



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR

Engenharia

# **Avaliação do Desempenho da Função Manutenção numa Empresa de Transporte Rodoviário**

**Pedro Miguel Pinto Pereira**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

**Engenharia e Gestão Industrial**

(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Davide Sérgio Baptista da Fonseca

Covilhã, Outubro 2019



# Dedicatória

Aos meus pais.

À minha irmã.

A todos aqueles que me fizeram ser quem sou hoje.

“Success is a consequence and must not be a goal”

Gustave Flaubert



# Agradecimentos

O maior agradecimento tem de ir para os meus pais, Deolinda e Manuel, por todo o carinho, palavras de apoio e incentivo, mas sobretudo pelos esforços que fizeram para tudo isto fosse possível e para que chegasse onde cheguei.

À minha irmã pelo amor e carinho, pela motivação que me dá de forma a aprender com os meus erros e me tornar o melhor exemplo possível para ela.

À minha família, aos que me apoiaram, aos que me apoiam e continuarão a apoiar durante toda a minha vida.

Um agradecimento especial ao meu orientador, professor Davide Fonseca, pelo apoio e disponibilidade na realização desta dissertação.

Um grande agradecimento à empresa Transdev, em especial aos engenheiros Nuno Pinto, Carla Macedo e Cátia Pereira, pelo tempo e trabalho disponibilizados e ajuda em tudo o que puderam para este trabalho fosse feito.

À minha namorada, Andreia, pelo apoio, carinho e amor. Por estar a meu lado e me dar a motivação necessária não só agora, mas sempre.

Por último, aos meus amigos. Os que trazia e os que a Covilhã me deu a conhecer, a todos eles o meu obrigado por me fazerem crescer e chegar longe com eles.



# Resumo

Esta dissertação nasce de um acordo com a empresa de transportes coletivos Transdev Portugal de forma a definir o desempenho da função manutenção. Neste tipo de empresas a correta manutenção apresenta um papel preponderante, visto que, uma boa prestação da mesma permite que se atinjam os objetivos predefinidos. Assim, torna-se necessário avaliar o desempenho da função manutenção.

A filosofia Seis Sigma apresenta-se como uma filosofia de melhoria contínua dentro das organizações, sendo que Gupta a conjuga com a *Business Scorecard* para obter uma metodologia que permite ao mesmo tempo avaliar e melhorar o desempenho através de indicadores. Cabrita foca-se na área do desempenho da manutenção industrial e, ao aliar a *Lean Maintenance* com a filosofia *Six Sigma Business Scorecard* desenvolve a *Six Sigma Maintenance Scorecard*. Metodologia que servirá de base à realização deste trabalho, assim, é feita uma adaptação às necessidades de uma empresa com a manutenção centrada numa frota de veículos. São revistos os indicadores de desempenho e fórmulas de cálculo de modo a que seja possível determinar o nível Seis Sigma em duas das oficinas que compõem a empresa.

Depois de calculado, permite uma comparação direta de desempenho, mas também perceber em que tipo de indicadores cada uma das oficinas falha e deve melhorar. Deste modo aparece o processo de melhoria contínua que leva os indicadores a serem revistos de forma gradual para que o seu rácio melhore e, conseqüentemente, o nível Sigma.

## Palavras-chave

Função manutenção, Six Sigma, Six Sigma Maintenance Scorecard, Lean Maintenance, avaliação de desempenho.



# Abstract

This master's thesis was developed in cooperation with a collective transport company, Transdev Portugal. In this type of business maintenance has a massive role, as a good implementation leads to the achievement of the goals. For this purpose, maintenance performance must be evaluated.

Six sigma philosophy can be presented as a continuous improvement inside an organization. For Gupta, combining it with the Business Scorecard provides a methodology that allows both to evaluate and improve performance through performance indicators. Cabrita's work emphasizes industrial maintenance performance and, when combined with Lean Maintenance and the six sigma philosophy Business Scorecard, creates a Six sigma maintenance scorecard. This methodology will be the basis for this master thesis. Thus, in this case, an adjustment will be made to the requirements of a company with maintenance focused on a fleet of vehicles. Performance indicators and calculation routines will also be analysed to determine the six-sigma level of maintenance function in two different facilities belonging to the same company.

A comparison of both performances will be accomplished, six sigma level and maintenance indicators will be compared, so it will be possible to determine potential improvements.

## Keywords

Maintenance, Six Sigma, Six Sigma Maintenance Scorecard, Lean Maintenance, performance evaluation.



# Índice

Dedicatória .....	iii
Agradecimentos.....	v
Resumo.....	vii
Abstract.....	ix
Lista de Tabelas .....	xv
Lista de Acrónimos .....	xvii
Capítulo 1: Introdução .....	1
1.1 Motivações e objetivos .....	1
1.2 Estrutura da dissertação .....	2
Capítulo 2: Manutenção .....	3
2.1 O que é manutenção?.....	3
2.2 Evolução histórica da função manutenção .....	3
2.3 Objetivos da Manutenção .....	5
2.4 Estratégias de manutenção .....	5
2.4.1 Manutenção melhorativa.....	6
2.4.2 Manutenção Corretiva .....	7
2.4.3 Manutenção preventiva sistemática.....	8
2.4.4 Manutenção preventiva condicionada.....	10
2.5 Filosofias de manutenção .....	11
2.5.1 Manutenção produtiva total .....	12
2.5.2 Manutenção centrada da fiabilidade .....	13
2.5.3 Manutenção de qualidade total .....	14
2.6 Níveis de manutenção .....	15
2.7 Principais indicadores relativos aos bens .....	15
2.7.1 Fiabilidade .....	16
2.7.2 Manutibilidade.....	16
2.7.3 Disponibilidade .....	16
Capítulo 3: A Seis Sigma aplicada à Manutenção .....	17

3.1 Perspetiva histórica .....	17
3.2 Custos de má qualidade.....	19
3.3 Organização Seis Sigma .....	21
3.4 Metodologias utilizadas na implementação 6 Sigma .....	21
3.5 Conceitos e definições .....	22
3.5.1 Distribuição de Poisson .....	22
3.5.2 Defeitos por unidade .....	23
3.5.3 Defeitos por oportunidade .....	25
3.6 Filosofia Seis Sigma Magra.....	26
3.7 <i>Six Sigma Business Scorecard</i> .....	27
3.8 Determinação do nível Seis Sigma.....	29
3.8.1 Grandes e médias empresas.....	29
3.8.2 Pequenas empresas.....	36
3.9 Manutenção industrial Seis Sigma .....	39
3.9.1 Implementação .....	40
3.9.2 Indicadores parciais de desempenho .....	42
3.9.3 Determinação do nível <i>Seis Sigma Maintenance Scorecard</i> - SSMS .....	44
3.9.4 Correção do nível Seis Sigma.....	49
Capítulo 4: Caso Prático - Transdev Portugal .....	51
4.1 A Transdev em Portugal .....	51
4.1.2 Modelo de manutenção .....	53
4.1.2 Suporte informático .....	55
4.2 Cálculo nível Seis Sigma .....	56
Capítulo 5: Conclusões .....	65
5.1 Generalidades .....	65
5.2 Análise de resultados.....	65
5.3 Recomendações para trabalhos futuros .....	67
Referências .....	69

# Lista de Figuras

Figura 2.1 - Função manutenção numa perspetiva histórica [5].....	4
Figura 2.2 - Objetivos principais da manutenção [6].....	6
Figura 2.3 - Estratégias de manutenção.....	7
Figura 2.4 - Custos manutenção preventiva sistemática. [12].....	9
Figura 2.5 - Curva de tendência de um parâmetro de funcionamento de um equipamento. [12].....	10
Figura 2.6 - Evolução das filosofias de manutenção.[12].....	12
Figura 2.7 - Pilares do TPM. [36].....	13
Figura 3.1 - Evolução das filosofias Magra e Seis Sigma.....	27
Figura 4.1 - Organograma do departamento de manutenção da oficina de Lamego.....	54



# Lista de Tabelas

Tabela 3.1 - Correspondência entre os níveis de curto prazo e longo prazo. [21].....	19
Tabela 3.2 - Relação entre os níveis Seis Sigma e os COPQ. [22].....	20
Tabela 3.3 - Exemplo numérico prático de terminação do nível Seis Sigma para a filosofia Six Sigma Business Scorecard aplicada a grande e médias empresas. [31].....	33
Tabela 3.4 - Valores recomendados para os rácios de desempenho dos indicadores medidos (médias e grandes empresas). [29].....	34
Tabela 3.5 - Correspondência entre os níveis Seis Sigma e <i>DPMO</i> [29].....	35
Tabela 3.6 - Valores máximos e mínimos dos <i>DPUB</i> [29].....	35
Tabela 3.7 - Valores máximos e mínimos dos níveis Seis Sigma consoante o número de executivos. [29].....	36
Tabela 3.8 - Valores recomendados para os rácios de desempenho dos indicadores medidos (pequenas empresas)[31].....	38
Tabela 3.9 - Exemplo prático da determinação do nível Seis Sigma para a filosofia <i>Six Sigma Business Scorecard</i> para pequenas empresas. [31].....	39
Tabela 3.10 - Exemplo prático de determinação do nível Seis Sigma para a filosofia de Manutenção Seis Sigma[29].....	47
Tabela 3.11 - Diferença entre os rácios $R_n$ e $D_n$ [29].....	48
Tabela 3.12 - Valores sugeridos para os rácios efetivos de desempenho dos indicadores medidos.[29].....	49
Tabela 3.13 - Exemplo do cálculo do fator de correção do nível Seis Sigma. [31].....	50
Tabela 4.1 - Número de colaboradores por categoria profissional.....	55
Tabela 4.2 - Indicadores de desempenho relativos às oficinas de Eiriz e Lamego.....	60
Tabela 4.3 - Valores recomendados para os rácios de desempenho dos indicadores medidos.....	61
Tabela 4.4 - Determinação do nível Seis Sigma para a filosofia Manutenção Seis Sigma (Maintenance Scorecard).....	62



# Lista de Acrónimos

COPQ	Costs of poor quality (Custos de má qualidade)
DFSS	Design for six sigma (Desenvolvido para a Seis Sigma)
DMADV	Define, measure, analyse, design and verify (Definir, medir, analisar, desenvolver e verificar)
DMAIC	Define, measure, analyse, improve and control (Definir, medir, analisar, melhorar e controlar)
DPM	Defeitos por milhão
DPMO	Defeitos por milhão de oportunidades
DPO	Defeitos por oportunidade
DPU	Defeitos por unidade
EGE	Eficiência global dos equipamentos
EN	Norma europeia
FMEA	Failure modes effects and analysis (Análise do modo e feito de falhas)
FMECA	Failure modes effects and criticality analysis (Análise do modo, efeitos e criticidade de falhas)
IDM	Índice de desempenho de manutenção
IEP	Índice efetivo de pessoal
IMTT	Instituto da mobilidade e transportes terrestres
IPO	Inspeção periódica obrigatória
IQS	Índice de qualidade do serviço
ISO	Organização internacional de normalização
ITA	Índice técnico de atividade
ITE	Índice de trabalho extraordinário
ITS	Índice de trabalho subcontratado
IVP	Índice volume de produção
MDT	Maintenance down time (Tempo de duração da manutenção)
MTBM	Mean time between maintenance (Tempo médio entre manutenção)
NP	Norma portuguesa
OHSAS	Occupational Health and safety assessment standard (Norma de avaliação de segurança e saúde)
OT	Ordem de trabalho
PDCA	Plan, do, check, and act (Planear, fazer, verificar e agir)
RCM	Reliability centered maintenance (Manutenção centrada na fiabilidade)
RTY	Rolled throughput yield
SSBS	Six sigma business scorecard (Carta de registos de negócios Seis Sigma)
TOL	Taxa de operação líquida

TPM	Total productive maintenance (Manutenção produtiva total)
TQM	Total quality maintenance (Manutenção de qualidade total)
TRS	Taxa de rendimento sintética
TVO	Taxa de velocidade operacional

# Capítulo 1: Introdução

Este capítulo tem como objetivo introduzir o trabalho a ser desenvolvido nesta dissertação, os seus objetivos e ainda a estrutura da mesma. Será também apresentada a motivação que levou à sua realização.

## 1.1 Motivações e objetivos

O mundo vive mudanças assinaláveis nas mais variadas áreas, sendo que a função manutenção não foge à regra. Uma das mudanças mais transversais é a da procura pela eficiência, seja energética, de consumo, mas sobretudo económica e ambiental. Neste sentido têm de ser realizados grandes esforços, de todos os departamentos que compõem uma organização, para que se atinjam os objetivos. Esforços esses que incluem a função manutenção onde são repensadas técnicas e filosofias de manutenção e consideradas novas metodologias que permitam clarificar e posicionar o desempenho da função manutenção.

Para a definição dos planos de manutenção são levados em consideração, por exemplo, objetivos internos da organização assim como o número e criticidade dos vários equipamentos. Posteriormente, há que avaliar a escola efetuada sendo, por isso, necessário medir o desempenho das atividades de manutenção.

De forma mais básica, é possível analisar o desempenho da função manutenção pelos números de avarias ou tempo de imobilização por avaria em comparação com períodos anteriores. Uma forma um pouco mais complexa que esta de medir desempenho passa pela definição de indicadores de desempenho (aqueles que mais convém à organização) e fazer com que sejam analisados ao longo do tempo de modo a que se perceba, de forma mais organizada e específica, as áreas onde existem mais falhas e se devem melhorar.

Quando associada com indicadores de desempenho e outros métodos “Lean”, a filosofia Seis Sigma pode também ser usada para controlar o desempenho de processos como o de manutenção, tal como pode ser comprovado pelo estudo do Professor Cabrita. Ao utilizar a *Six Sigma Business Scorecard* aplicada à manutenção (*Six Sigma Maintenance Scorecard*), além de permitir implementar etapas de melhoria continua e sem desperdícios, permite também analisar e melhorar o desempenho das atividades de manutenção com base nos níveis Seis Sigma. Facto este que se tem revelado de grande interesse para as empresas. No caso de Cabrita, a filosofia Seis Sigma é utilizada tendo por base a manutenção efetuada em empresas industriais de produção. No que toca a este trabalho de mestrado, irá ser feito com base na função manutenção de uma empresa de transportes, sendo que naturalmente, a manutenção

incide sobretudo sobre a sua frota de veículos, o que leva à necessidade de algumas alterações em relação ao trabalho referido anteriormente.

Neste projeto, pretende-se primeiro descrever as estratégias e políticas de manutenção e dar a conhecer ainda a referida metodologia Seis Sigma, nomeadamente a *Six Sigma Maintenance Scorecard*. Devem ainda ser definidas as metodologias de análise a aplicar nesta dissertação e, tendo em conta a sua realização em conjunto com a empresa de transportes coletivos Transdev Portugal, faz ainda parte dos objetivos o acompanhamento e compreensão dos processos de manutenção realizados nas oficinas a visitar. Tendo em conta as informações disponíveis e, sobretudo, aquelas que podem ser utilizadas, vão ser definidos indicadores de desempenho de forma a poderem ser utilizados para o cálculo do nível Seis Sigma. A análise da função manutenção assim como o cálculo do seu desempenho acaba por ser o objetivo primordial deste trabalho. Por acréscimo será possível perceber onde cada uma das oficinas perde mais em termos de eficiência e, portanto, onde é possível melhorar por forma a alcançar o melhor nível Seis Sigma possível.

## 1.2 Estrutura da dissertação

Para além do presente capítulo, este trabalho de dissertação é composto por mais 4 capítulos que tratam dos seguintes assuntos:

**Capítulo 2:** neste capítulo apresenta-se uma introdução à Manutenção sendo que é explicado o seu surgimento e evolução ao longo do tempo até aos dias de hoje. São também apresentados alguns termos técnicos, forma e tipos de manutenção.

**Capítulo 3:** aqui será explicado o conceito de filosofia Seis Sigma ( $6\sigma$ ), a aplicabilidade do conceito. A apresentação irá desde o seu surgimento, às necessidades da equipa para implementação e à implementação em si. As evoluções que levam ao aparecimento da *Maintenance Scorecard* são aqui explicadas. Através da apresentação de exemplos práticos será possível perceber a forma de cálculo e a sua real utilização nas organizações. Uma breve apresentação das bases probabilísticas e estatísticas é aqui feita.

**Capítulo 4:** é neste capítulo que será dada a conhecer a empresa onde é realizada esta dissertação. Como será feita em apenas duas das várias oficinas que a empresa tem em Portugal, é feita uma pequena observação sobre cada uma delas sobretudo no que aos recursos humanos diz respeito. Os resultados dos cálculos do nível seis sigma é aqui descrito.

**Capítulo 5:** capítulo das conclusões, aqui serão discutidos os resultados e feita uma comparação entre as duas oficinas em estudo.

# Capítulo 2: Manutenção

Neste capítulo será apresentado o conceito de manutenção e, de forma mais ou menos breve, será ainda apresentada uma pequena revisão da evolução histórica da mesma.

