparado (afinação/retificação) ou substituído (aplicado punção novo).

Nesta fase foram considerados que o número de peças produzidas registadas associado a componentes reparados ou substituídos correspondem a tempos de falha (a atuação foi corretiva e não preventiva). Na versão da folha do cadastro da ferramenta existente na empresa esta divisão entre corretiva e preventiva não era clara e no futuro esta informação passará a ser registada na base de dados.

Para os dados deste componente serão estimados os parâmetros da distribuição de Weibull e posteriormente aplicadas as duas políticas apresentadas acima.

Começando por estimar os parâmetros da distribuição de Weibull recorrer-se-á ao R que possui uma função - "fitdist"- que os permite obter rapidamente.

# Dados relativos ao punção 20A

```
> dados=c(50,13.6,14.4,6.6,7.4,11.5,17.8,17.9,62.4,15.9,14.6,19.6,54.5,11.86,58.54,27.2,33.5)
```

```

# Estimação dos parâmetros de Weibull
> fitdistr (dados, "weibull")
> param=fitdistr (dados, "weibull")

> beta=as.vector(param[[1]][1]) # Vai buscar o valor do parâmetro beta
> miu=as.vector(param [[1]][2]) # Vai buscar o valor do parâmetro  $\mu$ 

beta=1.52
miu=28.8

> cp=0.10 # valor do custo de substituição preventiva
> cf=10 # valor do custo devido à falha

```

Aplicação da política *Age Replacement Policy*

```

> integral=function(x){exp(-(x/miu)^beta)}
> int=integrate(integral,0,t)[[1]]
> custo_age<-function(t,cp,cf) {
  (cp*exp(-(t/miu)^beta)+cf*(1-exp(-(t/miu)^beta)))/(int)}
> custo_age(t,cp,cf) # devolve o valor do custo associado à política Age

```

Tabela 9: Resultados dos custos totais por unidade de tempo para o modelo *Age Replacement Policy* para o punção 20A

T	C(T)
1	0.160
2	0.136
3	0.139
4	0.148

Para o punção 20A, e tendo em conta os dados considerados, obtém que a idade ótima de substituição é de 2 (número de peças produzidas (x10 000)) com um custo de 0.136 euros, por 10000 peças produzidas.

Aplicação da política *Block Replacement Policy*, onde se considerou os mesmos parâmetros de entrada.

```

> t=1:4
> fprob=function (t){
  (beta/miu)*((t/miu)^(beta-1))*(exp(-(t/miu)^beta))
}
> integral=integrate(fprob,t-1,t)
> integral

```

$$\int_0^1 f(t)dt = 0.006$$

$$\int_2^3 f(t)dt = 0.014$$

$$\int_1^2 f(t)dt = 0.011$$

$$\int_3^4 f(t)dt = 0.017$$

Assim,

$$H(0) = 0$$

$$H(3) = 0.031$$

$$H(1) = 0.006$$

$$H(4) = 0.048$$

$$H(2) = 0.017$$

De onde se obtém os seguintes custos (tabela 10).

```

> t=1
> h1=0.006
> h2=0.017
> h3=0.031
> h4=0.048
> custo_block<-function(t,cp,cf) {
  (cp+cf*h1)/t # fazendo variar h (h1,h2,h3 e h4)
}
> custo_block(t,cp,cf) # devolve o valor do custo associado à política Block

```

Tabela 10: Resultados dos custos totais por unidade de tempo para o modelo *Block Replacement Policy* para o punção 20A

T	C(T)
1	0.16
2	0.135
3	0.137
4	0.145

Para esta política, verifica-se que o período ótimo de substituição dá-se para  $t=2$  (número de peças produzidas (x10 000)), com um custo de 0.135 euros, por 10000 peças produzidas.

#### 4.6.4 Substituição em grupo

Na parte prática do trabalho, relativamente à substituição em grupo, seguir-se-á o artigo e modelo proposto no artigo por Talukder & Knapp (2002).

Recorrendo-se ao *software* R simular-se-ão dados e para estes será aplicada a substituição de grupos seguindo a metodologia proposta por estes autores.

Segundo o artigo, disponha-se de um conjunto de dados que foram gerados aleatoriamente alfa, beta, R, (respetivamente o parâmetro de forma e escala da distribuição de Weibull e rácio entre os custos devido à falha e custo de manutenção preventiva), e  $Tpm^*$  (intervalo ótimo de substituição), que e pode ser obtido pela fórmula:

$$Tpm^* = \beta_i e^{\left( \frac{\ln \left( \frac{1}{R_i \times (\alpha_i - 1)} \right)}{\alpha_i} \right)}$$

Neste sentido seguiram-se os seguintes passos:

1. Simulação de valores para alfa, beta e R;
2. Obtenção de  $Tpm^*$ ;
3. Obtenção da matriz;
4. Normalização dos dados aplicando a fórmula  $1 - \left( \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \right)$
5. Obtenção da matriz pela distância de *Minkowski*
6. Obtenção para o dendograma e dos respetivos grupos
7. Determinar o custo ótimo do grupo

Gerando valores aleatórios, para uma amostra de dimensão  $n=15$ , ou seja, suponhamos que a ferramenta é constituída por 15 componentes.



```

> x=15
> alfa=runif(x,1,5)
> bet=runif(x,1,2)
> r=runif(x,10,90)

```

Cálculo do valor de Tpm\*

```

> i=1:x
> t=bet[i]*exp((log(1/r[i]^(alfa[i]-1),base=exp(1)))/alfa[i])

```

Obtenção para a matriz para a distância de *Minkowski*

Nesta matriz temos 15 linhas que corresponde aos 15 componentes e 4 colunas que corresponde respectivamente aos parâmetros de forma e escala da distribuição de Weibull, ao rácio entre os custos devido à falha e custo de manutenção preventiva) e ao Tpm\* (intervalo ótimo de substituição).

```

> a=matrix(c(alfa,bet,r,t),x,4)

      [,1] [,2] [,3] [,4]
[1,] 2.150 1.900 87.04 0.25405
[2,] 4.153 1.246 82.18 0.56833
[3,] 2.636 1.042 65.26 0.25737
[4,] 4.532 1.328 73.64 0.67939
[5,] 4.762 1.955 11.97 1.53277
[6,] 1.182 1.890 48.22 0.01687
[7,] 3.112 1.693 70.68 0.54802
[8,] 4.570 1.641 27.31 1.05096
[9,] 3.206 1.994 35.45 0.83859
[10,] 2.826 1.656 28.53 0.62612
[11,] 4.827 1.709 21.42 1.19583
[12,] 2.813 1.544 43.16 0.50043
[13,] 3.710 1.594 43.10 0.75633
[14,] 3.291 1.289 39.51 0.54257
[15,] 1.412 1.147 22.20 0.06807