## 2.1 O que é manutenção?

São diversas as definições de manutenção que se encontram na literatura. De acordo com a norma NP EN 13306:2007, manutenção apresenta-se como a combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão, durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou repô-lo num estado em que possa desempenhar a função requerida [1]. Esta trata-se da definição normalizada, outros autores definem manutenção de uma forma um pouco mais alargada, mas ao mesmo tempo ligeira, dizendo que consiste em organizar, planear, supervisionar, coordenar e controlar as ações necessárias para garantir que um equipamento desempenhe as funções para que foi projetado, isto tudo, tendo em consideração as possibilidades financeiras da organização [2]. Uma definição mais abrangente entende-se como o conjunto das ações destinadas a assegurar o bom funcionamento das máquinas e das instalações, garantindo que elas são intervencionadas nas oportunidades e com o alcance certos, de maneira a evitar que avariem ou baixem de rendimento e, no caso de tal acontecer, que sejam repostas em boas condições de operacionalidade com a maior brevidade, tudo a um custo global otimizado [3].

Mais definições existirão, ainda assim, estas servem para que se perceba a real mais valia de se efetuar uma correta e pensada manutenção: manter um equipamento, seja ele qual for, a desempenhar corretamente as funções para as quais foi pensado. São inúmeras as vantagens, quer em termos de segurança de pessoas e bens, quer financeiras.

Assim, contrariamente à ideia mais ou menos generalizada de que a manutenção representa apenas custos e tempo perdido, a manutenção, e todas as ações a ela associadas, é uma oportunidade para tornar as empresas mais seguras e lucrativas.

## 2.2 Evolução histórica da função manutenção

Considerando a manutenção como uma ou várias ações que repõem o bom estado de funcionamento de um bem, pode afirmar-se que esta existe desde os primórdios da humanidade. Se se pensar, como referido, nos primórdios da humanidade e nos utensílios usados pelos nossos antepassados, estes, por vezes necessitavam quer de melhorar quer de

reparar os utensílios. Assim, ainda que inadvertidamente, estavam já a usar métodos de manutenção.

Analisando a evolução da função manutenção ao longo da história, podem-se definir três marcos importantes:

O primeiro grande marco ocorre em consequência da revolução industrial. Assim, a introdução das máquinas nos processos de fabricação e montagem tornou evidente a necessidade de fazer a sua respetiva manutenção. Sendo que nesta primeira fase eram os próprios operadores a fazer a manutenção das máquinas por eles usadas, tratando-se de uma manutenção do tipo corretivo.

O segundo grande marco acontece durante as grandes guerras mundiais. Passam a existir técnicos de manutenção especializados apenas nessa função e a manutenção passa a ser, regra geral, preventiva.

Por último, mas não menos importante, surge a crise petrolífera do início dos anos 70 do século XX que marca muito daquilo que se faz em termos de manutenção hoje em dia. Com a referida crise, procura-se aumentar a eficiência e a sustentabilidade que passa em grande medida por racionalização de recursos. Nesta fase passa a existir a figura do engenheiro de manutenção e cria-se a manutenção condicionada [4].

Do ponto de vista do conceito, a manutenção foi durante muitos séculos vista como um mal necessário e inerente ao processo produtivo nas empresas. Atualmente é vista como algo positivo no seio das organizações e trabalha lado a lado com a produção tendo uma participação ativa no seio da mesma [5]. Atravessou ainda fases intermédias quanto à sua importância, como é possível ver na Figura 2.1.

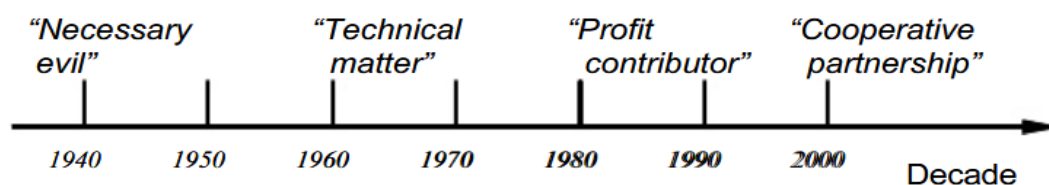


Figura 2.1 - Função manutenção numa perspetiva histórica [5]

Em resumo, pode afirmar-se que a manutenção evoluiu de um conceito de conservação (a função inicial da manutenção), ou seja, algo apenas técnico, para uma verdadeira manutenção, definida por aspetos quer de gestão quer financeiros (como é referido pela definição atual de manutenção), o que leva a função manutenção a ter grande importância nas empresas uma vez que passa a tomar parte nas decisões referentes à compras de equipamentos, mas também na definição do seu tempo de vida útil e conseqüente momento de abate dos mesmos.

## 2.3 Objetivos da Manutenção

Como já foi referido neste trabalho, a função manutenção era vista como um mal necessário no seio de uma empresa. Era uma “ação” apenas usada quando necessário e com os custos o mais baixo possível de forma a ser o menos relevante possível para as organizações.

A crescente necessidade em produzir bens ou serviços de qualidade, as exigências ambientais mais restritivas, a necessidade de marcar pela diferença e a necessidade de preços competitivos para sobreviver no mercado leva as empresas a planear de forma muito criteriosa os planos de manutenção e, sobretudo, a levar em conta os benefícios por eles trazidos.

O responsável da manutenção, que antes se preocupava apenas com questões que iam surgindo, pode ser agora designado por gestor da manutenção e tem responsabilidades que se estendem e ganham importância no seio da empresa. A função de gestão da manutenção consiste em manter as instalações e os equipamentos em bom estado de funcionamento ao nível correto de eficiência produtiva e ao custo económico mais apropriado e reduzido possível [6].

No que toca aos objetivos da função manutenção, estes devem ser alinhados tendo sempre em conta os objetivos e estratégias gerais da organização, sem nunca esquecer o orçamento que lhe está destinado [4] [7].

Tendo como base a Figura 2.2 é possível perceber que os objetivos primários da manutenção passam por garantir máxima disponibilidade, qualidade e segurança ambiental, de pessoas e bens, minimizando os custos com a manutenção e com perdas de produção. De modo a garantir a máxima disponibilidade é necessário reduzir os tempos associados a imobilizações e paragens por avarias. A necessária procura pela qualidade não se resume aos bens e serviços produzidos, mas estende-se aos equipamentos, porque só assim se consegue a qualidade dos bens e serviços. Por fim, importa salientar a necessidade da função manutenção ter sempre presente o objetivo de garantir a segurança ambiental, de pessoas e bens (equipamentos e instalações) [4].

Ter todos estes objetivos em pé de igualdade é muito complicado, pelo que tem de se dar primazia a alguns deles. No fundo, é necessário fazer uma hierarquização dos objetivos de forma a trabalhar e implementar os mais importantes primeiro. Esta hierarquização vai depender de organização para organização pois tem muito a ver com as políticas da própria empresa e com os fins a que se destina.

## 2.4 Estratégias de manutenção

A manutenção de um sistema, equipamento ou instalação deve ser definida tendo em consideração os objetivos da empresa/organização, a criticidade do elemento a intervir ou mesmo a disponibilidade quer de mão de obra, quer de tecnologia de suporte à manutenção. Assim, na literatura existem opiniões diversas no que respeita ao modo de identificar e agrupar

as diferentes estratégias de manutenção. [3] [8] [9] [10] [11]. Apesar disso, a maioria converge para a classificação adotada neste trabalho e que se apresenta na Figura 2.3 [10].

É possível ainda acrescentar 2 subgrupos à forma de manutenção preventiva e são eles: manutenção preventiva sistemática e manutenção preventiva condicionada. Estes 2 subgrupos, apesar idênticos na sua génese, como por exemplo a questão de serem planeados no tempo, apresentam diferenças que não os permitem ser considerados como um todo tal como se verá adiante neste trabalho.



Figura 2.2 - Objetivos principais da manutenção [6]

### 2.4.1 Manutenção melhorativa

Este tipo de manutenção apresenta-se como a conjugação de estudos e projetos que levam à realização de alterações no equipamento com o objetivo de eliminar ou reduzir operações de manutenção através da introdução de modificações que melhorem a fiabilidade e manutibilidade dos equipamentos [10].

É de salientar que na norma Portuguesa EN 13306:2007 ainda não ser contemplado este tipo de manutenção que pode, por alguns, não ser considerada uma atividade de manutenção propriamente dita, mas sim uma atividade onde a manutenção desempenha um papel preponderante na realização das tarefas.

Tanto pode ser realizada pelo fabricante como pelo utilizador e, por norma, são efetuadas aquando das revisões gerais por se tratar de um processo bastante demorado. Alguns dos domínios e ações que podem ser levadas a cabo pela manutenção melhorativa são [12]:

- Instalação de equipamento adicional ou de controlo;
- Automação;
- Equipamentos para incrementar o rendimento;
- Melhorias na poupança de energia;
- Redução de emissões poluentes;
- Redução de ruído;
- Melhorar acessos para manutenção;
- Reduzir necessidades de manutenção.

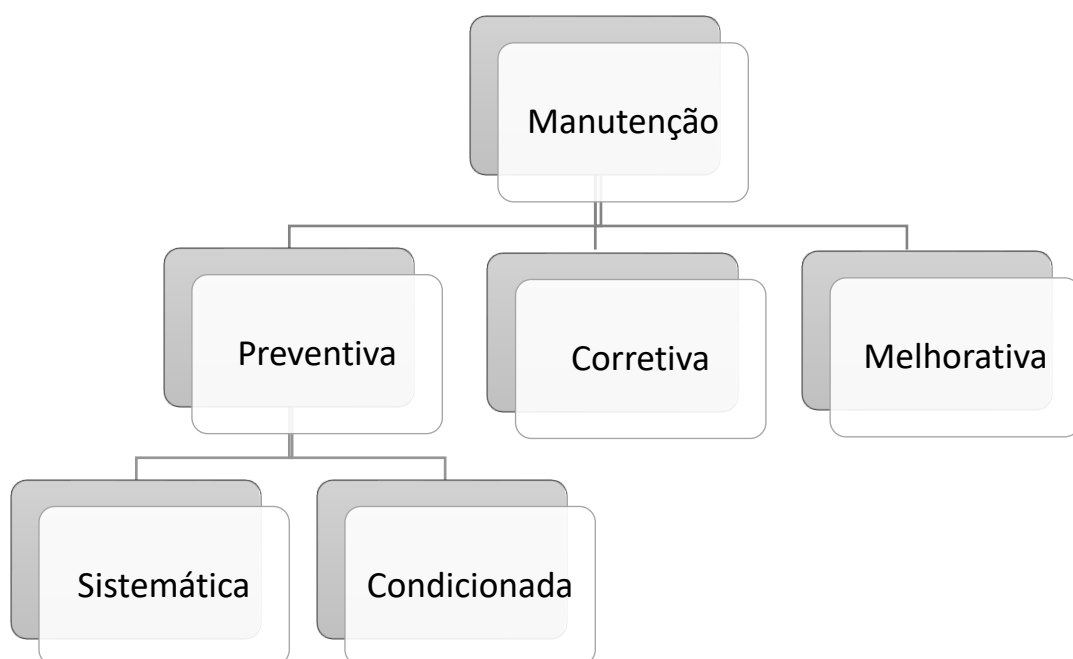


Figura 2.3 - Estratégias de manutenção.

### 2.4.2 Manutenção Corretiva

Pode ser considerada como a forma mais simples e antiga de manutenção. Baseia-se na ideia de deixar o equipamento funcionar até que ocorra a falha, pelo que as ações de manutenção corretiva só são efetuadas quando o equipamento se encontra avariado.

Mais uma vez segundo a norma, manutenção corretiva define-se como um tipo de manutenção efetuada quando o equipamento se encontra em estado de avaria e destinada a repor um bem num estado em que pode realizar a função requerida [1].

É ainda conhecida como curativa ou resolutive e, uma vez que reage à ocorrência da avaria, é considerada como manutenção do tipo reativo, ao contrário dos outros tipos de manutenção que se definem como proativas (agem antes da ocorrência da avaria) [6].

Do ponto de vista económico, é aparentemente atrativa, uma vez que não apresenta custos de implementação nem de conservação, ainda assim apresenta uma série de desvantagens, algumas delas consideráveis.

Desvantagens da manutenção corretiva [7]:

- Avarias ocorrem de forma aleatória e, portanto, quando e onde menos se espera o que pode levar a paragens e a custos de não produção elevados;
- Um pequeno defeito ou avaria, localizados num componente do equipamento, tem tendência a propagar-se e culminar numa avaria total;
- Pode provocar situações de falta de segurança que podem ser risco para o utilizador ou mesmo risco ambiental;
- Uma vez que as avarias são aleatórias, podem ocorrer quando não estão disponíveis nem equipas de manutenção nem os materiais de reposição necessários.

Vantagens da manutenção corretiva:

- Uso total dos componentes, evitando que se troquem antes de avariarem;
- Elimina o risco de introdução de avarias aquando da intervenção periódica.

Por se tratar de um tipo de manutenção tão simples e, sobretudo, por deixar que primeiro aconteçam as avarias, deve ser utilizada quando se operam equipamentos de baixo valor assim como quando existam redundâncias que permitam a rápida substituição do mesmo em caso de avarias. Posto isto, a manutenção corretiva não se deve aplicar a equipamentos críticos sobretudo para a segurança quer de pessoas quer do ambiente.

### **2.4.3 Manutenção preventiva sistemática**

Entende-se manutenção sistemática como manutenção preventiva executada a intervalos de tempo pré-estabelecidos ou segundo um número definido de unidades de funcionamento, sem controlo prévio do estado de conservação do bem [1]. Neste tipo de manutenção são determinados, como a definição anterior refere, intervalos de tempo, quilómetros ou outras características que permitam atuar em períodos bem definidos. Estas atuações são tão variadas como lubrificações, regulações e afinações, substituições de componentes e, de forma mais

significativa, intervenções gerais que por norma implicam uma paragem mais prolongada do bem ou equipamento.

De forma geral, as vantagens deste tipo de manutenção são as seguintes [7]:

- Redução do trabalho não programado;
- Redução do tempo de imobilização dos equipamentos e sistemas;
- Permite fazer uma previsão antecipada dos consumos de materiais e peças de substituição assim como das paragens de produção;
- A gestão financeira é simplificada uma vez que o custo das operações é pré-determinado;
- Aumento da segurança dos bens e operadores.

Um dos grandes problemas reside na definição do intervalo ótimo entre cada intervenção uma vez que intervalos demasiado longos resultam numa ocorrência inaceitável de avarias durante o período de funcionamento e, no sentido oposto, uma manutenção demasiado frequente acarreta custos excessivamente elevados [4].

O gráfico de custos associados a esta forma de manutenção pode ser expresso da seguinte forma:

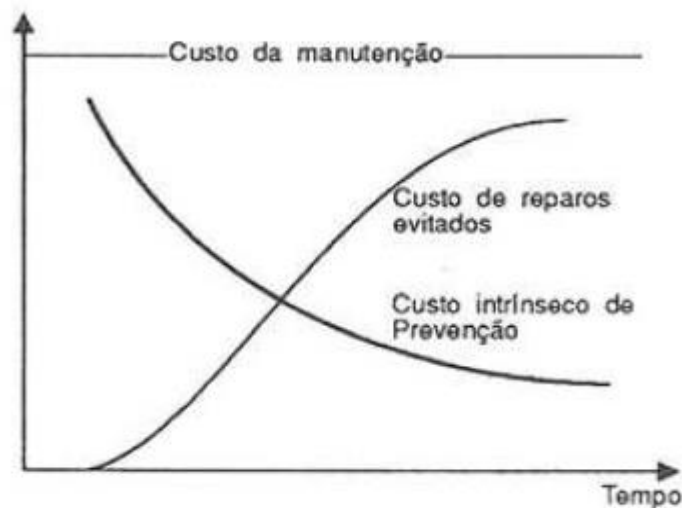


Figura 2.4 - Custos manutenção preventiva sistemática. [12]

Analisando a Figura 2.4, prolongando no tempo as intervenções o custo da manutenção é cada vez menor, mas, por outro lado, o custo das reparações dispara. Assim, o período ideal para as intervenções tem de levar em consideração pelo menos estes dois parâmetros de forma a

encontrar o intervalo ótimo que permita diminuir a probabilidade de ocorrência de avarias (atuação precoce nos equipamentos), mas tarde o suficiente para que os custos de manutenção sejam diluídos no tempo.

Como outras desvantagens é possível apontar:

- O custo das operações acaba por ser elevado devido à periodicidade;
- Elevado custo de mão de obra;
- Tempo gasto na inspeção de todos os componentes aquando das intervenções;
- Substituição de peças que ainda poderiam estar em bom estado aumentando ainda mais os custos (apenas cerca de 10% das substituições efetuadas são efetivamente necessárias, o que implica que aproximadamente 90% dos componentes são substituídos prematuramente, quando se encontram ainda em condições de funcionamento [4]);
- Devido à frequente intervenção existe uma maior propensão à existência de avarias que de outro modo não aconteceriam;

#### 2.4.4 Manutenção preventiva condicionada

Segundo a definição da norma portuguesa [1] a manutenção preventiva condicionada baseia-se na vigilância do funcionamento do bem e/ou dos parâmetros significativos do seu funcionamento, integrando as ações daí decorrentes. A vigilância do funcionamento e dos parâmetros pode ser executada segundo um calendário, a pedido ou de modo contínuo. Para que se perceba o estado dos componentes são usadas técnicas de recolha de dados como vibrações, raios X, processos químicos, etc. Estes dados e as suas curvas de tendência, como a representada na Figura 2.5, permitem prever futuras ocorrências de falhas.