```

Normalização da matriz

```

> min(alfa)
> max(alfa)
> amostra1=1-(alfa[i]-min(alfa))/(max(alfa)-min(alfa)) # normalização de alfa
> min(bet)
> max(bet)
> amostra2=1-(bet[i]-min(bet))/(max(bet)-min(bet)) # normalização de beta

```

```

> min(r)
> max(r)
> amostra3=1-(r[i]-min(r))/(max(r)-min(r)) # normalização do R
> min(t)
> max(t)
> amostra4=1-(t[i]-min(t))/(max(t)-min(t)) # normalização do Tpm*
> m_normalizada=matrix(c(amostra1,amostra2,amostra3,amostra4),x,4)

```

```

-
      [,1] [,2] [,3] [,4]
[1,] 0.73442 0.09918 0.00000 0.8435
[2,] 0.18494 0.78573 0.06471 0.6362
[3,] 0.60120 1.00000 0.29019 0.8413
[4,] 0.08100 0.69979 0.17855 0.5630
[5,] 0.01796 0.04176 1.00000 0.0000
[6,] 1.00000 0.10999 0.51707 1.0000
[7,] 0.47047 0.31660 0.21799 0.6496
[8,] 0.07069 0.37152 0.79562 0.3178
[9,] 0.44487 0.00000 0.68717 0.4579
[10,] 0.54892 0.35556 0.77940 0.5981
[11,] 0.00000 0.30008 0.87406 0.2223
[12,] 0.55252 0.47280 0.58448 0.6810
[13,] 0.30645 0.42021 0.58535 0.5122
[14,] 0.42161 0.74050 0.63318 0.6532
[15,] 0.93705 0.88967 0.86378 0.9662

```

```

> dist(m_normalizada, method = "minkowski", diag = FALSE,upper =F,p=1)

```

```

-
      1      2      3      4      5      6      7      8      9      10      11      12      13      14
2  1.5081
3  1.3264 1.0611
4  1.7132 0.3770 1.2104
5  2.6174 2.4825 3.0926 2.1055
6  0.9499 2.3070 1.6744 2.2844 2.5332
7  0.8933 0.9213 1.0781 0.8988 2.1590 1.3856
8  2.2574 1.5778 2.1879 1.2008 0.9047 2.1516 1.3641
9  1.4615 1.8464 1.9367 1.6773 1.2394 1.3773 1.0031 0.9943
10 1.4667 1.5470 1.4292 1.4481 1.6635 1.3609 0.7303 0.7907 0.6920
11 2.4306 1.8939 2.5041 1.5169 0.6245 2.3248 1.5704 0.3161 1.1675 1.0749
12 1.3025 1.2451 1.0305 1.2225 2.0621 1.1967 0.6361 1.1574 0.9062 0.3987 1.4736
13 1.6657 1.1317 1.4988 0.9626 1.5938 1.5599 0.7724 0.6891 0.7147 0.5871 1.0052 0.4683
14 1.7776 0.8674 0.9702 0.9262 2.1224 1.6718 0.8915 1.2177 1.0130 0.7136 1.5338 0.4751 0.6243
15 1.9796 1.9851 1.1446 2.1344 2.8694 1.2231 2.0021 2.1011 2.0668 1.3748 2.2809 1.3659 1.8325 1.2082

```

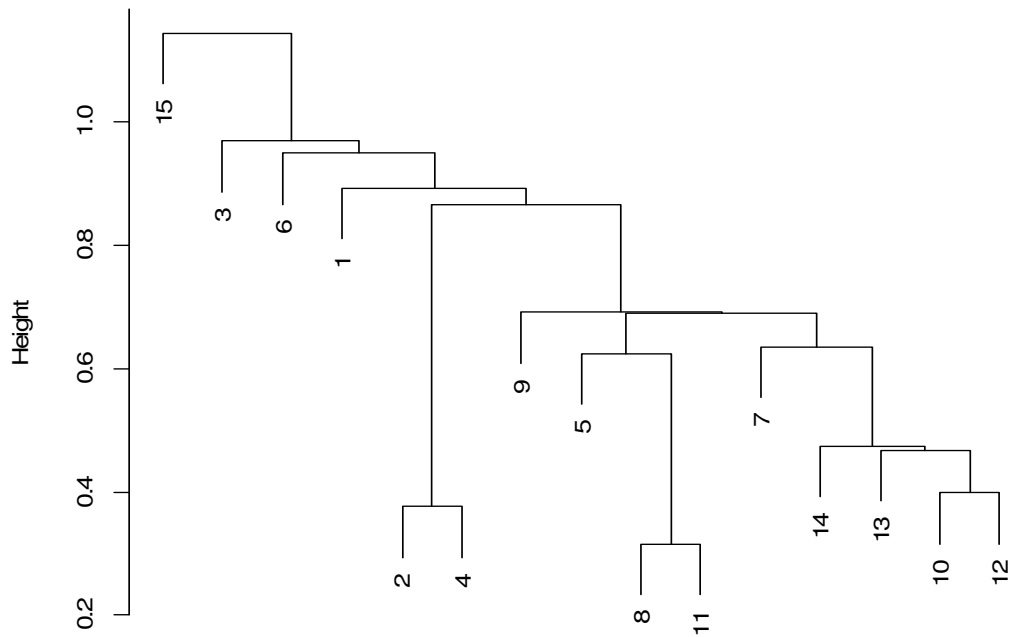
Obtenção de *clusters*

```

> c1=hclust(dist(m_normalizada, method = "minkowski", diag = FALSE,upper = T,p=1),method =
"single")
> plot(c1) # desenha o dendograma com os grupos obtidos