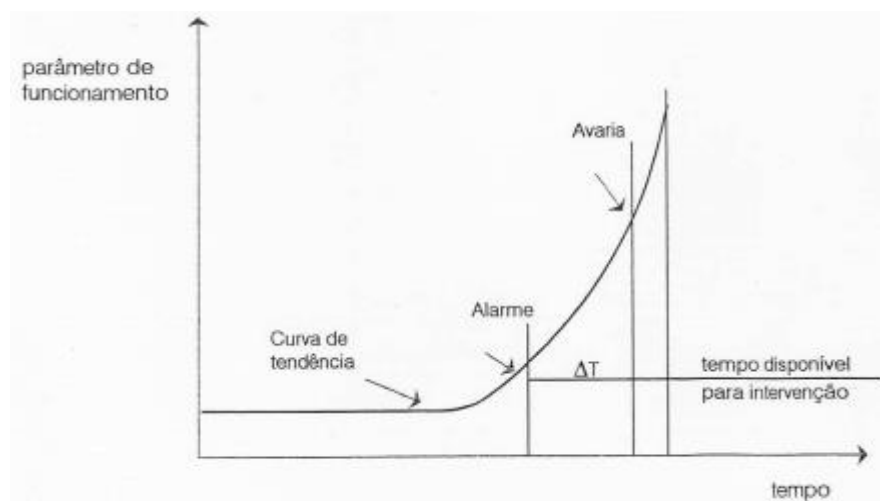


Figura 2.5 - Curva de tendência de um parâmetro de funcionamento de um equipamento. [12]

O fato dos componentes serem acompanhados no tempo permite também que se substituam apenas quando necessário e quando estejam próximos do seu fim de vida, ao contrário dos outros tipos de manutenção, nomeadamente a sistemática, em que, muitas das vezes, se substituem componentes ainda funcionais [4]. Esta acaba por ser a grande diferença entre a manutenção preventiva sistemática e condicionada.

Como as restantes, a manutenção preventiva condicionada apresenta aspetos positivos e negativos no seu uso. Assim as vantagens são:

- Aproveitamento quase total do tempo de vida útil dos componentes;
- Planeamento de reparações na altura mais conveniente evitando-se interrupções de produção ou uso dos equipamentos;
- Redução dos custos de substituição (não se substituem peças ainda funcionais);
- Redução do número de avarias;
- Redução dos riscos de intervenção humana;
- Melhor aproveitamento da mão de obra disponível;
- Redução do stock de peças de reserva;
- A informação recolhida pode ser utilizada noutras áreas que não a manutenção (por exemplo os consumos de energia);
- É o tipo de manutenção que melhor se adequa ao carácter aleatório das avarias associadas ao desgaste e envelhecimento dos equipamentos.

No que toca às desvantagens, as principais são:

- Os custos de implementação são elevados;
- Necessidade de conhecimentos especializados quer para a implementação quer para a posterior utilização;
- Necessidade de ferramentas especializadas tanto físicas como a nível de software;
- Nem todos os equipamentos são compatíveis com este tipo de manutenção.

## 2.5 Filosofias de manutenção

Existem três filosofias principais de manutenção: Manutenção Produtiva Total (em inglês Total Productive Maintenance) (TPM), Manutenção Centrada na Fiabilidade (em inglês Reliability Centered Maintenance) (RCM) e Manutenção de Qualidade Total (em inglês Total Quality Maintenance) (TQM). Todas elas têm um objetivo principal que as distingue, no entanto, convergem na dinâmica de melhorar a função manutenção no seio das empresas [4] [7].

Como espécie de resumo, é apresentada a imagem seguinte onde também é possível ver a evolução das filosofias de manutenção ao longo do tempo:

<u>Manutenção</u>	Antes de 1950	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manutenção corretiva de emergência</li> </ul>
	Anos 50	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Atuação quando a avaria acontece</li> <li>• Manutenção preventiva</li> </ul>
	Anos 60	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definição das funções de manutenção</li> <li>• Melhorias da manutibilidade</li> <li>• Manutenção produtiva</li> </ul>
	Anos 70	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reconhecimento da importância da: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Fiabilidade</li> <li>○ Manutenção</li> <li>○ Eficiência</li> </ul> </li> <li>• TPM - Total productive maintenance</li> </ul>
	Anos 90	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Participação de todos os intervenientes no processo produtivo</li> <li>• RCM - Reliability Centered Maintenance</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevada disponibilidade com: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Maior segurança</li> <li>○ Melhor qualidade</li> <li>○ Proteção ambiental</li> <li>○ Efetiva redução de custos</li> </ul> </li> </ul>

Figura 2.6 - Evolução das filosofias de manutenção. [12]

Assim, fica patente a crescente preocupação com os processos de manutenção, a sua cada vez maior importância no seio das organizações e a grande complexidade ganha ao longo das décadas em que é usada.

### 2.5.1 Manutenção produtiva total

TPM é um método de manutenção que nasce no Japão para apoiar um tipo de produção chamada de *just in time*. Este tipo de produção pressupõe ausência total de armazém. Tem como principais objetivos:

- Maximizar a disponibilidade dos equipamentos;
- Desenvolver um sistema de manutenção produtiva para a totalidade da vida do equipamento;
- Envolver todas as funções da empresa que planeiam, definem ou usam o equipamento;
- Promover o TPM através da motivação das pessoas em pequenos grupos autónomos.

O TPM foca-se no bem mais essencial de uma empresa, ou seja, as pessoas. Procura promover o trabalho em equipa, requer delegações de poderes e competências e preocupa-se com o estado psíquico e emocional dos colaboradores.

A motivação, a competitividade e o ambiente são três requisitos indispensáveis para a implementação desta filosofia.

O TPM elege a disponibilidade como seu objetivo principal.



Figura 2.7 - Pilares do TPM. [36]

Deste método de manutenção importa ainda referir os seus pilares base (Figura 2.7). Assim, é necessária uma manutenção planeada, autónoma e de qualidade, foco na melhoria continua, uma capacidade gestão antecipada, formação de todos os envolvidos na adoção deste método, desde a gestão de topo até aos colaboradores responsáveis pela manutenção. A preocupação com segurança, ambiente e higiene é também algo essencial na metodologia TPM.

### 2.5.2 Manutenção centrada da fiabilidade

Teve origem na industria aeronáutica na década de 60 e o caso mais mediático da sua implementação acabou por ser, na altura, o Boeing 747 sendo que a partir dos anos 80 se alargou a grande parte do setor industrial [11].

Acaba por ser mais uma filosofia de melhoria continua. Para a sua implementação terão de ser considerados os seguintes passos, que serão levados a cabo por equipas formadas por membros da equipa de manutenção e produção:

- Identificar todos os componentes;
- Para cada um deles, identificar todas as funcionalidades;
- Identificar todas as falhas funcionais;
- Identificar todos os modos de falha;
- Identificar todas as consequências de todos os modos de falha;
- Identificar métodos de diagnóstico de falhas.

Esta filosofia, como já referido, nasce dentro da indústria aeronáutica e tem como principal objetivo a segurança aliada à alta fiabilidade dos equipamentos.

A implementação de uma política de manutenção centrada na fiabilidade requer a utilização de métodos específicos de análise de modo de avarias como o FMEA (*Failure Mode Effects and Analysis*) e o FMECA (*Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*). Os dois métodos, na generalidade, preconizam a realização de estudos que levem à capacidade de prever e antecipar falhas nos equipamentos [11].

A principal diferença entre a FMEA e a FMECA reside no fato da FMECA levar em linha de conta a criticidade dos equipamentos, sendo até vista de seguinte forma:

$$FMECA = FMEA + C \quad (2.1)$$

Onde,

$$C = \text{Criticidade} = (\text{Ocorrência}) \times (\text{Severidade}) \quad (2.2)$$

O estudo das condições em que o equipamento avaria, a possibilidade dessa avaria parar ou reduzir a capacidade de produção ou a frequência com que ocorrem são tudo fatores levados em consideração quer pela FMEA quer pela FMECA. Assim, ao tornar os técnicos mais conhecedores dos tipos e formas de falha, os dois métodos apresentam-se como essenciais na definição das estratégias de manutenção dos equipamentos.

### 2.5.3 Manutenção de qualidade total

É a mais simples de explicar e compreender sendo que, objetivo passa pela satisfação do cliente. O hábito é ser usada em indústrias como a alimentar ou de saúde onde a qualidade além de ser importante é quase obrigatória.

Tem como lema produzir bem à primeira.

## 2.6 Níveis de manutenção

Nas normas existentes referentes à área da manutenção, são definidos cinco níveis de manutenção [11]. É possível dizer que do primeiro para o quinto o nível de complexidade e exigência vai crescendo.

- **Nível 1** - A manutenção de nível 1 é, por norma, efetuada pelos utilizadores dos equipamentos. Trata-se de tarefas simples como mudanças de lâmpadas, fusíveis, agulhas, etc. Habitualmente não é necessário proceder à desmontagem ou abertura do equipamento sendo efetuada em perfeita segurança.
- **Nível 2** - A manutenção de nível 2 é, usualmente, efetuado por um técnico de manutenção no local e constituída por intervenções previstas, como por exemplo o controlo de funcionamento e manutenções preventivas de lubrificação
- **Nível 3** - Nas ações de manutenção de nível 3 é necessário um técnico de manutenção especializado, no local ou nas instalações de manutenção, acompanhado do guia de manutenção. Podem também ser incluídos aparelhos de medida e regulação ou mesmo bancos de ensaio. Neste nível, as operações de manutenção passam por reparação e troca de componentes, reparações mecânicas menores e operações recorrentes de manutenção preventiva.
- **Nível 4** - As ações de manutenção de nível 4 correspondem a todos os trabalhos de manutenção corretiva ou preventiva, à exceção de alterações e modificações do equipamento. Neste nível é necessária uma equipa com pessoas especialistas em várias áreas da manutenção, sendo ainda utilizados equipamentos de ensaio e controlo específicos.
- **Nível 5** - O nível de manutenção mais complexo é o nível 5. São classificados como trabalhos de manutenção de nível 5 os trabalhos afetos a uma oficina central ou uma empresa externa, e compreende trabalhos de renovação, reconstrução ou reparações importantes. É feita por pelo menos uma equipa especializada e um técnico de engenharia.

## 2.7 Principais indicadores relativos aos bens

No que toca aos bens, além de outros indicadores, existem, sobretudo, três que importa realçar. Esses indicadores são a fiabilidade, a manutibilidade e a disponibilidade

### **2.7.1 Fiabilidade**

Segundo a norma [1], fiabilidade traduz-se na aptidão de um bem para cumprir uma função requerida sob determinadas condições, durante um dado intervalo de tempo. Este termo pode também ser definido como probabilidade sendo utilizado como uma medida de desempenho. Já Pinto [7], apresenta fiabilidade como a capacidade de um equipamento se manter conforme a sua especificação de origem durante a sua vida útil. Em suma, esta propriedade permite determinar o grau de confiança que se pode depositar num bem.

### **2.7.2 Manutibilidade**

Mais uma vez começando pela definição presente na norma [1], manutibilidade trata-se da aptidão de um bem, sob condições de utilização definidas, para ser mantido ou restaurado, de tal modo que possa cumprir uma função requerida, quando a manutenção é realizada em condições definidas, utilizando procedimentos e recursos prescritos. Uma explicação mais concisa e de mais fácil perceção é dada por Pinto [7] quando diz que manutibilidade é o conjunto de características do equipamento que determina a maior ou menor facilidade com que pode ser feita manutenção.

### **2.7.3 Disponibilidade**

Disponibilidade apresenta-se como a aptidão de um bem para cumprir uma função requerida sob determinadas condições, num dado instante ou durante um dado intervalo de tempo, assumindo que é assegurado o fornecimento dos necessários recursos externos. Esta aptidão depende da combinação da fiabilidade, da manutibilidade e da adequabilidade da manutenção. [1]. Pinto [7], mais uma vez, apresenta uma definição um pouco mais perceptível dizendo que disponibilidade é a aptidão de um equipamento para se encontrar em estado de funcionar nas condições requeridas. Esta mesma disponibilidade é condicionada pela frequência das avarias, pela duração das reparações, pelo tempo gasto em manutenção preventiva, entre outros.

Assim, estes três indicadores, e no que concerne à manutenção, assumem-se como de grande importância. Permitem obter e atualizar informações dos bens que depois podem ser usadas, por exemplo, para a marcação das revisões, compra de peças de substituição, entre outros. Mas também para áreas como a da produção e de gestão pois permitem marcar as interrupções de produção (para que se efetue a manutenção) nas alturas mais convenientes assim como ter uma boa perceção dos impactes financeiros causados.

# Capítulo 3: A Seis Sigma aplicada à Manutenção

Uma das partes principais deste trabalho de dissertação passa pela comparação de duas oficinas do grupo Transdev Portugal. Essa comparação será feita através do uso de indicadores de desempenho, mas não de forma direta. Esses indicadores serão usados para determinar o nível Seis Sigma de cada uma das oficinas e, com base neste, proceder à comparação do desempenho da função manutenção numa perspetiva de *Benchmarking*.

Assim sendo, neste capítulo será feita uma introdução a esta metodologia para melhor compreensão da mesma.

## 3.1 Perspetiva histórica

A filosofia 6 sigma ( $6\sigma$ ) nasce no Estados Unidos da América pelas mãos de *Bill Smith*, um engenheiro da Motorola. Foi desenvolvida devido à necessidade de aumentar a qualidade ao mesmo tempo que a redução dos defeitos era também uma prioridade, isto, devido ao facto de empresas estrangeiras estarem a produzir melhor e a mais baixos custos. A Motorola estabeleceu a filosofia como uma prioridade na empresa e os resultados foram espantosos. Foi estimado que os defeitos nos semicondutores foram reduzidos em 94% entre os anos de 1987 e 1993 [13] [14].

Inicialmente centrada nos processos de fabrico e sua otimização, esta filosofia rapidamente evoluiu tendo sido implementada em muitas outras empresas, bem como em outras áreas de atuação, sendo, atualmente, usada em serviços e aplicações da área da saúde, instituições financeiras, transportes, entre outros.

Em termos práticos, Seis Sigma passa muito por “ajudar” as organizações a obter lucros, assim, traz consigo uma nova definição de qualidade com base no seu objetivo primordial, passando qualidade a ser vista como um valor acrescentado e apresentada em duas formas: a qualidade potencial e a qualidade real. Sendo que qualidade potencial é conhecida como o máximo de valor acrescentado por unidade de *input* e, qualidade real, refere-se à qualidade efetiva (atual) acrescentada por unidade de *input*. A diferença entre as duas pode ser entendida como desperdício. Tendo em conta que o grande objetivo é obter o máximo de qualidade (reduzindo o desperdício), a filosofia Seis Sigma ajuda as organizações a fabricar produtos e serviços melhores, de forma mais rápida e barata. Na vertente mais tradicional, ou seja, na produção, foca-se na deteção dos defeitos, tempo de ciclo de produção e corte de custos [13] [15].

A ideia base consiste em quantificar as falhas ou defeitos existentes num determinado processo e então, de forma sistemática, avaliar, produzir e aplicar metodologias que permitam mitigar as falhas e consequentemente atingir a meta de “zero defeitos” o que leva à descida drástica dos chamados custos de baixa qualidade (COPQ - *costs of poor quality*) [16].

As diferenças entre a Seis Sigma e outras metodologias e formas de medição e análise de desempenho, reside na cultura e envolvimento dos responsáveis uma vez que exige o envolvimento da administração e dos gestores, sendo, ainda, necessária preparação e formação prévias e a alocação de alguns dos colaboradores em trabalho a tempo inteiro. Estes trabalhadores têm, sobretudo, funções de gestores da filosofia. São eles que passam a mensagem da importância dela no seio da organização, percebem e aplicam o conceito, em termos técnicos, do programa Seis Sigma, havendo ainda colaboradores com o necessário conhecimento ao nível das técnicas estatísticas e teoria matemática que suporta o programa. Assim, esta filosofia pode ser caracterizada como [17]:

- Um sistema de gestão destinado a atingir uma liderança no negócio duradoura e o mais alto desempenho, aplicado em benefício do negócio, dos clientes e acionistas;
- Uma medida para definir a capacidade de cada processo;
- Um objetivo para a melhoria que pretende atingir quase a perfeição.

A aferição da perfeição (zero defeitos) é conseguida através da utilização de ferramentas estatísticas [11] [18]. Pretendendo-se atingir a menor variabilidade possível dos processos, recorre-se, ao desvio padrão sigma (símbolo grego  $\sigma$ ), sendo esta a origem da sua designação. A taxa máxima de produtos defeituosos que a metodologia Seis Sigma admite no nível máximo 6, é de 3,4 defeitos por milhão (3,4 DPM), sendo que se chega a este valor ao basear-se em 3 ferramentas estatísticas: média, desvio padrão e distribuição normal, sendo que os primeiros dois se determinam, respetivamente, pelas expressões 3.1 e 3.2.

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (3.1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N}} \quad (3.2)$$

Sendo que  $N$  se refere à dimensão da população e  $x_i$  o acontecimento.