```

### Cluster Dendrogram



```
dist(m_normalizada, method = "minkowski", diag = FALSE, upper = T,
     hclust(p, "single"))
```

Por análise do dendrograma obtêm-se os seguintes grupos:

G1: 2,4

G2: 8,11

G3: 10,12

G4: 10,12,13,

G5: 10,12,13,14

G6:10,12,13,14,7

G7: 8,11,5

G8: 8,11,5,9

G9: 10,12,13,14,7,8,11,5,9

G10: 10,12,13,14,7,8,11,5,9,2,4

G11: 10,12,13,14,7,8,11,5,9,2,4,1

G12: 10,12,13,14,7,8,11,5,9,2,4,1,6

G13: 10,12,13,14,7,8,11,5,9,2,4,1,6,3

G14: 10,12,13,14,7,8,11,5,9,2,4,1,6,3,15

O passo seguinte passará por aplicar a fórmula:

$$Z_j(Tpm_j) = \frac{Cg_j + \sum_{i=1}^{N_j} (Tpm_j / \beta_i)^{\alpha_i} \times Cfi}{Tpm_j}$$

Onde os parâmetros de entrada são custo de substituição preventiva para o grupo ( $Cg_j$ ); parâmetros da distribuição de Weibull para cada um dos componentes; custo devido a falha por componente ( $Cfi$ ) e o intervalo ótimo de substituição para o grupo ( $Tpm_j$ ). Os parâmetros em falta são  $Cg_j$ ,  $Cfi$  e  $Tpm_j$ . Para o valor deste último vamos considerar o  $Tpm_i$  de cada componente e considera-se o mínimo dentro de cada grupo.

Os valores do custo de substituição em grupo deverão ser inferiores à soma dos custos de substituição individual. Faz sentido nesta análise não incluir o custo de aquisição dos componentes, mas sim entrar em linha de conta com o custo associado à mão de obra e paragem. Não tendo sido possível obter estes custos junto da empresa, começou por se gerar valores de custos de substituição preventiva para cada componente e de seguida foi considerado com custo de substituição em grupo a média dos custos de cada componente que compõe o grupo.

Assim, os custos de substituição preventiva e os custos devido à falha por componente foram gerados aleatoriamente, como se mostra a seguir:

```
> cpi=runif(x,0.5,3) # custos de substituição preventiva por componente
```

```
> cpi
```

```
1.0825852 1.6649061 1.1649316 2.6445693 0.6145779 1.6055002 2.4973121 0.8047481 1.9023700
1.0163285 0.8188291 2.3832697 2.7376134 1.4361569 2.1627880
```

```
> cfi=runif(x,5,50) # custos devido à falha por componente
```

```
> cfi
```

```
9.267830 22.278634 17.347264 41.658802 25.183235 41.452896 41.557528 40.745404 24.792426
38.951382 33.314951 36.958208 5.028115 26.389246 14.905350
```

Na tabela 11, apresentam-se os resultados para os tempos ótimos de substituição e custos de substituição preventiva para os grupos, assim como o valor do custo total respetivo. Para o cálculo deste custo recorreu-se ao Excel.

Tabela 11: Resultados obtidos para o custo total de vários grupos

Grupo	$Tpm_j$	$Cg_j$	Custo total
G1: 2,4	0,568	2,155	6,874
G2: 8,11	0,626	0,812	<b>2,511</b>
G3: 10,12	0,500	1,950	9,632
G4: 10,12,13,	0,500	2,212	10,293
G5: 10,12,13,14	0,500	2,018	12,249
G6:10,12,13,14,7	0,500	2,114	14,311
G7: 8,11,5	1,051	0,746	10,049
G8: 8,11,5,9	0,839	0,746	6,801
G9: 10,12,13,14,7,8,11,5,9	0,500	1,635	14,553
G10: 10,12,13,14,7,8,11,5,9,2,4	0,500	1,729	16,758
G11: 10,12,13,14,7,8,11,5,9,2,4,1	0,254	1,675	10,107
G12: 10,12,13,14,7,8,11,5,9,2,4,1,6	0,017	1,670	108,321
G13: 10,12,13,14,7,8,11,5,9,2,4,1,6,3	0,017	1,634	106,202
G14: 10,12,13,14,7,8,11,5,9,2,4,1,6,3,15	0,017	1,669	110,577

A tabela acima mostra os custos totais que se obtêm para cada um dos grupos encontrados.

Por análise desta verifica-se que o componente 8 e o componente 11 devem ser substituídos em simultâneo, sendo este grupo o que apresenta um custo total mais baixo. A tabela apresenta também o tempo ótimo de substituição  $Tpm_j$ , pelo que nos indica a periodicidade ótima de substituição preventiva para cada um dos grupos encontrados. Por exemplo, para o grupo formado pelos componentes 8, 11 e 5 apresenta um tempo ótimo de substituição de 1.051 com um custo total de 10.049, o que indica que esta substituição deve ser realizada com um intervalo de periodicidade de 1.051, e assim sucessivamente para os restantes grupos apresentados. Neste sentido a substituição para os grupos apresentados deve ser feita segundo os tempos ótimos apresentados na segunda coluna.

Conclui-se portanto que para a data definida, para cada grupo, devem ser substituídos todos os componentes pertencentes a esse grupo, tendo associado um determinado custo.

Como se pode verificar existem componentes comuns aos diversos grupos obtidos, isto significa que estes devem ser substituídos sempre que estejam envolvidos nos grupos.

Assim, com esta metodologia é então possível encontrar componentes que podem ser substituídos em grupos, assim como o respetivo custo dessa substituição. Note-se, mais uma vez, que estes dados são meramente um exemplo e que para aferir corretamente sobre a realidade da empresa teríamos que dispor de dados e seguidamente aplicar o procedimento descrito.



## 5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A fase inicial do estudo correspondeu ao levantamento dos problemas existentes na secção da serralharia, este teve por base documentos da empresa, informação recolhida junto dos colaboradores e análise de dados. Decorrente desta análise inicial verificou-se que havia registos em falta ou então os dados eram pouco fiáveis, a serralharia era pouco organizada e as operações não eram planeadas, não existiam indicadores de desempenho para esta área o que não permitia medir a eficiência e eficácia da mesma. Na parte da produção, destaca-se os elevados tempos associados à montagem e desmontagem de ferramentas e o facto das ferramentas ou componentes se danificarem prematuramente. Verificou-se também que as intervenções de manutenção são realizadas baseadas na experiência dos operadores, não havendo nenhum procedimento estabelecido ou dados que permitam tomar decisões.

Estes problemas eram então responsáveis por elevados tempos de espera de ferramentas por estas estarem na serralharia, máquinas paradas, atrasos na produção, atrasos nos prazos de entrega e aumentos dos custos operacionais.

Para resolução dos problemas apontados, e indo ao encontro dos objetivos propostos, foram realizados um conjunto de medidas dentro das quais se destaca: alterações na folha de registo de intervenções de manutenção; apontadas causas que justifiquem a danificação prematura de uma ferramenta ou componente; estudo de possíveis indicadores de desempenho para a serralharia; estudo dos tempos de montagem e desmontagem de ferramentas e estudo de políticas de manutenção preventiva que contribuíssem para a identificação da periodicidade ótima de substituição de um componente contribuindo assim para o planeamento da serralharia.

Em modo de síntese a tabela 12 apresenta uma lista dos problemas encontrados e as ações de melhorias encontradas para cada um destes problemas.



Tabela 12: Síntese de problemas e ações de melhoria implementadas.

<b>Problema</b>	<b>Ação de melhoria</b>
<b>Cadastro da ferramenta</b>	
Folha de registo não adequado. Ausência de registo e pouca fiabilidade	Adaptação da folha de registo com introdução de novos campos. Registos passarão a ser informatizados o que permitirá mais controlo e dados mais fidedignos.
<b>Armário de ferramentas</b>	
Organização e componentes não identificados	Organização de componentes e identificação dos que estavam por identificar.
<b>Danificação ou quebra prematura de ferramenta</b>	
Constatação de casos em que a ferramenta se danificava ou partia prematuramente	Listados os motivos que podem estar na origem deste acontecimento. Elaboração de um diagrama de causa efeito onde se apresentam as principais causas para este efeito. Apresentação de sugestões de melhoria.
<b>Indicadores de desempenho para a serralharia</b>	
Não existiam indicadores de desempenho para a área de serralharia	Proposta de indicadores de desempenho específicos para a serralharia. Indicadores serão incorporados na aplicação informática desenvolvida pelo estagiário de Engenharia informática.
<b>Tempos associados à montagem e desmontagem de ferramentas</b>	
Elevados tempos associados à montagem e desmontagem de ferramentas na estampagem	Implementação da metodologia SMED: Estudo de tempos (observação direta do processo e recolha dos tempos das operações); Descrição dos problemas encontrados; Implementação de uma <i>checklist</i> ; Transferência de operações internas para operações externas; Lista de sugestões de melhorias
<b>Identificação da periodicidade ótima de substituição de componentes</b>	
Não está definida a periodicidade ótima de substituição de um componente. Falta de planeamento da área da serralharia originando problemas de stock de componentes, atrasos na produção e custos desnecessários.	Foram estudados modelos de manutenção preventiva. Uma vez que não existiam dados que pudessem ser utilizados para este fim foi implementado em R um procedimento que permitisse estimar os parâmetros da distribuição de Weibull e depois obter a periodicidade ótima do componente. Foi também desenvolvido um procedimento que permita agrupar componentes, isto é que indique qual o conjunto de componentes que devem ser substituídos em grupo.

Neste sentido, os principais resultados obtidos foram:

A nova folha de registos para a ferramenta "Abraçadeira" começou a ser utilizada e serviu como uma forma dos colaboradores se adaptarem aos novos campos, para futuramente fazerem estes registos na base de dados desenvolvida. O objetivo é que o registo passe a ser feito somente na base de dados, contudo, até à data, este registo de forma informatizado só era feito por dois dos colaboradores, continuando os restantes a registar em papel. Assim, ter uma folha de registos com parâmetros de entrada similares aos da base de dados permitirá depois fazer uma ligação e ter dados adequados para análise. Esta análise também permitiu indicar os registos necessários a incluir na aplicação informática.

O armário existente na serralharia será alvo de informatização, permitindo consultar as peças em *stock* de uma forma mais simples e rápida. O facto de ser ter analisado o seu estado inicial permitiu identificar as fragilidades do armário sendo feita uma organização inicial - etiquetagem e colocação em sacos. Contudo, e apesar de já ser um procedimento da empresa, considera-se que este não é a melhor solução uma vez que os sacos são perdidos, as etiquetas são estragadas, quer pelo desgaste, quer por sujidade. Neste sentido, sugere-se que cada componente tenha a sua identificação, por exemplo, uma gravação no próprio componente. Com a organização do armário, identificação adequada dos componentes e a sua informatização haverá um maior controlo nos *stocks* evitando a sua rutura, assim como será mais fácil para o operário saber onde se encontra o componente e controlar a quantidade existente.

Depois de observação direta da produção verificaram-se casos em que as ferramentas ou componentes ficavam danificados ou partiam prematuramente, levantou-se então um conjunto de causas que estavam na origem desse acontecimento, destacando-se: qualidade e tamanho da fita de alimentação; velocidade e calibração da máquina; acumulação de material ou aparas; descuido ou inexperiência do operador. Com base nestas causas foi elaborado um diagrama de causa efeito. Por fim foram deixadas as seguintes sugestões: verificação, antes da produção, das especificações da fita; o operador deverá receber formação para a tarefa em causa e estar acompanhado se for inexperiente; a produção deverá ser mais controlada, verificando velocidade da máquina e quantidade de fita; elaboração de um plano de montagem. Uma vez que as causas que podem estar na origem da danificação prematura da ferramenta foram identificadas será mais fácil para a empresa saber onde atuar e de que forma pode evitar que estas ocorram. As sugestões aqui deixadas, depois de aplicadas, poderão evitar situações como intervenções desnecessárias na ferramenta, pelo que a serralharia ficará mais liberta, diminuir-

se-ão os tempos de paragens e consequentemente os custos associados a uma determinada ordem de produção, quer os custos de mão de obra, quer os custos associados à manutenção.