O termo Seis Sigma significa que num processo produtivo com especificação de fabrico de seis desvios padrão em relação à média, o número de defeitos detetados na produção é praticamente nulo. Isto baseia-se no método de cálculo utilizados em estudos de capacidade

dos processos, onde os desvios em relação à média são contabilizados em unidades sigma [19] [20] [21].

Uma correspondência entre os níveis sigma para processos produtivos a curto e a longo prazo pode ser encontrado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Correspondência entre os níveis de curto prazo e longo prazo. [21]

Níveis sigma	Porcentagem de produtos em conformidade		Produtos com defeito por milhão (DPM)	
	Curto prazo	Longo prazo	Curto prazo	Longo prazo
1σ	68,26	31	317400	690000
2σ	95,46	69,2	45400	308000
3σ	99,73	93,32	2700	66800
4σ	99,9937	99,379	63	6210
5σ	99,999943	99,977	0,57	230
6σ	99,9999998	99,99966	0,002	3,4

### 3.2 Custos de má qualidade

Existe um custo associado a todas as falhas, assim o custo total de um produto, ou serviço, está diretamente relacionado com a taxa de falhas, pelo que, o custo total pode ser calculado pela fórmula seguinte [22]:

$$\text{Custo total} = \text{custo unitário de cada produto} (1 + \text{taxa de falhas}) \quad (3.3)$$

Este custo adicional existe muito devido à necessidade de produção de substitutos para os produtos defeituosos e acaba por ser um desperdício de recursos que é deduzido do lucro global da empresa. Os desperdícios ocorrem em todos os departamentos das empresas tais como departamento de vendas, desenvolvimento, produção, departamento de qualidade e outros. O que acontece é que por norma apenas os desperdícios mais visíveis são contabilizados deixando uma grande variedade de custos que podem contribuir para aumentar o desperdício e prejudicar a rentabilidade. Esses custos podem ter várias fontes, algumas mais fáceis de identificar e outras onde é necessária uma análise mais detalhada para que se possam contabilizar. Alguns exemplos que se podem dar são os seguintes [22]:

- Experiência e capacidade dos trabalhadores;
- Materiais defeituosos;
- Uso excessivo de materiais;
- Informação insuficiente;

- Manutenção impropria dos equipamentos;
- Falta de formação;
- Capacidade reduzida devido às taxas de falha;
- Falta de manutenção preventiva;
- Falta de liderança e capacidade de gestão.

Assim, é possível dizer que um sistema é a junção de vários processos que geram desperdícios, uns visíveis e outros mais ocultos no sistema, logo todos devem ser responsáveis pelos desperdícios encontrados. Foi através do reconhecimento deste problema que Bill Smith, engenheiro da Motorola, percebeu a necessidade da criação de um novo modelo de desempenho que permitisse melhorias significativas no que toca aos custos de baixa qualidade (COPQ - Cost of Poor Quality).

De forma a relacionar o nível Sigma com os custos de baixa qualidade, tornando mais fácil quantificar a percentagem de perdas em função do nível Sigma calculado, Gupta apresenta no seu trabalho essa mesma relação que aqui é traduzida na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Relação entre os níveis Seis Sigma e os COPQ. [22]

<b>Níveis Seis Sigma</b>	<b>COPQ (em função do volume de vendas)</b>
2	não competitivo
3	25 - 40 %
4	15 - 25 %
5	5 - 15 %
6	< 1 %

Analisando a Tabela 3.2, facilmente se constata que quanto maior for o nível seis Sigma menores serão os custos de baixa qualidade. É possível referir que abaixo do nível 2 o negócio se torna não competitivo, isto porque os custos se tornam tão significativos que pressupõem perdas demasiado grandes para as empresas. Assim sendo, o objetivo passa sempre por ambicionar o nível mais elevado da metodologia Seis Sigma, o que pressupõe a sua implementação e uso correto.

### 3.3 Organização Seis Sigma

Na filosofia Seis Sigma há que dar destaque ao facto de toda a estrutura da empresa dever estar envolvida no processo. Isto significa que desde o mais alto cargo de gestão até ao trabalhador fabril, todos têm de estar a par da metodologia adotada pela empresa e dos objetivos a atingir. O empenho de toda a empresa é algo essencial, ainda assim deve ser criada uma estrutura restrita com os seguintes níveis hierárquicos de forma a implementar a estratégia definida [18] [23]:

- **Direção Executiva** - define os objetivos e cria a estrutura necessária para a sua implementação, tendo também a função de selecionar os recursos humanos e os projetos;
- **Campeões** - responsáveis por toda a implementação da filosofia Seis Sigma na organização;
- **Mestres Cinturões Negros** - dão apoio aos “campeões” e são os guias dos “cinturões negros e verdes”, assegurando a aplicação consistente da Seis Sigma em todos os setores da organização;
- **Cinturões Negros** - responsáveis pelas equipas de trabalho que têm como funções a análise e o acompanhamento dos processos de melhoria contínua;
- **Cinturões Verdes** - são os executores das tarefas definidas pelas equipas de “cinturões negros” integrando essas mesmas equipas.

### 3.4 Metodologias utilizadas na implementação 6 Sigma

Na base da implementação da filosofia Seis Sigma estão duas metodologias chave - DMAIC e DMADV -, ambas inspiradas no ciclo *Plan - Do - Check - Act* (Planear, Executar, Verificar, Actuar (PDCA) de *Deming* [18] [21] [23]. A metodologia DMAIC deve ser utilizada para melhoria de processos já existentes consistindo em 5 etapas:

- **Definição (*Define*)** - definição dos processos de melhoria em sintonia com a procura dos clientes e com a estratégia da empresa;
- **Medição (*Measure*)** - medição de todos os indicadores relevantes para se avaliar o desempenho;
- **Análise (*Analyse*)** - análise dos dados obtidos para se determinar as relações causa-efeito das anomalias;
- **Melhoria (*Improve*)** - melhoria dos processos através da eliminação dos defeitos;
- **Controlo (*Control*)** - controlo de todas as variáveis em jogo para se assegurar que os desvios em relação à média são corrigidos antes de se transformarem em defeitos.

No que toca à DMADV, que pode também ser designada por DFSS (*Design For Six Sigma*), é frequentemente utilizada para a criação de novos produtos ou processos e, a par da metodologia anterior, compreende também 5 etapas [18]:

- **Definição (*Define*)** - definição dos objetivos a atingir em sintonia com a procura dos clientes e com a estratégia da empresa;
- **Medição (*Measure*)** - medição e determinação das necessidades e das especificações dos clientes assim como a identificação das características críticas para a qualidade assim como dos riscos;
- **Análise (*Analyse*)** - análise das opções do processo de modo a irem de encontro à satisfação dos clientes;
- **Projeto (*Design*)** - projeto em detalhe do produto ou processo, criando mecanismos de verificação das conformidades;
- **Verificação (*Verify*)** - verificação do projeto e instalação do processo produtivo.

Em resumo, apesar de ser aconselhável ou mesmo necessária a envolvimento de toda a organização, há um restrito grupo de pessoas treinadas para dinamizar e otimizar a aplicação da filosofia em causa. Esse grupo utiliza variadas técnicas e tecnologias para que possam atingir os objetivos propostos, ainda assim, é sobretudo através da metodologia DMAIC que conseguem obter as melhorias e otimizações dos processos da empresa. Esta metodologia é, como já visto, análoga do ciclo PDCA que é reconhecido da TQM (Manutenção para a qualidade total), também já referenciado neste trabalho.

## 3.5 Conceitos e definições

Neste subcapítulo são explicados os conceitos de distribuição de Poisson e a sua relação com a filosofia Seis Sigma e ainda as definições de Defeitos Por Unidade (DPU), Defeitos Por Oportunidade (DPO) e Defeitos Por Milhão de Oportunidade (DPMO).

### 3.5.1 Distribuição de Poisson

A distribuição discreta de Poisson encontra-se relacionada com a probabilidade da ocorrência de um determinado número de acontecimentos num dado intervalo de tempo ou num processo contínuo, onde a média  $\mu$  de ocorrência desses acontecimentos é conhecida. Esta distribuição é bastante importante não só para a determinação da probabilidade da ocorrência de defeitos em produtos fabricados, mas também em manutenção industrial para o cálculo e para o conhecimento da probabilidade de se verificarem falhas nos equipamentos ou ruturas de stocks de materiais de manutenção. Por conseguinte, deve estar incluída nas ferramentas

probabilísticas e estatísticas associadas aos departamentos de qualidade, de produção, e de manutenção, sendo obrigatório, como se torna evidente, que os responsáveis e os técnicos superiores desses departamentos dominem perfeitamente a sua aplicação, para que as metodologias associadas às filosofias Magra e Seis Sigma possam ser corretamente utilizadas [24].

Em termos mais práticos, a distribuição de Poisson caracteriza-se pela seguinte expressão [24]:

$$P(x) = \frac{\mu^x e^{-\mu}}{x!} \quad (3.4)$$

Onde  $P(x)$  representa a probabilidade de ocorrência de um acontecimento  $x$ ,  $\mu$  a média aritmética de ocorrências desse acontecimento e  $e$  a constante de Neper (2,718282).

A média, a variância ( $\sigma^2$ ) e o desvio padrão ( $\sigma$ ) encontram-se relacionados da seguinte forma:

$$\mu = \sigma^2 \quad (3.5)$$

$$\sigma = \sqrt{\mu} = \sqrt{\sigma^2} \quad (3.6)$$

### 3.5.2 Defeitos por unidade

O número de feitos por unidade (DPU) é definido como [22] [24] [25] [26]:

$$DPU = \frac{\text{número total de defeitos}}{\text{número total de unidades inspecionadas/verificadas}} \quad (3.7)$$

Importa referir que neste indicador, uma unidade, é definida como um produto acabado que sair de um processo produtivo e, no caso do denominador, o número total de unidades inspecionadas/verificadas corresponde a simples peças ou componentes fabricados. Cabrita [26] refere que unidades podem ser constituídas por diversos componentes como é o caso de um computador, um motor elétrico ou uma caixa de velocidades.

No caso do numerador, o número total de defeitos diz respeito ao número total de peças, simples ou de componentes fabricados, e não às unidades defeituosas no sentido mais vasto de unidade, ou seja, uma agregação de peças simples ou de componentes. Desta forma, nesta definição de DPU, utiliza-se a totalidade dos defeitos verificados nas peças simples em vez de se considerarem apenas as unidades defeituosas.

Assim sendo,  $P(x)$  é a probabilidade de existirem  $x$  defeitos numa unidade produzida e  $\mu$  representa o número médio de defeitos por unidade, tendo-se assim:

$$\mu = DPU \quad (3.8)$$

$$P(x) = \frac{DPU^x e^{-DPU}}{x!} \quad (3.9)$$

De uma forma geral, o principal objetivo de uma linha de produção, sobretudo tendo em conta a Seis Sigma, passa por fabricar equipamentos sem defeitos. Assim, tendo por base a distribuição de Poisson, a probabilidade de se produzirem unidades isentas de defeitos é [24]:

$$P(0) = \frac{DPU^0 e^{-DPU}}{0!} = e^{-DPU} \quad (3.10)$$

Segundo Bass [23], os processos de fabricação são constituídos por várias operações que possuem ainda uma série de passos ligados de forma independente entre si. Desta forma, a probabilidade de uma unidade fabricada ultrapassar um desses passos isenta de defeitos será:

$$P(0) = e^{-DPU} \quad (3.11)$$

Alterando a designação desta probabilidade para  $y$  (*yield*, produto em conformidade), vem:

$$y = e^{-DPU} \quad (3.12)$$

Sendo que  $y$  representa a probabilidade de uma unidade ultrapassar um primeiro passo de fabricação sem defeitos. Na literatura inglesa esta probabilidade é designada por *first pass yield* [22] [23], podendo ser traduzida para “unidade sem defeitos de primeiro passo”. Ao manipular-se a expressão anterior, que permite conhecer a probabilidade de uma unidade ultrapassar o primeiro passo de fabricação sem defeitos, obtém-se:

$$DPU = -\ln(y) \quad (3.13)$$

Como visto anteriormente, o *first pass yield* representa a probabilidade de uma unidade ultrapassar um passo do processo de fabricação, mas como também já exposto, uma unidade é, por norma, fabricada com base em vários passos de fabricação. Com base neste pressuposto, Bass [23] apresenta um novo conceito, mais completo, designado por *RTY - Rolled Throughput Yield*, que representa a probabilidade de uma unidade ultrapassar um conjunto de processos de fabrico sem quaisquer defeitos e que se poderá traduzir em “unidade sem defeitos através do conjunto de processos”. Em termos matemáticos, para  $m$  processos encadeados, cada um deles com um *first pass yield*  $y_n$ , o *RTY* será calculado pelo seu produto, levando em consideração a que se têm  $m$  probabilidades em série:

$$RTY = \prod_{n=1}^m y_n \quad (3.14)$$

Assim, para o cálculo do DPU associado a um processo de fabrico constituído por vários passos encadeados obtém-se:

$$DPU = -\ln(RTY) \quad (3.15)$$

Ou seja:

$$\begin{aligned} DPU &= -\ln(RTY) = -\ln\left(\prod_{n=1}^m y_n\right) = \\ &= -\sum_{n=1}^m \ln(y_n) = \sum_{n=1}^m DPU_n \quad (3.16) \end{aligned}$$

Importa referir que este parâmetro representa, regra geral, para os processos produtivos industriais, o número de defeitos por unidade, enquanto que para empresas ou serviços, corresponderá ao número de erros ou falhas [25].

### 3.5.3 Defeitos por oportunidade

Este parâmetro representa o rácio entre o número de defeitos e o número de oportunidades de se observarem esses defeitos, ou seja [26]:

$$DPO = \frac{\text{número total de defeitos}}{\text{número total de oportunidades de defeito}} \quad (3.17)$$

No que se refere ao denominador, importa clarificar que as oportunidades de defeito, representam, como é obvio, as possibilidades de existirem defeitos. Por exemplo no caso de um azulejo: cada azulejo representa uma oportunidade de defeito, pelo que numa produção de 5000 azulejos existiriam 5000 oportunidades de defeitos. Já no caso de produtos mais complexos como um computador ou um motor, o número total de defeitos passaria pela multiplicação do número de unidades produzidas pelo número de componentes que constitui cada unidade produzida. Isto quer dizer que cada componente que perfaz o produto final é aqui visto como uma oportunidade de defeito por si só e não se considera o produto final como uma oportunidade de defeito única.

Considerando o número de oportunidades de defeito e o número de defeitos usualmente presentes num processo de fabrico, é mais conveniente utilizar como indicador o número de defeitos por milhão de oportunidades (DMPO)

$$DPMO = DPO \times 10^6 \quad (3.18)$$

Sendo que este é o indicador, por norma, utilizado para calcular o nível sigma na filosofia Seis Sigma, através da distribuição normal de probabilidades [20] [22] [25].

### 3.6 Filosofia Seis Sigma Magra

As metodologias Magra (*Lean*) e Seis Sigma apresentam ganhos como a redução de custos, satisfação do cliente, qualidade, produtividade e melhoria do processo produtivo. Assim, é possível observar que existem áreas comuns entre as duas, mesmo tendo em conta que a *Lean* procura a redução de consumos ao eliminar qualquer desperdício enquanto que a Seis Sigma procura maximizar o desempenho [27].

Uma vez que a metodologia *Lean* por si só não apresenta ferramentas estatísticas e a filosofia Seis Sigma não tem mecanismos para acelerar os processos [28], em 1997, resultante da combinação das duas metodologias, como exemplificado na Figura 3.1, surge, proposta pela empresa norte-americana TBM Consulting Group, a filosofia *Lean Six Sigma* (Seis Sigma Magra) ou apenas *Lean Sigma* (Sigma Magra), que permite aos seus utilizadores atuarem sobre diversos processos existentes nas empresas, sempre com a finalidade de se atingir uma maior fiabilidade, reduzir custos de operação, reduzir os prazos de entrega e melhorar a coordenação entre departamentos [20].

Ainda de acordo com a empresa acima referida, os tempos de produção reduzem-se de dias para algumas horas, os stocks de produtos e de materiais em mais de 90 %, os defeitos e falhas em 50 % ou mais, a produtividade aumenta entre 25 % e 50 %, e o serviço aos clientes em 90 % a 100 %. Saliente-se que a filosofia Seis Sigma é muito metódica, podendo suceder que a sua completa instalação numa unidade fabril possa demorar entre 4 a 6 meses, entrando em contradição com a cultura *Lean* de velocidade orientada. Como tal, a empresa em questão criou uma ferramenta de implementação da *Lean Sigma*, que designou por *Sigma Kaizen* (Sigma de Melhoria Contínua), que permite encurtar aquele período para 6 a 8 semanas, daí que a associação entre a Sigma e o Kaizen permita reduzir drasticamente a instalação da Seis Sigma [18].