Relativamente aos indicadores de desempenho específicos para a serralharia foram propostos 4. O primeiro pretendia medir custos de manutenção preventiva e custos de manutenção corretiva. Para o cálculo destes indicadores ainda não se dispunha de dados, pois na empresa não se fazia distinção entre custos de manutenção, contudo, já foi pedido que se passasse a separar os valores dos custos de manutenção em custos de manutenção preventiva e custos de manutenção corretiva, o que permitirá que futuramente estes indicadores sejam facilmente obtidos. Relativamente aos indicadores 2, 3 e 4, apresentados na secção 4.4, serão incorporados na base de dados e devolvidos automaticamente permitindo assim medir o desempenho da serralharia e empreender ações de melhoria com base na sua observação. A gestão terá também um maior conhecimento e controlo sobre os trabalhos desenvolvidos e resultados obtidos.

Elevados tempos de montagem e desmontagem de ferramentas foi apontado como um dos problemas existentes na parte da estampagem. Justificada com lotes cada vez mais pequenos a necessidade de montar e desmontar uma ferramenta torna-se cada vez uma operação mais frequente. Assim, e com o objetivo de diminuir estes tempos, aplicou-se a metodologia SMED. Começou-se por estudar os tempos de cada operação e verificou-se que a preparação da máquina (montagem de ferramenta, apertos, desapertos) é a operação que apresenta uma percentagem de ocupação do operário maior (69.1%). Destacam-se ainda os ajustes e afinação de máquina (5.5%), idas à serralharia (4.4%), testes de conformidades (4.3%), deslocação para ir buscar material (3.3%) e questões relacionadas com a fita de alimentação (3.1%). Verificou-se ainda um caso em que a máquina esteve parada aproximadamente dois dias pois a ferramenta estava na serralharia a sofrer uma intervenção. Note-se que o operador realizou toda a parte de preparação da máquina e depois a mesma teve que ficar parada à espera da ferramenta. Decorrente da observação do processo e conversa com os colaboradores identificaram-se um conjunto de problemas associados à montagem e desmontagem das ferramentas: tempo de espera pela ferramenta vinda da manutenção; ferramentas são guardadas ao fim da ordem de produção sem passar pela manutenção; pouco espaço na zona de trabalho; operadores operam mais do que uma máquina ao mesmo tempo; espera pela fita de alimentação; espera pela aprovação do controlo da qualidade, problemas relacionados com o ajuste do avanço da ferramenta e falta de experiência do operador. De forma a minimizar estes problemas e a diminuir os tempos de montagem e desmontagem de ferramentas, elaborou-se uma *checklist*, sendo que esta já foi adotada pela empresa.

No seguimento da metodologia SMED, foram convertidas operações internas em operações externas. Finalmente foram propostas ações de melhoria.

Com a utilização da *checklist* e estudos dos tempos de montagem e desmontagem de ferramentas espera-se conseguir um melhor planeamento desta atividade, evitando situações como espera por ferramentas vindas da manutenção, problemas relacionados com a fita de alimentação e deslocações desnecessárias, assim, verificar-se-á uma diminuição de tempos de montagem/desmontagem da ferramenta.

Por último, foram estudados modelos de manutenção preventiva em que o objetivo era de encontrar a periodicidade ótima de substituição de um componente e contribuir para o planeamento da serralharia. Uma vez que não existiam dados fiáveis para que fosse possível aplicar os modelos estudados, foram usados dados simulados. Começou por se considerar valores para os parâmetros da distribuição de Weibull. Seguidamente foi implementado, com recurso ao R, um procedimento que permite obter, de uma forma automática os tempos de substituição ótimos associados ao menor custo. Este procedimento foi desenvolvido tanto para a política *Age Replacement*, como para a *Block Replacement Policy*. A título de exemplo, utilizaram-se os dados de um componente da "Abraçadeira"- punção 20A e aplicou-se o procedimento desenvolvido. Neste ponto foram estimados os parâmetros de Weibull, com recurso à função *fitdistr* do R. Com a criação deste procedimento, pretende-se que futuramente, e utilizando os *outputs* da aplicação informática, a empresa consiga obter de uma forma automática a periodicidade ótima de substituição de componente, contribuindo assim para o melhoramento do planeamento da serralharia.

Finalmente, e com base no artigo desenvolvido por Talukder & Knapp (2002), estudou-se um modelo para substituição em grupo. O procedimento foi implementado em R, e permite de uma forma automática obter os grupos de componentes que se devem considerar, assim como identificar o grupo com um menor custo associado. Frisa-se que os resultados obtidos são meros exemplos e em nada refletem o que acontece na empresa. Dada a inexistência de dados, apenas foram desenvolvidos os procedimentos que futuramente poderão ser utilizados e que permitem de um forma automatizada obter a periodicidade ótima de substituição, assim como o custo para a mesma. Este metodologia permitirá à empresa, nomeadamente à serralharia, identificar grupos de componentes que poderão ser substituídos em grupos, minimizando assim os custos associados à manutenção preventiva. Isto é, quando se realizar uma intervenção de manutenção preventiva a uma ferramenta, será possível identificar quais os componentes que podem ser substituídos em simultâneo devido ao seu comportamento e características.



## 6. CONCLUSÃO E SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

A importância da manutenção na indústria está não só no facto desta manter os equipamentos em boas condições de funcionamento, como também contribuir para o aumento da produtividade, redução de custos operacionais, aumentando assim a competitividade da empresa no mercado. Contudo, questões como a falta de tempo, conhecimento e mão de obra têm dificultado a vida da indústria na hora de intervir nos equipamentos usados. É então usual que as equipas responsáveis pela manutenção dos equipamentos estejam ocupadas com as simples operações do dia a dia sem que tenham tempo para se dedicar a ações que realmente promovam melhorias.

No âmbito na dissertação de Mestrado de Engenharia e Gestão da Qualidade, foi desenvolvido um projeto numa empresa do ramo de metalomecânica. Este teve como principal objetivo melhorar a eficiência da secção da serralharia que tem como principal função as intervenções de manutenção em ferramentas dos equipamentos. O trabalho desenvolvido foi então ao encontro deste objetivo, assim como de sub - ojetivos definidos inicialmente.

Ao longo do projeto foram encontradas diversas dificuldades, contudo estas foram ultrapassadas resultando num processo de aprendizagem contínua e melhorias para a empresa. Dentro destas melhorias destacam-se alterações no registo das intervenções das ferramentas, contributo para o desenvolvimento de uma aplicação informática, implementação da metodologia SMED, conjunto de sugestões de melhoria a vários níveis, sugestões de indicadores de desempenho específicos para a serralharia e desenvolvimento de um procedimento que permitirá, futuramente, obter a periodicidade ótima de substituição de um componente e respetivos custos.

Espera-se que a obtenção automática dos indicadores venha motivar para a realização dos registos de dados na base de dados, que por sua vez irá impulsionar a implementação de melhorias com vista a melhorar o desempenho.

A nível dos tempos associados à montagem e desmontagem de ferramentas das respectivas máquinas, espera-se que com a utilização da *checklist* se consiga um maior controlo das operações e consequentemente uma redução de tempos desta operação.

A ausência de planeamento na serralharia faz com que existam vários problemas que afetam também a parte da produção. Esta área é vista como problemática pois existem muitos atrasos e os colaboradores não conseguem fazer tudo ao mesmo tempo: intervenções nas ferramentas, produção de ferramentas novas e ainda as emergências que vão surgindo com o decorrer da produção. Assim, será de todo importante que a empresa invista num planeamento para esta área, como ponto de partida foi desenvolvida a aplicação informática que permite o registo das intervenções e devolve indicadores de desempenho para a área. Com estes dados que se poderão extrair da base de dados, poderá ser aplicado o procedimento implementado em R que permite obter a periodicidade ótima de substituição de um componente.

Assim, considera-se que o trabalho desenvolvido foi um estudo preliminar de recolha de dados, descrição de problemas, aplicação de ferramentas, sugestões de melhoria que permitiram indicar o caminho, e auxiliarão para que no futuro seja desenvolvido um planeamento para a serralharia da empresa, e então originar uma redução de custos e tempos de espera, não estando os operários tão sobrecarregados e tendo um procedimento para auxiliar as suas tarefas.

A empresa em questão é uma empresa que se encontra em crescimento e apresenta diversas áreas que podem ser melhoradas, havendo assim várias oportunidades de melhoria.

No que concerne ao trabalho desenvolvido, e um pouco justificado pelo curto período do tempo para o desenvolvimento do mesmo e a inexistência de dados fiáveis para utilização, deixam-se de seguida sugestões para trabalhos futuros.

- Indicadores de desempenho propostos: cálculo dos indicadores propostos em falta; apresentação e discussão dos resultados dos indicadores obtidos na base de dados.
- Implementação da metodologia SMED: Apesar da *checklist* já estar incorporada no plano de melhoria da empresa sugere-se que esta a implemente e analise os resultados depois da sua implementação. Foram também sugeridas ações de melhoria que devem ser pensadas e discutidas pela gestão e se for o caso, implementadas.
- Relativamente às políticas de manutenção preventiva estudadas e implementadas, quando a empresa tiver dados suficientes e fiáveis, deverá aplicar o procedimento desenvolvido de forma a obter a periodicidade ótima de substituição de um componente, assim como identificar componentes que possam ser substituídos em grupo.

- Definir o número de unidades (componentes) que deverão estar em stock de forma a satisfazer as necessidades de substituição.
- Definir o número de unidades (componentes) que serão necessárias para atender à produção programada (para um determinado período).





## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFNOR, (2001). *Norme NF EN 13306 - Terminologie de la maintenance*. AFNOR, França.
- Ardit, D., & Messiha, H.M. (1999). Life cycle cost analysis (LCCA) in municipal organizations. *Journal of Infrastructure Systems*, Vol. 5 N. 1, pp. 1-10.
- Artigonal Diretório de artigos gratuitos*, Fevereiro 2015. URL: <http://www.artigonal.com>.
- Assis, R. (2004). *Apoio à decisão em gestão da manutenção: fiabilidade e manutibilidade*. Lisboa: Lidel - Edições Técnicas, Lda.
- Cabral, J.P.S. (2006). *Organização e gestão da manutenção: dos conceitos à prática*, 5ª edição, Porto: Lidel - edições técnicas, Lda.
- Campbell, J.D., & Jardine, A.K.S. (2011). *Maintenance excellence: equipment life - cycle decisions*. Marcel Dekker, USA.
- Chand, G., & Shirvani, B. (2000). Implementation of TPM in cellular manufacture. *Journal of Materials Processing Technology*, 103(1), 149-154. doi: 10.1016/s0924-0136(00)00407-6.
- Couto, R.J. (2008). *Estudo de implementação do método SMED do método de Taguchi no processo de injeção de plásticos*. Dissertação para obtenção de grau de mestre em engenharia mecânica. Instituto Superior Técnico de Lisboa, Portugal.
- Faria, A.C. (2007). *Gestão de custos logísticos*. Atlas.
- Ferreira, L. (1998). *Uma introdução à manutenção*. Publindustria: Porto. 1º Edição.
- Furtado, F. (2009). *Redes neurais na manutenção preditiva de caminhões fora de estrada*. Dissertação de mestrado. Pontifca Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil.
- Gosavi, A. (2006). *Risk-sensitive approach to total productive maintenance*. Automatica. Vol. 42, pp. 1321 – 1330.
- Hitomi, K. (1979). *Manufacturing systems engineering*. Taylor & Francis Ltd. London.
- Jardine, A.K.S. (1973), *Maintenance, Replacement and Reliability*, Pintman Publishing, Canada.
- Kardec, A., & Nascif, J. (2003). *Manutenção: função Estratégica*. Editora Qualitymark, Rio de Janeiro.
- Kobbacy, K., & Murthy, D. (2008). *Complex system maintenance handbook*. London: Springer- Verlag.
- Kumar, U. (2006). “Development and implementation of maintenance performance measurement system: issues and challenges”, *World Congress on Engineering Asset Management*.
- Lopes, I. (2007). *Técnicas quantitativas no apoio à decisão em sistemas de manutenção*. Dissertação de doutoramento, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal.

Marcorin, W., & Lima, C. (2003). Análise de custos de manutenção e de não-manutenção de equipamentos produtivos. *Revista de Ciência & Tecnologia*, 11, 35-42.