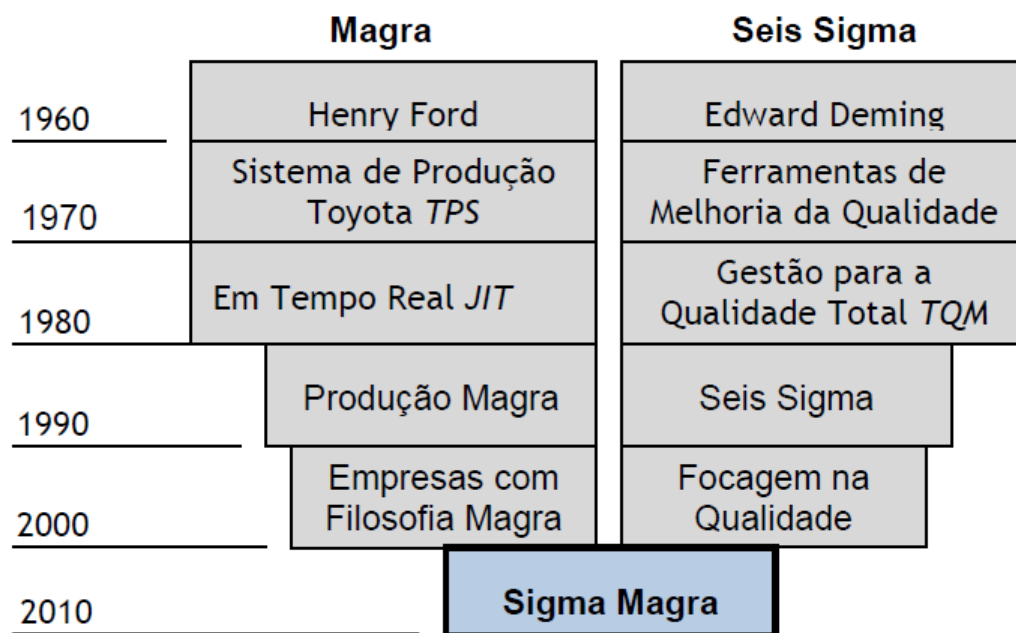


Figura 3.1 - Evolução das filosofias Magra e Seis Sigma [11]

### 3.7 Six Sigma Business Scorecard

A metodologia Seis Sigma, se bem implementada, permite que se atinjam os objetivos de melhoria. Já a metodologia *Six Sigma Business Scorecard*, ou em português, carta de registos de negócios Seis Sigma, ajuda a que se alcancem os objetivos pretendidos de rentabilidade. Esta carta de registos permite o cálculo do nível Seis Sigma, para as empresas, do desempenho dos negócios, combinando informação de aspetos estratégicos, operacionais e de execução do próprio negócio. Esta metodologia requer ainda uma liderança que inspire, gestores que procurem uma constante melhoria e colaboradores que inovem para que se atinja o nível ótimo de lucro e crescimento [22].

Tendo em conta que pode ser utilizada em negócios que oferecem produtos ou serviços, funciona em organizações privadas ou públicas, de grande ou pequena escala e em múltiplas localizações [22], a *Six Sigma Business Scorecard* assume-se assim como uma das mais importantes formas avaliação do desempenho das empresas.

Esta metodologia é proposta por Gupta (2004) resultando da junção entre a Seis Sigma e a *Balanced Scorecard* (Carta de Registo Balanceada). A *Balanced Scorecard* é um processo de melhoria continua desenvolvido por dois economistas americanos (Robert Kaplan e David Norton) e que permite avaliar e analisar o desempenho das organizações tendo como base a estratégia previamente definida. Esse desempenho é depois contabilizado através de indicadores que podem estar relacionados com a situação financeira, com os processos produtivos ou de serviços, com os clientes, com os fornecedores, com a estratégia de

desenvolvimento e com os seus recursos humanos. Assim, a junção das duas filosofias, de forma geral, quantifica os indicadores de desempenho associados à *Balanced Scorecard* através dos níveis Seis Sigma o que permite às empresas a possibilidade de monitorizar esse desempenho face à estratégia previamente definida e delinear as respetivas melhorias [26].

Gupta [22] apresenta a filosofia por si criada como tendo as seguintes características:

- Maximiza a rentabilidade e o desenvolvimento, e reduz os custos dos processos;
- Acelera os processos de melhoria contínua;
- Promove e estimula a participação de todos os recursos humanos no desenvolvimento das organizações;
- Força as mudanças culturais no interior das organizações numa base de melhoria contínua;
- É conduzida pela administração, que é responsável pela estratégia, pelo planeamento e pela rentabilidade;
- É controlada pelos diretores dos diversos departamentos, que melhoram os processos e reduzem os respetivos custos;
- É melhorada pelos colaboradores que têm como função desenvolver soluções inovadoras, indo de encontro às necessidades dos clientes, aumentando assim a sua satisfação;
- É sedimentada pelos serviços de vendas e de apoio aos clientes, que aumentam o volume de vendas e conquistam novos mercados, através de uma relação baseada na plena satisfação.

Gupta [22] apresenta também a forma de implementação da sua metodologia. A correta implementação da *Six Sigma Business Scorecard* pressupõe assim o cumprimento dos 19 passos sequenciais seguintes:

1. Entender claramente o significado da filosofia;
2. Fazer sentir que esta filosofia corresponde à junção da Seis Sigma com os objetivos de negócios da organização;
3. Criar o indicador Índice de Desempenho de Negócios;
4. Estabelecer os objetivos de melhoria a curto e a longo prazo para todos os centros de lucro da organização;
5. Estabelecer os parâmetros de medição para todos os centros de lucro;
6. Estabelecer a relação entre a produtividade e os valores dos parâmetros medidos;
7. Desenvolver uma política de utilização de tecnologia de ponta para automatização dos sistemas de aquisição e análise de dados;

8. Estabelecer um sistema agregado de *Six Sigma Business Scorecard*, que envolva a totalidade dos centros de lucro;
9. Identificar os processos-chave de melhoria do desempenho;
10. Identificar todos os parâmetros associados aos processos, a montante, de execução, e a jusante;
11. Estabelecer métodos de recolha de dados para esses parâmetros;
12. Compilar e analisar os dados obtidos, e calcular as taxas de erro, os tempos de ciclo, e os custos associados a cada departamento;
13. Elaborar as cartas de tendência e apresentar os dados respeitantes aos objetivos a alcançar, de preferência com uma periodicidade semanal;
14. Publicar internamente o Índice de Desempenho de Negócios semanal, assim como os relatórios mensais de progresso;
15. Rever o desempenho de negócios a partir dos resultados obtidos, e tendo como base os objetivos iniciais;
16. Identificar os indicadores que apresentem uma elevada variância e um desempenho adverso face aos objetivos iniciais;
17. Investigar as causas das elevadas variâncias e das perdas onde elas aconteçam;
18. Desenvolver as ações curativas de melhoria do desempenho;
19. Monitorizar o impacto das melhorias no Índice de Desempenho de Negócios e na rentabilidade;

### 3.8 Determinação do nível Seis Sigma

Para que se perceba melhor a forma de determinação do nível Seis Sigma vai passar-se, nesta fase, à explicação através de um exemplo prático baseado num trabalho desenvolvido pelo professor Cabrita [29] [30].

#### 3.8.1 Grandes e médias empresas

É apresentado na tabela 3.3 um exemplo numérico, baseado em [22] [24] [25] para médias e grandes organizações. Correspondente à Carta de Desempenho de Negócios, ou seja, à *Business Scorecard*, que deverá ser elaborada para um período temporal previamente definido devendo ser seguidos os seguintes passos para a sua elaboração:

- **Definição dos indicadores a medir:** utilizam-se por norma os 10 indicadores discriminados na coluna 1 da Tabela 3.3, indicadores esses, que de acordo com Gupta

[22], permitem caracterizar todas as vertentes de funcionamento e de desenvolvimento das organizações;

- **Definição dos pesos dos indicadores:** estes pesos,  $P_n$ , são atribuídos a cada indicador em função da especificidade de cada um e da sua importância no desenvolvimento da organização, devendo a sua soma ser igual a 100. Os valores expostos na Tabela 3.3 correspondem aos recomendados por Gupta [22], sendo baseados na prática empresarial.
- **Definição do desempenho de cada indicador:** para cada um dos “ $n$ ” indicadores, este desempenho, para o período temporal em análise, poderá ser determinado percentualmente em função do desempenho teórico previamente definido, ou seja, através do seguinte rácio:

$$R_n = \frac{\text{desempenho obtido}}{\text{desempenho previamente definido}} \times 100 \quad (3.19)$$

A correção de  $R_n$  para  $D_n$ , de acordo com a tabela de correspondência apresentada na Tabela 3.4 permite diferenciar de forma mais clara um bom de um mau desempenho, e portanto, esta deverá ser a metodologia a seguir para cada um dos 10 indicadores como se verá mais adiante de uma forma mais evidente aquando da elaboração da *Maintenance Scorecard* para a manutenção Seis Sigma [22] [25] [26].

- **Determinação dos Índices de Desempenho de Negócios Parciais:** para cada um dos “ $n$ ” indicadores estes índices parciais são calculados por meio da seguinte expressão:

$$IDNP_n = \frac{P_n \times D_n}{100} \quad (3.20)$$

- **Determinação do Índice de Desempenho de Negócios:** com base nos  $IDNP_n$  é possível calcular o índice de desempenho de negócio com base na seguinte expressão:

$$IDN = \sum_{n=1}^{10} IDNP_n \quad (3.21)$$

- **Determinação do número de Defeitos Por Unidade (DPU):** conforme ficou demonstrado por Gupta [22] e por Cabrita [25], com base no valor de  $IDN$ , é possível calcular o valor de DPU para a *Six Sigma Business Scorecard com recurso a* (3.22), na medida em que

*IDN/100* deverá ser entendido, para a globalidade de uma organização, como sendo um *Rolled Throughput Yield (RTY)*:

$$DPU_B = -\ln\left(\frac{IDN}{100}\right) \quad (3.22)$$

- **Determinação do número de Defeitos Por Milhão de Oportunidades (DPMO):** na definição de DPMO o denominador surge como sendo o número total de oportunidades de defeito ou erro. No caso da *Six Sigma Business Scorecard* as oportunidades de erro correspondem ao número de administradores executivos com poder de decisão, na medida em que as tomadas de decisão, assim como a condução superior dos negócios e a definição das respetivas estratégias de desenvolvimento são da sua exclusiva responsabilidade, vindo assim:

$$DPMO_B = \frac{DPU_B \times 10^6}{\text{número de administradores executivos}} \quad (3.23)$$

É ainda necessário referir que, para um determinado desempenho contabilizado através de  $DPU_B$ , quanto menos executivos com poder decisório, mais baixo será o nível Seis Sigma. Esta relação compreende-se facilmente, na medida em que, se se consegue atingir um dado nível de  $DPU_B$  com um número mais elevado de executivos, ou seja, com um maior número possibilidades de erro, significa que, na prática, as decisões erradas que foram tomadas nos processos de melhoria contínua dos 10 indicadores medidos são inferiores às que se teriam com um número menor de executivos. Assim sendo, para um mesmo valor de  $DPU_B$  alcançado, quanto maior for o número de executivos mais reduzido terá de ser o número de decisões erradas a tomar [22] [25].

- **Determinação do nível Seis Sigma:** o cálculo do nível Seis Sigma do negócio é efetuado recorrendo-se à distribuição normal padrão e à respetiva tabela de propriedades, jogando numericamente com os  $DPMO$  e com as respetivas áreas abrangidas por aquela distribuição como pode ser visto de forma mais detalhada em [25]:

$$A_{eq} = DPMO_B \times 10^{-6} \quad (3.24)$$

$$A(Z_{eq}) = 1 - A_{eq} \quad (3.25)$$

$$P(Z < Z_{eq}) = A(Z_{eq}) \quad (3.26)$$

$$m = Z_{eq} \quad (3.27)$$

$$\text{nível Seis Sigma} = m + 1,5 \quad (3.28)$$

Na prática, de forma a simplificar a determinação do nível Seis Sigma, é aconselhável a construção de um quadro que relacione diretamente os níveis Seis Sigma, de 1 a 6, com os *DPMO*, tal como se pode ver em [24] e na Tabela 3.5. No caso dos níveis calculados com parte decimal à centésima ou milésima (por exemplo 3,25), os respetivos *DPMO* poderão ser determinados, sem erro significativo, através de interpolação linear.

Passando à análise dos valores expostos na Tabela 3.3, e tendo também em conta as fórmulas que estão na origem dos mesmos, rapidamente se constata que quanto melhores forem os desempenhos relativos aos 10 indicadores mais elevados serão os níveis sigma e, naturalmente, melhor será a situação geral da empresa. A situação ideal corresponderia a terem-se todos os indicadores  $D_n$  iguais a 100% o que indicaria um desempenho máximo em todas as vertentes, levando isto a zero  $DPMO_B$ . Desta forma também se constata que a soma dos pesos dos indicadores ( $P_n$ ) tem de ser igual a 100 para que, no caso dos indicadores atingirem todos a capacidade máxima de 100%, se obtivesse o valor máximo de *IDN* de 100% [31].

Tabela 3.3 - Exemplo numérico prático de terminação do nível Seis Sigma para a filosofia Six Sigma Business Scorecard aplicada a grandes e médias empresas. [31]

Indicadores medidos	$P_n$	$D_n$	$IDNP_n$
M1. Número de colaboradores de excelência	15	75	11,25
M2. Rentabilidade	15	80	12
M3. Taxa de melhorias dos processos	20	80	16
M4. Recomendações por colaborador	10	100	10
M5. Rácio gastos totais/volume de vendas	5	75	3,75
M6. Taxa de defeitos dos fornecedores	5	75	3,75
M7. Variância do tempo de ciclo operacional	5	100	5
M8. Taxa de defeitos dos processos	5	75	3,75
M9. Rácio novos negócios/volume de vendas	10	100	10
M10. Satisfação dos clientes	10	90	9
Cálculos			
$IDN$	84,5 %		
$DPU_B$	0,1684		
número de executivos	10		
$DPMO_B$	16840		
$A_{eq}$	0,01684		
$A(Z_{eq})$	0,98316		
$M$	2,124		
nível Seis Sigma	3,624 (3,62)		

Na Tabela 3.6 são apresentados os valores máximos e mínimos que se conseguem obter para  $DPU_B$  tendo em conta a Tabela 3.4, e na Tabela 3.7 são ainda apresentados os limites dos  $DPMO_B$  em função do número de executivos [29].

Tabela 3.4 - Valores recomendados para os rácios de desempenho dos indicadores medidos (médias e grandes empresas). [29]

Indicadores medidos		<i>D<sub>n</sub></i>
M1. Número de colaboradores de excelência (% de colaboradores)	0,2 %	25
	0,5 %	50
	2 %	75
	> 5 %	100
M2. Rentabilidade (% de aumento dos lucros)	2 %	50
	4 %	60
	8 %	80
	> 12 %	100
M3. Taxa de melhorias dos processos	< 20 %	50
	30 %	60
	40 %	80
	> 50 %	100
M4. Recomendaes por colaborador	0,5	50
	1	60
	2	70
	> 5	100
M5. Rácio gastos totais/volume de vendas	> 60 %	30
	45 %	50
	35 %	75
	< 25 %	100
M6. Taxa de defeitos dos fornecedores (níveis seis sigma)	< 3 sigma	25
	4 sigma	50
	5 sigma	75
	> 6 sigma	100
M7. Variância do tempo de ciclo operacional	> 50 %	25
	40 %	50
	25 %	75
	< 10 %	100
M8. Taxa de defeitos dos processos (níveis seis sigma)	< 3 sigma	25
	4 sigma	50
	5 sigma	75
	> 6 sigma	100
M9. Rácio novos negócios/volume de vendas	20 %	25
	30 %	50
	40 %	75
	50 %	100
M10. Satisfação dos clientes	80 %	60
	85 %	70
	90 %	80
	100 %	90

Tabela 3.5 - Correspondência entre os níveis Seis Sigma e DPMO [29]

Níveis	DPMO	Níveis	DPMO	Níveis	DPMO
1	690000	2,7	115100	4,4	1866
1,1	655422	2,8	96800	4,5	1350
1,2	617911	2,9	80757	4,6	968
1,3	579260	3	66800	4,7	686
1,4	539828	3,1	54799	4,8	483
1,5	500000	3,2	44565	4,9	337
1,6	460172	3,3	35930	5	230
1,7	420740	3,4	28717	5,1	159
1,8	382088	3,5	22750	5,2	108
1,9	344578	3,6	17865	5,3	72
2	308000	3,7	13904	5,4	48
2,1	274253	3,8	10724	5,5	32
2,2	241964	3,9	8198	5,6	21
2,3	211856	4	6210	5,7	13
2,4	184100	4,1	4661	5,8	9
2,5	158655	4,2	3467	5,9	5
2,6	135666	4,3	2555	6	3,4

Tabela 3.6 - Valores máximos e mínimos dos  $DPU_B$  [29]

Indicadores medidos	$P_n$	Máximos		Mínimos	
		$D_n$	$IDNP_n$	$D_n$	$IDNP_n$
M1	15	100	15	25	3,75
M2	15	100	15	50	7,5
M3	20	100	20	50	10
M4	10	100	10	50	5
M5	5	100	5	30	1,5
M6	5	100	5	25	1,25
M7	5	100	5	25	1,25
M8	5	100	5	25	1,25
M9	10	100	10	25	2,5
M10	10	90	9	60	6
Cálculos					
$IDN$		99 %		40 %	
$DPU_B$		0,0101		0,9163	

Tabela 3.7 - Valores máximos e mínimos dos níveis Seis Sigma consoante o número de executivos. [29]

Cálculos	Máximos	Mínimos
$DPU_B$	0,0101	0,9163
<i>número de executivos</i> $DPMO_B$ nível Seis Sigma	10	
	1010	91630
	4,59	2,83
	12	
	842	76358
	4,64	2,93
	14	
	721	65450
	4,69	3,01
	16	
	631	57269
	4,73	3,08
	18	
	561	50906
	4,76	3,14
	22	
459	41650	
4,82	3,23	

Para completar, é ainda referido por parte de Cabrita [29] que, uma vez que Gupta define como desempenho máximo para o indicador  $M10 D_n = 90$  em vez de 100 torna-se impossível atingir o nível mais alto em Seis Sigma, ou seja, o nível 6.