Marcorin, W., & Lima, C., (2003). *Manutenção função estratégica*. Editora Qualitymark. Rio de Janeiro.

Monchy, F. (1989). *A função manutenção. Formação para a gerência da manutenção industrial*. Editora Durban Ida. São Paulo.

Mota, P.M.P. (2007). *Estudo e implementação da metodologia SMED e o seu impacto numa linha de produção*. Dissertação para obtenção de grau de mestre em engenharia mecânica. Instituto Superior Técnico de Lisboa, Portugal.

Moubray, J. (1997). Reliability - Centered Maintenance. *Industrial Press: South Norwalk*. 2ª Edição.

Nakagawa.T. (2005). *Maintenance theory of reliability*. London: Springer.

NP EN 13306 (2010). *Norma Portuguesa: Terminologia da manutenção*. Instituto Português da Qualidade.

NP 4483 (2008). *Sistemas de gestão de Manutenção, Requisitos*. Instituto Português da Qualidade.

Oliveira, M., Lopes, I., & Figueiredo, D. (2014). Maintenance management practices of companies of the industrial pole of manaus. *Lecture Notes in Engineering and Computer Science: Proceedings of the world congress on engineering and computer science*. WCECS 2014, 22-24 October, 2014 (vol II, pp. 1016-1022). San Francisco, USA.

Pinto, J.,P. (2003). *Manutenção Lean*. Lidel edições técnicas, Ida. 3ª Edição. Lisboa

Shingo, S. (1985). A revolution in manufacturing: the SMED system. *Productivity Press*, Stamford.

Simões, J., Gomes, C., & Yasin, M. (2011). A literature review of maintenance performance measurement: A conceptual framework and directions for future research. . *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, pp. 116-137.

Siopa, J., Garção, J., & Silva, J. (2012). Estimation of component redundancy in optimal age maintenance. *Euro Maintenance*, Belgrade;14-16 Maio.

Talukder, M.S., & Knapp, G.M. (2002). Equipment assignment to multiple overhaul bocks in series systems. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol.8 No 4,pp.319-330

Veldman, J., Wortman, H., & Klingenberg, W. (2011). Typology of condition based maintenance. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, pp. 183-202.

Volkswagen Autoeuropa. 2002. *Manual de TPM*. 2ª Edição. 2002.

## ANEXOS

Anexo 1: Cadastro da ferramenta utilizado na área da serralharia.

B-93611

**Cadastro Ferramenta**

DADOS DA FERRAMENTA	
Referência:	<b>7437G</b>
N.º Cod.	41.505 07437 0 00
Designação	<b>ABRAÇADEIRA (3mm)</b>
Cliente	505
DADOS DA FERRAMENTA	
Dimensões (CxLxA)	400x350x300
Peso	230Kg
Tira	43x1,8mm
Avanço	14mm
Materia	Fita de Aço DC 03
Localização	ESTAMPAGEM
MANUTENÇÃO PREVENTIVA	
Punções	Rectificar a cada 100.000 peças
Matrizes	Verificar a cada 5.000.000 peças
Molas	Verificar a cada 3.000.000 peças
Colunas e Casquilhos	Verificar a cada 3.000.000 peças
Guia da tira e piloto	Verificar a cada 1.000.000 peças

Mod.021/AG.1

Anexo 2: Indicadores de Gestão 2014 - ETMA

PROCESSO	INDICADOR	Objectivo
Logística e Expedição	<b>Transportes adicionais</b> relação entre transportes totais e transportes extraordinários	<3.0%
	<b>Gestão de encomendas</b> relação entre entregas dentro do prazo e total de entregas	>90%
	<b>Gestão de encomendas - Clientes ISO TS</b> relação entre entregas dentro do prazo e total de entregas	>95%
	<b>Paragem de linhas de cliente</b> n.º de paragens de linha no cliente	<4paragens
Qualidade	<b>Peças enviadas / peças devolvidas (mensal)</b> relação de peças devolvidas com peças enviadas ao cliente	<0,2%
	<b>Peças enviadas / peças devolvidas ISO TS (mensal)</b> relação de peças devolvidas com peças enviadas ao cliente	<0,2%
	<b>Refugo Peças Finais (mensal)</b> relação de peças sucataadas com peças enviadas ao cliente	<1,3%
	<b>Peças devolvidas c/ defeito (mensal) ppm - Clientes ISO TS</b> relação de peças devolvidas com defeito com peças enviadas ao cliente	<100ppm
	<b>Peças devolvidas c/ defeito (mensal) ppm</b> relação de peças devolvidas com defeito com peças enviadas ao cliente	<300ppm
	<b>Custos não qualidade interno (mensal)</b> relação entre valor BNCs e total entregue	<0,3%
	<b>Custos não qualidade externo (mensal)</b> relação entre valor BNCs e total entregue	<0,3%
Recursos Humanos e Higiene e Segurança	<b>Absentismo (mensal)</b> relação entre as horas faltadas e as totais trabalhadas	<2.0%
	<b>Formação (mensal)</b> relação entre horas totais de formação e horas totais trabalhadas	>2.0%
	<b>Acidentes de trabalho (mensal)</b> nº acidentes mensais	≤1
Fornecedores, Compras e Armazém	<b>Compras MP (mensal)</b> relação entre o valor de compras de MP e valor entregue	<36.0%
	<b>Compras MS (mensal)</b> relação entre o valor de compras de MS e valor entregue	<4,5%
	<b>Avaliação fornecedores (Anual)</b>	>90%