### 3.8.2 Pequenas empresas

No caso das pequenas empresas e, especialmente, dos seus órgãos decisores, o espírito é que a implementação de sistemas de avaliação do seu desempenho, ainda que com a finalidade da melhoria dos processos quer produtivos quer de manutenção, não passa de perda de tempo e de dinheiro havendo até a perceção de que estes sistemas funcionam bem apenas em grandes empresas [31]. No entanto, e como já referido neste trabalho, a filosofia *Six Sigma Business Scorecard* pode ser aplicada em todo o tipo de empresas sejam elas grandes ou pequenas, independentemente do seu setor de atividade e permite definir processos de melhoria continua sempre com o objetivo de aumentar a rentabilidade do seu desempenho. Deve, assim, ser entendida como uma ferramenta poderosa para as pequenas empresas que pretendam aproveitar todas as oportunidades de desenvolvimento.

Gupta [22], para o caso de empresas de pequena dimensão, encara a implementação da filosofia a partir dos 19 passos gerais de implementação da mesma, no entanto, simplifica o processo e reduz para apenas 7 passos gerais:

1. Designação de um quadro especialista como responsável da implementação, condução e manutenção de todo o processo;
2. Estabelecimento de mecanismos de recolha e armazenamento de dados;
3. Definição dos procedimentos de análise dos dados obtidos e calculados;
4. Análise de dados e adoção atempada das ações necessárias;
5. Estabelecimento de uma periodicidade mensal para análise da Seis Sigma;
6. Análise dos indicadores medidos e estabelecimento da correlação com a rentabilidade e o desenvolvimento dos negócios;
7. Adoção das medidas mais convenientes para a melhoria contínua da rentabilidade e do desenvolvimento dos negócios.

Como se poderá constatar pelo mais reduzido número passos de implementação, mas também pelos sistemas de administração mais simplificados, um maior controlo das linhas de produção (visto que são mais pequenas e simples) e o relacionamento mais direto com todos os recursos humanos, a adoção desta filosofia poderá até ser mais fácil em relação ao que acontece nos grandes grupos. Além desta situação, deve ser dado, nestes casos, um peso mais significativo aos indicadores diretamente relacionados com o desempenho físico em detrimento dos mais subjetivos que são, por norma, associados ao reconhecimento dos recursos humanos e às melhorias dos processos e por isso deverão ser levados em conta apenas como orientações a seguir, tal como é descrito na Tabela 3.8 [22] [31].

Quanto à determinação do nível Seis Sigma, a metodologia deve ser a mesma utilizada para as grandes e médias empresas, sendo que a principal diferença se encontra no número de indicadores a medir e nos seus respetivos pesos. Neste caso os indicadores M1, M3 e M4 deixam de ser considerados numericamente, passando a ser levados em consideração apenas de forma qualitativa, tendo ainda sido aumentado o peso de todos os restantes indicadores à exceção de M9 que se manteve inalterado.

A título de exemplo prático, é apresentado na Tabela 3.9 a elaboração de uma *Business Scorecard*, para uma empresa de pequena dimensão onde existem 5 administradores executivos, para os valores extremos de máximos e mínimos. Aqui, e para o exemplo dos valores máximos dos indicadores, volta a acontecer o mesmo que para as grandes e medias empresas em que não se atinge o valor máximo de Seis Sigma devido ao indicador M10.

Importa referir que os valores expostos nas Tabelas 3.4 e 3.8 são recomendados por Gupta [22], mas para Cabrita [31] os mesmo podem ser alterados sobretudo pelo fato de cada empresa ou organização apresentar os seus próprios objetivos e especificações.

Tabela 3.8 -Valores recomendados para os rácios de desempenho dos indicadores medidos (pequenas empresas)

[31]

Indicadores medidos		$D_n$
M1. Número de colaboradores de excelência	orientações a seguir	
M2. Rentabilidade (% de aumento dos lucros)	2 %	50
	4 %	60
	8 %	80
	> 12 %	100
M3. Taxa de melhorias dos processos	orientações a seguir	
M4. Recomendações por colaborador	orientações a seguir	
M5. Rácio gastos totais/volume de vendas	> 60 %	30
	45 %	50
	35 %	75
	< 25 %	100
M6. Taxa de defeitos dos fornecedores (níveis seis sigma)	< 3 sigma	25
	4 sigma	50
	5 sigma	75
	> 6 sigma	100
M7. Variância do tempo de ciclo operacional	> 50 %	25
	40 %	50
	25 %	75
	< 10 %	100
M8. Taxa de defeitos dos processos (níveis seis sigma)	< 3 sigma	25
	4 sigma	50
	5 sigma	75
	> 6 sigma	100
M9. Rácio novos negócios/volume de vendas	20 %	25
	30 %	50
	40 %	75
	50 %	100
M10. Satisfação dos clientes	80 %	60
	85 %	70
	90 %	80
	100 %	90

Tabela 3.9 - Exemplo prático da determinação do nível Seis Sigma para a filosofia Six Sigma Business Scorecard para pequenas empresas. [31]

Indicadores medidos	$P_n$	Máximos		Mínimos	
		$D_n$	$IDNP_n$	$D_n$	$IDNP_n$
M2	30	100	30	50	15
M5	10	100	10	30	3
M6	10	100	10	25	2,5
M7	10	100	10	25	2,5
M8	10	100	10	25	2,5
M9	10	100	10	25	2,5
M10	20	90	18	60	12
Cálculos					
<i>IDN</i>		98 %		40 %	
<i>DPU<sub>B</sub></i>		0,0202		0,9163	
<i>número de executivos</i>		5			
<i>DPMO<sub>B</sub></i>		4040		183260	
nível Seis Sigma		4,152 (4,15)		2,403 (2,4)	

### 3.9 Manutenção industrial Seis Sigma

Assim como a *Six Sigma Business Scorecard*, a Manutenção Seis Sigma aponta na direção da melhoria contínua, sem desperdícios e com o objetivo de analisar e melhorar o desempenho das atividades de manutenção com base nos níveis Seis Sigma, tendo, de novo, como base os objetivos previamente definidos e as respectivas melhorias a adotar depois de análise dos dados recolhidos. De forma geral esta filosofia deverá apresentar as seguintes características de forma a que se atinga a meta de “zero falhas” [18] [22] [24]:

- Utilização de estratégias de manutenção essencialmente preventivas e melhorativas;
- Maximização da rentabilidade e da eficiência dessas políticas, reduzindo os custos das intervenções;
- Maximização da eficiência global dos equipamentos afetos à produção;
- Aceleração dos processos de melhoria contínua, com uma transição rápida e eficiente das estratégias de manutenção corretivas e reativas para uma nova cultura suportada por políticas preventivas e melhorativas;

- Promoção e estimulação da participação de todos os recursos humanos na implementação e no desenvolvimento das metodologias Seis Sigma, aproveitando as bases da Manutenção Produtiva Total, assim como de outros modelos de manutenção, e que envolvem diretamente os operadores dos equipamentos com o objetivo de se evitarem desperdícios de tempo e de recursos materiais e humanos;
- Forçar as mudanças culturais na estrutura dos serviços afetos à Função Manutenção, numa base de melhoria contínua;
- Deverá ser conduzida pela administração, que é responsável pela estratégia, pelo planeamento, e pela rentabilidade da organização, mas com a participação de todos;
- Deverá ser controlada pelo diretor do Departamento de Manutenção, em colaboração direta com os diretores dos Departamentos de Produção e de Qualidade;
- Deverá ser melhorada continuamente pelos restantes recursos humanos afetos a esses dois departamentos;
- Promoção de uma atitude de formação contínua, de modo a estimular todos os recursos humanos, para que se sintam cada vez mais responsáveis e que possam assim contribuir para o desenvolvimento de soluções inovadoras, indo de encontro às necessidades produtivas;
- Adoção das políticas mais convenientes no que respeita à gestão de materiais, de modo a evitar-se a existência não só de armazéns sobredimensionados, mas também de recursos administrativos desnecessários, devendo selecionar-se cuidadosamente os fornecedores de materiais de manutenção;
- Utilização de meios de diagnóstico adequados, tecnologicamente desenvolvidos e de uma rede de aquisição e processamento de dados em tempo real;
- Utilização de meios informáticos como suporte a todas as atividades, técnicas e administrativas, inerentes à função manutenção;
- Manter permanentemente atualizados os registos históricos não só de todos os equipamentos, mas também dos materiais de manutenção existentes em armazém.

### **3.9.1 Implementação**

À semelhança das linhas orientadoras da filosofia *Six Sigma Business Scorecard*, na implementação da manutenção industrial Seis Sigma deverão ser observados os seguintes 15 passos sequenciais [24]:

1. Entender claramente o significado da Filosofia Seis Sigma e do Pensamento Magro, assim como das implicações e da importância da manutenção industrial para o bom desempenho técnico e financeiro da organização;

2. Fazer sentir que esta filosofia corresponde à miscigenação da Seis Sigma com os objetivos da utilização de práticas preventivas e melhorativas na manutenção dos equipamentos afetos às atividades de produção;
3. Analogamente ao *Business Performance Index* (Índice de Desempenho de Negócios), utilizado na *Six Sigma Business Scorecard*, criar um indicador para as atividades globais da função manutenção, que se poderá designar, por exemplo, por Índice de Desempenho da Função Manutenção (*Maintenance Performance Index*);
4. Estabelecer os objetivos de melhoria a curto e a longo prazo para todas as atividades associadas à função manutenção, de modo a transformar esta função num centro de lucro;
5. Estabelecer os indicadores de desempenho técnicos e financeiros para todas as atividades da Função Manutenção;
6. Estabelecer a relação entre a produtividade dos equipamentos e os valores dos indicadores medidos;
7. Desenvolver uma política de utilização de tecnologia de ponta para os meios de diagnóstico e para a automatização dos sistemas de aquisição e análise de dados;
8. Identificar os processos-chave técnicos, administrativos e financeiros de melhoria do desempenho das atividades de manutenção;
9. Identificar todos os parâmetros associados à função manutenção, a montante a jusante da execução;
10. Estabelecer métodos de recolha de dados e de cálculo para esses parâmetros, e proceder à sua análise;
11. Elaborar as cartas de tendência e apresentar os dados respeitantes aos objetivos a alcançar, de preferência com uma periodicidade semanal ou mensal, consoante a dimensão da empresa, o seu ramo de produção, o número de equipamentos afetos à produção e a sua complexidade e criticidade;
12. Publicar internamente o Índice de Desempenho da Manutenção, semanal ou mensalmente, assim como os relatórios mensais de progresso;
13. Rever o desempenho da Função Manutenção a partir dos resultados obtidos, e tendo como base os objetivos iniciais;
14. Identificar os indicadores que apresentem uma elevada variância e um desempenho adverso face aos objetivos iniciais e investigar as causas desses desvios;
15. Desenvolver as ações curativas de melhoria do desempenho e monitorizar o impacto das melhorias no Índice de Desempenho da Manutenção;

16. Estabelecer uma política de benchmarking entre unidades fabris da mesma organização assim como com outras organizações similares.

Como facilmente se constata depois de ler os 16 pontos de implementação da Manutenção Seis Sigma, esta “bebe” muito daquilo é feito para a *Six Sigma Business Scorecard* o mesmo acontecendo no cálculo dos níveis Seis Sigma, onde a metodologia de cálculo também deriva da utilizada pela referida *Six Sigma Business Scorecard*.

### 3.9.2 Indicadores parciais de desempenho

A seleção, prévia, dos indicadores de desempenho da função manutenção utilizados na aferição do nível Seis Sigma deve ter em consideração os objetivos da empresa em causa, para que reflitam as áreas de interesse da mesma. Neste caso vão ser apresentados 10 indicadores tipo, no sentido de demonstrar a forma de cálculo do nível Seis Sigma para a filosofia de Manutenção Seis Sigma [29] [30] [31]:

1. **Disponibilidade Operacional dos Equipamentos:** calculada pela seguinte expressão:

$$D_o = \frac{MTBM}{MTBM + MDT} \quad (3.29)$$

Sendo MTBM o *Mean Time Between Maintenance* (tempo medio entre ações de manutenção) e MDT o *Mean Maintenance Down Time* (tempo ou duração média das ações de manutenção). Nos casos em que existam várias linhas de produção com diversos equipamentos, a disponibilidade dever corresponder à disponibilidade médias da totalidade desses equipamentos.

2. **Taxa de Falhas dos Equipamentos:** relaciona o número total de falhas com o tempo total de funcionamento, obtém-se com base na seguinte expressão:

$$\lambda = \frac{\text{número total de falhas}}{\text{tempo total de funcionamento}} \quad (3.30)$$

Como no caso do indicador anterior, este indicador deve corresponder à média da taxa de falhas da totalidade dos equipamentos, sendo que deve ser dada uma atenção especial aos equipamentos mais críticos para o processo produtivo sempre com o objetivo de se aumentar a sua fiabilidade.

3. **Eficiência Global dos Equipamentos:** calculada através do seguinte produto:

$$EGE = D_o R_o T_q \quad (3.31)$$

Onde  $R_o$  é o rendimento operacional e  $T_q$  a taxa de qualidade dos produtos fabricados, sendo, respetivamente:

$$R_o = TVO \times TOL \quad (3.32)$$

$$T_q = \frac{PSD}{PTF} \quad (3.33)$$

Por sua vez,  $TVO$  representa a Taxa da Velocidade Operacional e  $TOL$  a Taxa de Operação Líquida, calculadas, respetivamente, de acordo com os seguintes rácios:

$$TVO = \frac{\text{tempo standard de ciclo}}{\text{tempo de ciclo real}} \quad (3.34)$$

$$TOL = \frac{\text{unidades produzidas} \times \text{tempo de ciclo real}}{\text{tempo de carga} - \text{tempo de paragens}} \quad (3.35)$$

**4. Taxa de Rendimento Sintética dos Equipamentos:** dada pelo seguinte rácio:

$$TRS = \frac{D}{A} \quad (3.36)$$

Sendo  $A$  o tempo teórico máximo possível de funcionamento, isto é, o tempo compreendido entre o instante do início da entrada pela primeira vez em serviço e o instante de abatimento, e  $D$  o tempo líquido de funcionamento deduzido das perdas por “não qualidade”. Assim como os indicadores anteriores, esta taxa deverá corresponder ao valor médio das taxas relativas a todos os equipamentos utilizados nos diferentes processos produtivos.

**5. Índice de Trabalho Extraordinário:**

$$ITE = \frac{\text{custo total do trabalho extraordinário de manutenção}}{\text{custo total do pessoal de manutenção}} \quad (3.37)$$

**6. Índice Técnico de Atividade:**

$$ITA = \frac{\text{custo dos materiais utilizados}}{\text{custo total de manutenção}} \quad (3.38)$$

**7. Índice do Volume de Produção:**

$$IVP = \frac{\text{custo total de manutenção}}{\text{volume de vendas}} \quad (3.39)$$

**8. Índice de Qualidade do Serviço:**

$$IQS = \frac{\text{tempo de manutenção preventiva}}{\text{tempo total de manutenção}} \quad (3.40)$$

**9. Índice de Efetivos de Pessoal:**

$$IEP = \frac{\text{efetivo de trabalho subcontratado}}{\text{horas totais de manutenção}} \quad (3.41)$$

**10. Índice de Trabalho Subcontratado:**

$$ITS = \frac{\text{horas de trabalho subcontratado}}{\text{horas totais de manutenção}} \quad (3.42)$$

Importa salientar que, quer a escolha quer mesmo a quantidade dos indicadores vai depender diretamente da especificidade de cada organização e até da importância dada à função manutenção dentro da mesma.

### **3.9.3 Determinação do nível *Seis Sigma Maintenance Scorecard* - SSMS**

À semelhança da metodologia *Six Sigma Business Scorecard*, o cálculo do nível Seis Sigma para a metodologia *Six Sigma Maintenance Scorecard*, deve seguir, genericamente, os seguintes passos [25] [30] [31]:

- **Indicadores a medir:** já definidos previamente, deverão ser explicitados levando em conta os objetivos e as especificações das empresas. Poderão ser escolhidos outros mais representativos e o seu número poderá igualmente ser diferente de 10.
- **Definição dos pesos dos indicadores:** estes pesos  $P_n$  são atribuídos a cada indicador em função da especificidade de cada um e da sua importância no desenvolvimento da função manutenção, devendo a sua soma ser igual a 100.
- **Definição do desempenho de cada indicador:** tal como no caso do *Business Scorecard*, para cada um dos  $n$  indicadores medidos o desempenho é calculado através do seguinte rácio:

$$R_n = \frac{\text{desempenho obtido} \times 100}{\text{desempenho previamente definido}} \quad (3.43)$$

Na Tabela 3.12 são sugeridos os valores efetivos a serem utilizados para a Manutenção Seis Sigma. Neste caso, o rácio de desempenho real  $R_n$  para cada um dos 10 indicadores medidos deverá ser corrigido para  $D_n$  tendo em conta a respetiva correspondência dada pela Tabela 3.12. Tal como sucede com a elaboração da *Six Sigma Business Scorecard*, na elaboração da *Six Sigma Maintenance Scorecard* não se considera o rácio real  $R_n$  mas sim o valor corrigido  $D_n$  para se diferenciar de uma forma acentuada e concisa os bons dos maus desempenhos. Por exemplo para a disponibilidade operacional, tendo-se  $R_n = 100$ , o desempenho é excelente, contudo se for igual a 80 já se poderá considerar medíocre, contudo, a diferença caracterizadora destas duas situações é apenas igual a 20, ou seja, pouco significativa. Todavia, com os valores corrigidos recomendados na Tabela 3.12, tem-se para  $D_n$  respetivamente os valores 100 e 40, sendo assim a diferença bastante mais significativa ( $60 = 3 \times 20$ ) [29].

No trabalho de Cabrita [29] são ainda feitas referências a outras vantagens de corrigir o valor de  $R_n$  para  $D_n$  como o caso de se ter  $R_n > 100$  o que levará a que o valor de  $D_n$  seja mais reduzido (no caso de alguns indicadores como é o exemplo do ITE) e consequentemente significa que o desempenho sofre um agravamento cada vez maior. Ainda com o exemplo do indicador ITE, o caso representaria um aumento de horas extraordinárias dos recursos humanos afetos à atividade de manutenção face ao rácio previamente especificado o que pode indiciar deficiências na organização e gestão da função manutenção.

No caso específico de  $R_n$  ser superior a 100, por exemplo no caso da disponibilidade operacional, significa que se conseguiu melhorar este indicador além do valor previamente especificado para o período em análise.

É também referido que, ao contrário do rácio  $R_n$  que pode ser superior a 100%, o valor de  $D_n$  não pode ultrapassar esse valor daí que exista a necessidade da elaboração do quadro de correspondências entre  $R_n$  e  $D_n$ . É preciso ter ainda atenção ao fato de que o valor máximo para os “n” indicadores não poderá ser considerado, para todos eles, como sendo  $D_n = 100\%$  uma vez que levaria a  $IDM = 100\%$  e, consequentemente,  $DPU = 0$  levando a um número de falhas de 0 ( $DPMO = 0$ ) o que seria uma situação irracional tendo em conta que o nível máximo de 6 sigmas corresponde a exatamente 3,4  $DPMO$ . A solução passa então por considerar, de forma arbitrária, apenas um dos indicadores o valor de 90% para o seu desempenho máximo [29].

Ainda que seja proposta a utilização de  $D_n$ , pode optar-se por usar o valor não corrigido, ou seja,  $R_n$  e caso o seu valor seja superior a 100% dever-se-á considerar sempre  $R_n = 100\%$ . Na situação limite de todos os rácios serem iguais a 100%, um deles deverá ser reduzido para 90% ou 95% [29].

- **Determinação dos Índices de Desempenho de Manutenção Parciais:**

$$IDMP_n = \frac{P_n \times D_n}{100} \quad (3.44)$$

- **Determinação do Índice de Desempenho da Manutenção:**

$$IDM = \sum_{n=1}^{10} IDMP_n \quad (3.45)$$

- **Determinação do número de Defeitos Por Unidade (DPU):**

$$DPU = -\ln\left(\frac{IDM}{100}\right) \quad (3.46)$$

- **Determinação do número de Defeitos por Milhão de Oportunidades (DPMO):**

$$DPU = \frac{\text{número total de defeitos}}{\text{número de unidades}} \quad (3.47)$$

$$DPMO = \frac{\text{número total de defeitos} \times 10^6}{\text{número total de oportunidades de defeito}} \quad (3.48)$$

mas como, por outro lado, se pode escrever a seguinte relação entre as variáveis intervenientes:

$$\begin{aligned} \text{número total de oportunidades de defeito} &= \text{número de unidades} \times \\ &\times \text{número médio de oportunidades de defeito por unidade} \end{aligned}$$

virá, por conseguinte:

$$DPMO = \frac{DPU \times 10^6}{\text{número médio de oportunidades de defeito por unidade}} \quad (3.49)$$

e, uma vez que, para a manutenção industrial, se deve ter:

$$\begin{aligned} \text{número total de defeitos} &= \\ &= \text{número total de falhas nas linhas de produção} \\ \text{número de unidades} &= \text{número de linhas de produção} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{número médio de oportunidades de defeito por unidade} = \\ & = \text{número médio de equipamentos por linha de produção} \end{aligned}$$

virá finalmente:

$$DPMO = \frac{DPU \times 10^6}{\text{número médio de equipamentos por linha de produção}} \quad (3.50)$$

- **Determinação do nível Seis Sigma:** o cálculo para a determinação do nível Seis Sigma pode ser feito usando a distribuição normal padrão, ou de forma direta através de interpolação linear usando a Tabela 3.5 como referência [25].

Tabela 3.10 - Exemplo prático de determinação do nível Seis Sigma para a filosofia de Manutenção Seis Sigma [29]

Indicadores medidos	$P_n$	$D_n$	$IDMP_n$
M1. Disponibilidade Operacional	10	40	4
M2. Taxa de Falhas	20	75	15
M3. Eficiência Global dos Equipamentos	10	50	5
M4. Taxa de Rendimento Sintética	10	80	8
M5. Índice de Trabalho Extraordinário	5	100	5
M6. Índice Técnico de Actividade	5	30	1,5
M7. Índice do Volume de Produção	15	70	10,5
M8. Índice de Qualidade do Serviço	5	50	2,5
M9. Índice de Efectivos de Pessoal	10	90	9
M10. Índice de Trabalho Subcontratado	10	70	7
Cálculos			
<b>IDM</b>	67,5 %		
<b>DPU</b>	0,393		
<i>número médio de equipamentos por linha de produção</i>	9		
<b>DPMO</b>	43667		
<b>nível Seis Sigma</b>	3,211 (3,21)		

Refira-se que, mesmo em grandes grupos industriais num país desenvolvido, com gestão e organização eficientes torna-se difícil conseguir um nível Seis Sigma muito elevado, daí que no seu trabalho, Cabrita [31], considere que uma empresa com 3.6 Sigma se possa considerar muito boa no seu desempenho global. Não deve ser esquecido, ainda assim, o processo de melhoria continua para que o nível Seis Sigma possa subir gradualmente.

Apenas a título de curiosidade, a tabela 3.11 mostra a diferença ao calcular-se o nível Seis Sigma usando o rácio  $R_n$  e os rácios corrigidos.

Tabela 3.11 - Diferença entre a utilização dos rácios  $R_n$  e  $D_n$  [29]

Indicadores medidos	$P_n$	Rácio $R_n$		Rácio $D_n$	
		$R_n$	$IDMP_n$	$D_n$	$IDMP_n$
M1	10	80	8	40	4
M2	20	100	20	20	4
M3	10	60	6	30	3
M4	10	60	6	30	3
M5	5	100	5	30	1,5
M6	5	100	5	70	3,5
M7	15	100	15	100	15
M8	5	60	3	50	2,5
M9	10	100	10	10	1
M10	10	80	8	30	3
<b>Cálculos</b>					
<b>IDM</b>		<b>86 %</b>		<b>40,5 %</b>	
<b>DPU</b>		<b>0,1508</b>		<b>0,9039</b>	
<i>número médio de equipamentos por linha de produção</i>		<b>9</b>			
<b>DPMO</b>		<b>1122</b>		<b>203622</b>	
<b>nível Seis Sigma</b>		<b>3,628 (3,63)</b>		<b>2,781 (2,78)</b>	

Tabela 3.12 - Valores sugeridos para os rácios efetivos de desempenho dos indicadores medidos. [29]

Indicadores Medidos	$R_n$	$D_n$
M1. Disponibilidade Operacional dos Equipamentos $D_o$	$\leq 60$	20
	80	40
	90	70
	$\geq 100$	100
M2. Taxa de Falhas dos Equipamentos $\lambda$	$\geq 200$	20
	150	40
	120	70
	$\leq 100$	100
M3. Eficiência Global dos Equipamentos $EGE$	$\leq 50$	20
	60	30
	75	50
	$\geq 100$	100
M4. Taxa de Rendimento Sintética dos Equipamentos $TRS$	$\leq 50$	20
	60	30
	75	70
	$\geq 100$	100
M5. Índice de Trabalho Extraordinário $ITE$	$\geq 200$	10
	150	30
	120	70
	$\leq 100$	100
M6. Índice Técnico de Actividade $ITA$	$\geq 200$	10
	150	30
	120	70
	$\leq 100$	100
M7. Índice do Volume de Produção $IVP$	$\geq 200$	10
	150	30
	120	70
	$\leq 100$	100
M8. Índice de Qualidade do Serviço $IQS$	$\leq 20$	10
	40	30
	60	50
	$\geq 100$	100
M9. Índice de Efectivos de Pessoal $IEP$	$\geq 200$	10
	150	30
	120	70
	$\leq 100$	100
M10. Índice de Trabalho Subcontratado $ITS$	$\leq 70$	20
	80	30
	90	70
	$\geq 100$	90

### 3.9.4 Correção do nível Seis Sigma

No trabalho do professor Cabrita [29] é proposta uma medida de correção do nível Seis Sigma que será também usada neste trabalho.

No caso referido, o método usa-se subtraindo o nível máximo Seis Sigma calculado para a organização (ver tabela 3.13), ao valor Seis Sigma máximo teórico: 6. Desta subtração resulta o fator de correção que será, posteriormente, somado ao nível Seis Sigma efetivo calculado para a empresa em causa e que dará então nível Seis Sigma corrigido. Importa dizer que, ainda segundo [29], este fator apenas se aplica nos casos do número médio de equipamentos por linha ser sempre o mesmo.

Tabela 3.13 - Exemplo do cálculo do fator de correção do nível Seis Sigma. [31]

Indicadores medidos	$P_n$	Máximos		Desempenho efectivo	
		$D_n$	$IDMP_n$	$D_n$	$IDMP_n$
M1	15	100	15	40	6
M2	15	100	15	70	10,5
M3	20	100	20	50	10
M4	10	100	10	70	7
M5	5	100	5	30	1,5
M6	5	100	5	70	3,5
M7	5	100	5	30	1,5
M8	5	100	5	50	2,5
M9	10	100	10	70	7
M10	10	90	9	70	7
<b>Cálculos</b>					
<b>IDM</b>	99 %		56,5 %		
<b>DPU</b>	0,0101		0,571		
<i>número médio de equipamentos por linha de produção</i>	12				
<b>DPMO</b>	842		47583		
<b>nível Seis Sigma</b>	4,64		3,17		
factor de correcção	$6 - 4,64 = 1,36$				
<b>nível Seis Sigma corrigido</b>	6		4,53		

Para uma melhor compreensão deste fator de correção, deve-se consultar o trabalho efetuado em [29] onde se dá a explicação mais detalhada do mesmo e ainda o trabalho [30] onde é calculado o nível Seis Sigma para uma unidade de produção automóvel e o respetivo fator de correção.

# Capítulo 4: Caso Prático - Transdev Portugal

A Transdev surge em França durante o ano de 1955 e apresenta, desde logo, um crescimento coeso e progressivo levando a uma expansão consolidada da empresa. Desde a fundação que esteve sempre presente o conceito de inovação sem nunca esquecer a qualidade do serviço prestado, fatos que permitiram que atualmente, a companhia esteja presente nos cinco continentes, em cerca de 20 países, com 13 modos de transporte disponíveis, que vão desde o metro às bicicletas, do autocarro ao *carsharing* até ao comboio. Trata-se, assim, de uma empresa global com mais de 82000 colaboradores, com uma frota de 43300 veículos, tendo gerado um volume de negócios de cerca de 6600 milhões de euros em 2017 [32].

A Transdev assume-se como fornecedora de soluções inovadoras e sempre com a melhor performance, permitindo dar resposta às novas necessidades e expectativas de mobilidade e contribuindo para o desenvolvimento das regiões ao mesmo tempo que se mantém ao serviço dos cidadãos. Sendo o maior grupo privado de transporte da Europa o grupo Transdev ambiciona o progresso continuo sendo que para isso assenta em 5 valores essenciais. O primeiro deles é “A Segurança Primeiro”, demonstrando que a segurança é uma prioridade e um compromisso que cria confiança, respeito e sentido de parceria com os passageiros, clientes e colaboradores. Depois a “Paixão” pois, mais uma vez segundo a Transdev, paixão alimenta o compromisso diário das equipas, o “Desempenho” seja nas ações individuais ou coletivas é sempre privilegiado, a “Parceria” é também um dos valores destacados pois permite uma grande proximidade com os clientes levando a perceber as suas necessidades. Por fim, o “Compromisso” com a meta da inovação e com o cumprimento das missões diárias do quotidiano na empresa [32].

## 4.1 A Transdev em Portugal

A entrada em Portugal dá-se no ano de 1997 depois de ter ganho, em consorcio, o concurso publico internacional para a rede de metro do Porto. Desde então tem vindo a desenvolver e alargar a presença e atividade em Portugal. De seguida são apresentados alguns acontecimentos mais marcantes da história de empresa em Portugal [19] [32]:

- **1997** - Através do consórcio Normetro, a Transdev vence o concurso público para a construção e acompanhamento a todos os níveis do sistema de Metro no Porto.;

- **2002** - A Transdev engloba o grupo CAIMA (transporte rodoviário de passageiros) através de uma rede que explora maioritariamente Porto, Braga e Coimbra. É também em 2002 que é inaugurada a primeira linha do Metro do Porto;
- **2003** - Após realização da respetiva auditoria, a Transdev enquanto Sociedade Operadora da rede de Metro do Porto, recebe a certificação ISO 9001:2000 (qualidade);
- **2004** - A Sociedade Operadora do Metro do Porto recebe nova certificação, desta vez para ao abrigo da norma ISO 14001:1999 (Ambiente); São criadas linhas de Braga e São João da Madeira ao Porto em parceria com diferentes operadoras (autocarro); é criada a Rede Verde - rede interconcelhia de autocarros que abrange Oliveira de Azeméis, São João da Madeira e Arouca;
- **2005** - A Transdev é novamente reconhecida, desta feita em relação à Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho sendo certificada pelas OHSAS 18001:1999 e Norma Portuguesa NP 4397:2001 (Segurança); Simultaneamente efetua a transição para o mais recente referencial ISO 14001:2004 (Ambiente); Regista-se a abertura de 3 novas linhas no Metro do Porto; É ainda em 2005 que a Transdev ganha , em concurso, a operação do Funicular dos Guindais (Porto);
- **2006** - Em maio, o Metro do Porto chega ao aeroporto Francisco Sá Carneiro com a sua quinta linha. A Transdev gere agora cinco linhas que equivalem a 60 quilómetros de rede; Inauguração de uma nova oficina para a área rodoviária na zona norte; criação de um serviço de transporte publico interurbano denominado Projeto Arganil;
- **2007** - Atualização dos meios e acompanhamento de processos através da modernização das Centrais de Camionagem de Coimbra e do Porto, tal como das redes de transporte de diversos concelhos das zonas Norte e Centro em parceria com as Autarquias, IMTT e outros operadores, promovendo assim, soluções de mobilidade inovadoras;
- **2008** - Inauguração de uma nova oficina em Oliveira de Azeméis;
- **2010** - Transdev adquire o Grupo Joalto, reforçando assim a sua aposta no sector rodoviário em Portugal; lançamento do projeto citizen - operador de carsharing, apostando assim no desenvolvimento de novas soluções de mobilidade sustentável;
- **2011** - Lançamento, em março, da CitiExpress, uma nova marca para o serviço expresso rodoviário de passageiros;
- **2012** - Acordo com a MoveAveiro para a exploração de 4 carreiras urbanas/interurbanas em Aveiro; é criada uma nova marca para o serviço ocasional: a Citivisual que tem como missão um serviço de aluguer distinto focado na qualidade e imagem;
- **2013** - A CAIMA Transportes recebe a Tripla Certificação (Qualidade, Ambiente e Segurança) tornando-se a primeira empresa do sector, em Portugal, com tripla certificação; uniformização de todas as marcas do transporte coletivo rodoviário dando lugar a uma única marca: Transdev;
- **2014** - Criação das Redes urbanas de Marco de Canaveses e Condeixa; lançamento de um novo serviço com ligação ao Aeroporto Francisco Sá Carneiro e a Central de Camionagem do Porto;

- **2016** - A Transdev ganha o concurso para a operação do transporte terrestre e marítimo de Aveiro pelo período de 20 anos;
- **2017** - Existe a mudança das instalações rodoviárias do Porto que passam para o terminal rodoviário Campo 24 de Agosto, melhorando as condições dos cerca de 4500 passageiros que todos os dias chegam ou partem daquela cidade através do autocarro;
- **2018** - É inaugurado o Terminal Rodoviário de Aveiro, projeto orçado em cerca de meio milhão de euros;

As principais zonas de incidência são o norte e centro do país, tendo ainda assim, presença em todo o território continental. A atividade centra-se em grande parte no transporte rodoviário e fluvial, detendo 11 empresas e ainda participações em outras 6. Em termos mais específicos, apresenta 11 soluções integradas de mobilidade, 4 modos de transporte em Portugal em 5 redes urbanas e mais de 1000 interurbanas. Com sensivelmente 1900 colaboradores apresentam mais de 1500 veículos na sua frota que permitiram alcançar, em 2017, um volume de negócios de 96.6 milhões de euros, sendo o segundo maior operador desta área em Portugal [32].