	Percentagem de fornecedores com avaliação A	
	<b>Stock MP (mensal)</b> relação entre valor do stock de MP e valor entregue	12<Stock<20 dias
	<b>Stock WIP (mensal)</b> relação entre valor do stock de WIP e valor entregue	<12dias
	<b>Stock PA (mensal)</b> relação entre valor do stock de PA e valor entregue	<22dias
	<b>Monos MP (mensal)</b> relação entre valor do stock de monos MP e valor entregue	<8dias
	<b>Monos PA (mensal)</b> relação entre valor do stock de monos PA e valor entregue	<6dias
	Manutenção	<b>Custos manutenção sector (mensal)</b> relação entre custos OF's de Manutenção e valor entregue
<b>Horas Paragem Manutenção (mensal)</b> Horas intervenção da manutenção / horas trabalhadas		<2.0%
Comercial		<b>Evolução vendas (Quadrimestral)</b> relação entre valor orçamentado e valor entregue
	<b>Novos Clientes (Anual)</b> Novos Clientes	>15
	<b>Nº Reclamações S/ ISO TS(Anual)</b> Nº reclamações de cliente	<35
	<b>N.º Reclamações P/ Cliente ISO TS (Anual)</b> Nº reclamações de cliente	<18
	<b>Orçamentos (mensal)</b> Nº Peças orçamentadas	3pcs/dia
	<b>Média tempo resposta reclamações S/ ISO TS(mensal)</b> relação entre nº total de reclamações respondidas e tempo de resposta	3 dias úteis
	<b>Média tempo resposta reclamaçõesP/ Cliente ISO TS (mensal)</b> relação entre nº total de reclamações respondidas e tempo de resposta	2 dias úteis
	Produção	<b>Parafusos</b> relação entre custos c/ pessoal e valor entregue por sector
<b>OEE Parafusos</b> Eficiência produtiva das máquinas OEE		>50.0%
<b>Montagens</b> relação entre custos c/ pessoal e valor entregue por sector		<11.0%
<b>Tornos</b> relação entre custos c/ pessoal e valor entregue por sector		<14.0%
<b>OEE Tornos</b> Eficiência produtiva das máquinas OEE		>60.0%
<b>Estampagem</b> relação entre custos c/ pessoal e valor entregue por sector		<10.0%

	<b>OEE Estampagem</b> Eficiência produtiva das máquinas OEE	>70.0%
	<b>Tratamentos (térmicos+superfície)- NOVO</b> relação entre custos c/ pessoal e valor facturado (interno+externo)	1º ano
Eng <sup>a</sup> Industrial	<b>Ferramentas Novas</b> Nº de ferramentas novas (anual)	>5( unid)
	<b>Venda de Ferramentas</b> Facturação de Ferramentas e Protótipos	>120.000€
	<b>Eficiência de Mão-de-Obra</b> Custo mão-de-obra/(facturado Interno+Externo)*100	<45.0%
Ambiente	<b>Desempenho energético (Quadrimestral)</b> relação de consumo energético (kW) por hora de trabalho	<9Kw/h
	<b>Reduzir o consumo de água no sector de lavagem</b> Consumo de água sector (m3)/ hora de trabalho funcionário	20,00%
Melhoria Contínua	<b>Programas Melhoria Lançados</b> nº processos melhoria lançados quadrimestralmente	≥4
	<b>Programas de Melhoria Lançados em Cooperação c/ Clientes</b> nº processos melhoria lançados	≥5
	<b>Média da eficácia dos programas de melhoria Lançados e fechados(Quadrimestral)</b> relação entre os PM fechados com sucesso e o total de PM 's	-
Gestão	<b>Gestão do Sistema de Gestão (Anual)</b> nº de objectivos atingidos	>82%
	<b>Cash Flow antes de impostos (Quadrimestral)</b> relação entre valor do cash flow e valor entregue	≥12.0%

Anexo 3: Registo de montagem e tempos associados de uma ferramenta numa *Bihler*.

<i>Montagem/ Desmontagem da ferramenta</i>					
<i>Máquina: Bihler, ferramenta TELEVES 7576G</i>				<i>Data 15 de setembro de 2015</i>	
<i>Início</i>	<i>Fim</i>	<i>Interna</i>	<i>Externa</i>	<i>Tempo perdido</i>	<i>Descrição da tarefa</i>
10:53	11:02	X		9 minutos	Preparação do alimentador da fita para que este seja introduzida na máquina Sub-operações: 1- Deslocação do funcionário para transporte de da fita 0.55 minutos 2- Operador vai arrumar o empilhador da fita 1:12 minutos
11:04	11:05	X		1 minuto	Operador retira ferramenta e peças já não necessárias da máquina para que esta fique liberta para a montagem.
11:06	12:30	X		1h 24 minutos	Montagem: ajuste da máquina, montagem da estrutura da ferramenta, preparação, apertos e calibração Sub-operações:
13:40	15:01			1h 21 minutos	1- Deslocação para ir buscar material 10 minutos e 31 segundos 2- Deslocação do operador à serralharia 23 minutos e 31 segundos (ir buscar desenho 2min 16; pedido de componente novo 10min 59; pedido de afinamento em componente 2:31) 3- Deslocamento para operador entrevir noutra máquina 8min 53 4- Troca de componente por este ser necessário para outra máquina 16minutos 5- Intervenção máquina 1h e 46 minutos
				TOTAL: 2h45min	
15:01	10:30	X			Paragem na montagem pois a ferramenta



	dia 17- 9-15				<p>específica estava ainda estava na serralharia, isto é:</p> <p>Espera devido a operadores da serralharia.</p> <p>NOTA: A ferramenta veio da manutenção as 10:30 do dia 17 de setembro, depois de montada produziu 500 peças e teve que ser novamente desmontada e enviada novamente para retificar na manutenção. Este procedimento de montar - desmontar - serralharia repetiu-se 4 vezes até ao final da observação (dia 18 de setembro).</p>
--	-----------------	--	--	--	---

Anexo 4: Dados obtidos para o punção 20A da ferramenta "Abraçadeira".

<i>Punção de corte 20A</i>			
<i>Data de intervenção</i>	<i>Reparado</i>	<i>Substituído</i>	<i>Valor que acumulou desde a intervenção anterior (n° de peças produzidas)</i>
16/10/2013		x	500000
29/10/2013		x	136000
09/11/2013		x	144000
29/11/2013		x	66000
04/12/2013		x	74000
10/12/2013		x	115000
13/12/2013	x		192000
30/01/2014	x		763000
21/03/2014	x		635000
27/03/2014		x	178000
01/04/2014		x	179000
15/05/2014		x	624000
16/05/2014	x		26000
23/05/2014		x	159000
28/05/2014		x	146000
04/06/2014		x	196000
20/06/2014	x		250000
26/06/2014	x		154000
06/07/2014	x		279000
29/07/2014		x	545000
03/09/2014	x		335000
16/09/2014		x	118600
09/10/2014		x	585400
24/10/2014		x	272000
14/11/2014		x	335000