#### **4.1.2 Modelo de manutenção**

No que toca à manutenção na empresa Transdev Portugal, esta centra-se, claro está, na devida manutenção da sua frota de veículos de transporte de passageiros, sendo estes o grande ativo físico da mesma. A manutenção é efetuada por técnicos do grupo existindo, a título de exemplo, oficinas em Braga, Coimbra ou Castelo Branco entre outras. Em certos casos específicos como a manutenção dos sistemas de ar condicionado ou substituições de para-brisas, a mesma é subcontratada a empresas externas. Esta situação fica a dever-se a questões como a falta de capacidade de resposta ou controlo de custos nos casos de ser mais vantajoso fazer o serviço externo. O mesmo acontece em situações pontuais que impliquem trabalhos mais complexos ou nos casos de intervenções em que exista falta de técnicos especializados no trabalho requerido.

Tendo em conta que a qualidade e segurança são funções indissociáveis de todo o processo da empresa, uma vez que esta se encontra certificada pelas normas como a ISO 9001, ISO 14001, ou NP 4397 que se referem, respetivamente a qualidade, ambiente e segurança compreendendo todas as atividades de uma empresa, desde o processo produtivo (o transporte de passageiros), às atividades relacionadas com a manutenção. Os colaboradores recebem instruções para formas de agir, por exemplo, em questões ambientais como a reciclagem dos fluidos usados pelas viaturas ou questões relacionadas com a segurança, quer a sua própria segurança quer a associada às viaturas que intervencionam.

Os recursos humanos afetos à manutenção são valorizados consoante a sua função e as suas responsabilidades são definidas de forma clara existindo ainda planos de formação, dependendo da área, para que possam realizar tarefas especializadas e de maior complexidade.

Nas oficinas do grupo Transdev, grande parte da manutenção assume-se como manutenção preventiva planeada, sendo feita com base nos planos de manutenção pré-definidos para cada tipo e modelo de veículos. Existem ainda casos de, por exemplo, avarias espontâneas consideradas como manutenção corretiva. No caso, existe ainda manutenção preparatória de IPO (inspeção regulamentar) que sempre que possível é agregada com a manutenção preventiva das viaturas. Outras situações existem que carecem de manutenção como vandalismo ou sinistros.

Neste trabalho são consideradas 2 oficinas: Eiriz e Lamego. Ambas apresentam uma estrutura de manutenção idêntica com, respetivamente, 12 e 15 colaboradores. Em cada uma delas existe um responsável de manutenção, um técnico de armazém e diversos colaboradores especialistas nas áreas de mecânica, intervenções de carroçaria (pintura, chaparia e carpintaria), eletricidade, limpeza e área de pneus e lubrificação. No caso de Lamego existe ainda uma colaboradora técnica administrativa.

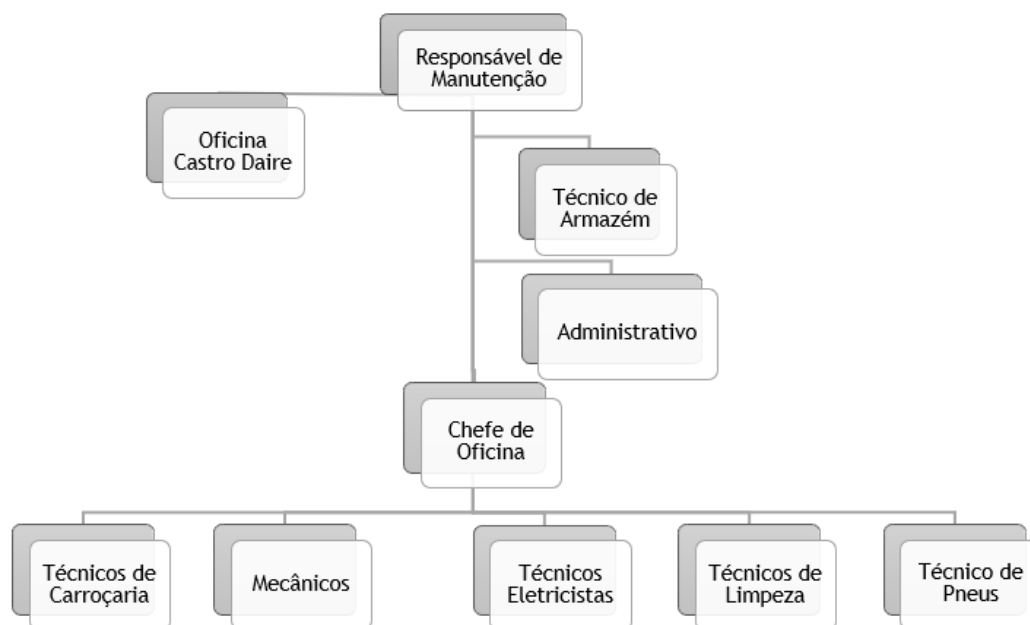


Figura 4.1 - Organograma do departamento de manutenção da oficina de Lamego

No esquema apresentado na Figura 4.1 pode observar-se o organograma da oficina de Lamego onde é possível verificar as diferentes valências técnicas existentes. Na oficina da Transdev de Eiriz a diferença resume-se à não existência de um técnico administrativo a completar a equipa de colaboradores. Na Tabela 4.1 apresenta-se o número de colaboradores em cada categoria.

Tabela 4.1 - Número de colaboradores por categoria profissional.

Categoria Profissional	Eiriz	Lamego
Responsável de manutenção	1	1
Técnico de armazém	1	1
Técnico administrativo	--	1
Chefe de oficina (Mecânico)	1	1
Técnico de carroçaria	1	2
Mecânico	4	5
Técnico eletricista	1	2
Técnicos de limpeza	2	--
Técnicos pneus	1	2

#### 4.1.2 Suporte informático

O departamento de manutenção tem ao seu dispor um sistema informático dedicado que permite o registo e armazenamento de informação acerca dos veículos. Esse sistema compreende funções como:

- Planos de manutenção;
- Ordens de trabalho;
- Históricos de manutenção;
- Indicadores de manutenção;
- Histórico de peças utilizadas;

Existe ainda um outro programa que permite acesso a questões relacionada com:

- Stocks e encomendas de peças;
- Faturação;

É no primeiro sistema que está programada a manutenção semanal e onde são inseridas as avarias normalmente reportadas à manutenção. Quando o veículo entra em oficina é introduzido o número de frota em sistema e o próprio programa informático gera uma OT (ordem de trabalho) com os requisitos de manutenção previamente definidos e, no caso de

existirem, as avarias que foram sendo assinaladas para que sejam solucionadas. Depois de feita a intervenção são imputadas as horas de mão de obra de cada colaborador e feito o encerramento da OT, sendo o veículo de novo dado como ativo no sistema para que a produção possa colocá-lo de volta ao serviço.

## 4.2 Cálculo nível Seis Sigma

Para se fazer o cálculo do nível Seis Sigma de cada uma das oficinas em causa será utilizada a ferramenta de cálculo proposta por Cabrita. Essa ferramenta passa pela adaptação da *Six Sigma Balanced Scorecard* à manutenção, levando a que seja chamada por *Six Sigma Maintenance Scorecard*. Posto isto, foi preciso fazer uma seleção de indicadores de desempenho a utilizar. Foram levados em consideração os propostos por Varela Pinto [7], mas também os utilizados pelo professor Cabrita já que estavam desde logo relacionados com a função manutenção. Foram ainda considerados os vários indicadores presentes na norma portuguesa que discrimina os indicadores de desempenho da manutenção [33]. Ainda assim, este trabalho apresenta desde logo diferenças por tratar da função manutenção numa empresa de transportes. Houve então a necessidade de alterar/adaptar alguns dos indicadores e usar outros mais em linha com a manutenção de uma frota de veículos. A disponibilidade de informação e a possibilidade de ser usada neste trabalho foram outros fatores que condicionaram a escolha dos indicadores de desempenho usados.

São de seguida apresentados os 10 indicadores selecionados:

- **Custo total da manutenção por quilometro percorrido**

$$M1: \frac{\text{custo total manutenção}}{\text{total de km percorridos}} \times 100$$

- **Índice do custo com pessoal interno de manutenção**

$$M2: \frac{\text{custo pessoal interno man.}}{\text{custo total da manutenção}} \times 100$$

- **Índice do custo dos serviços externos**

$$M3: \frac{\text{custo serviços externos}}{\text{custo total da manutenção}} \times 100$$

- **Quilómetros por ordens de trabalho**

$$M4: \frac{\text{Km anuais}}{\text{n.º total ordens de trabalho}}$$

- **Tempo médio de reparação por avaria (corretiva de urgência)**

$$M5: \frac{\text{tempo total das reparações (corretivas de urgência)}}{\text{n.º avarias em estrada (corretiva de urgência)}} x 100$$

- **Índice de efetivo de pessoal**

$$M6: \frac{\text{efetivo pessoal interno man. (técnicos, resp. man., resp. armazém, escritório)}}{\text{efetivo interno total (inclui motoristas)}} x 100$$

- **Índice mão de obra de avarias em estrada (corretiva de urgência)**

$$M7: \frac{\text{horas mão-obra avarias em estrada (corretiva de urgência)}}{\text{total horas manutenção}} x 100$$

- **Taxa de falhas**

$$M8: \lambda = \frac{\text{número de avarias em estrada}}{\text{km anuais}}$$

- **Índice técnico de atividade**

$$M9: \frac{\text{custo materiais utilizados na man.}}{\text{custo total da manutenção}} x 100$$

- **Índice de qualidade do serviço**

$$M10: \frac{\text{horas man. corretiva (não urgente)+preventiva+periódica}}{\text{horas totais de manutenção}} x 100$$

De forma mais específica, cada indicador foi escolhido para que a informação dele extraída fosse sempre essencial para a tomada de decisão da organização, mas sobretudo, da função manutenção. Um dos indicadores que mais diz à organização é o custo por Km (indicador M1). Neste caso, para o valor de custo total da manutenção, entram os custos com peças de substituição, custos com colaboradores, serviços externos ou ainda serviços de limpeza contratados.

Para melhor avaliar os custos associados às ações de manutenção, importa ter a perceção dos gastos em cada categoria, mais ainda quando se pretende fazer uma comparação direta entre duas oficinas. Assim os indicadores M2, M3 e M9 permitem saber, respetivamente, as percentagens de gastos com colaboradores, serviços externos e custos de peças.

Outro indicador considerado relevante é o M6 que relaciona os colaboradores afetos ao serviço de manutenção com a totalidade dos trabalhadores. Se, por um lado, pode parecer um indicador a negligenciar, a capacidade de resposta dos serviços de manutenção está diretamente relacionada com a quantidade de funcionários capazes de tais funções, daí o seu uso.

Na categoria de indicadores de caráter mais técnicos, tem-se o indicador M4 que relaciona os km percorridos com o número de ordens de trabalho, ou seja, permite prever, em média, a cadência de ordens de trabalho a necessitarem de resposta por parte do departamento de manutenção. Por outro lado, permite controlar a qualidade dos serviços ao poder-se estudar as variações do número de OT's ao longo do tempo. As ordens de trabalho têm a seguinte categorização na empresa:

- Avaria em estrada;
- Corretiva;
- Preventiva;
- Regulamentar (IPO);
- Vandalismo;
- Sinistro;

Para o indicador M4 serão considerados todos os tipos de ordens de trabalho à exceção daquelas desencadeados por sinistros ou ações de vandalismo.

No caso dos indicadores M5 e M7, ambos consideram a manutenção corretiva como corretiva de urgência. Optou-se por dividir a manutenção corretiva como corretiva urgente e não urgente. A explicação passa por considerar como corretiva urgente as avarias que determinem a paragem de serviço dos veículos (por segurança, risco iminente, impossibilidade de se mobilizar etc.) e que, portanto, necessitam de intervenção imediata. Como corretiva não urgente devem-se entender as avarias mais simples (lâmpada fundida, danos ligeiros que não interferem com as funções do veículo e não determinem uma paragem imediata) e que podem esperar, por exemplo, até à próxima visita planeada do carro à oficina. Assim, voltando aos indicadores, estes permitem obter o tempo de trabalho com as manutenções urgentes (corretiva de urgência) em termos de horas gastas por intervenção (indicador M5) e no caso do M7, permite saber a percentagem de tempo aplicado nas resoluções de corretivas de urgência em comparação com o global das intervenções.

O indicador M8 mais não é que a taxa de falhas. É dado em termos de falhas por Km e há que realçar que são apenas consideradas as avarias em estrada (consideradas aqui como manutenção corretiva de urgência) que necessitem de intervenção imediata. Este indicador permite que se entenda, ao longo do tempo, se as falhas estão a diminuir, estagnadas ou a aumentar o que indica, por exemplo, o aproximar do fim de vida útil de algum veículo.

O último indicador (M10) permite saber o rácio entre as horas da manutenção corretiva não urgente, preventiva e regulamentares e o total de horas gastos em manutenção. Assim, e uma vez que o grosso das intervenções nas oficinas da Transdev são nas manutenções preventivas e corretivas, é possível saber a percentagem de tempo disponibilizado para as mesmas é realmente elevada, ou se por outro lado, está a ser disponibilizado demasiado tempo a manutenções corretivas de urgência ou manutenções devido a atos de vandalismo e acidentes.

Depois de definidos os indicadores, estes foram calculados tendo em conta as informações recolhidas na empresa. A informação usada é a que se refere ao período compreendido entre maio de 2018 e abril de 2019. Importa aqui deixar explícito que para este trabalho, para os custos de manutenção, foram usados valores reais como os gastos em peças ou serviços externos, mas noutros casos, como os custos com colaboradores ou com substituição de pneus, os valores foram estimados ou aproximados. No caso dos custos com colaboradores, usou-se mesmo como referência o ordenado mínimo nacional.

Na Tabela 4.2 é possível ver os resultados do cálculo dos indicadores de desempenho para cada uma das oficinas.

Em relação aos valores calculados, podem ser retiradas conclusões importantes sobre alguns dos indicadores:

- No caso do indicador M1, tanto para a oficina de Eiriz como para a de Lamego o custo por Km é algo elevado. Existem duas possíveis razões para que isto aconteça: a primeira passa pela necessidade de estimativa de alguns valores para este trabalho, o que leva a resultados um pouco desfasados da realidade; a segunda razão deve-se ao fato de, por vezes, serem prestados serviços de reparação/manutenção a empresas concorrentes ou a veículos pertencentes a outras oficinas. O valor destes serviços é inicialmente contabilizado como se de uma manutenção/reparação interna se tratasse e apenas mais tarde é faturado à empresa devida. Uma vez que não foi possível ter acesso a estes custos, não foi possível subtrair o valor destes serviços ao custo total de manutenção, pelo que este se apresenta mais elevado do que na realidade é.
- O indicador M3 diz respeito aos custos com serviços externos. Na oficina de Lamego existe falta de mão de obra pelo que a necessidade destes serviços é maior, e, portanto, o custo é também maior em relação a Eiriz. Ainda assim, e tendo em conta esta situação, a oficina de Lamego gasta, em percentagem, o valor próximo ao definido enquanto que na oficina de Eiriz esse valor é ultrapassado em mais de 10%. Esta diferença será relevante no cálculo do nível Seis Sigma.
- No cálculo da média de horas gastas nas reparações de urgência (indicador M5), é contabilizado na OT o tempo desde o momento em que a equipa de reparação sai da oficina até que chega ao local para a reparação. Este é um fato que eleva o tempo da reparação sem que, na realidade, esteja mesmo a realizar-se e, portanto, deve ser referido. Ainda assim, em ambas as oficinas apresentam valores algo elevados.

- Do indicador M8 importa referir que a oficina de Eiriz sai bastante penalizada pois apresenta um número de avarias relativamente próximo a Lamego, no entanto, a sua frota de veículos percorre praticamente metade dos Km relativamente à frota de Lamego. Ou seja, existem mais avarias por Km em Eiriz daí o seu valor baixo aquando do cálculo.
- No caso do indicador M9 era expetável o gasto em peças ser menor em Lamego ainda que nessa oficina exista uma frota maior. Esta situação advém da maior necessidade de serviços externos, que como se comprovou com o indicador M3, é bastante maior em Lamego.

Tabela 4.2 - Indicadores de desempenho relativos à oficina de Eiriz e Lamego.

Indicadores de desempenho	Eiriz	Lamego
M1 - [€/km]	0.138	0.157
M2 - [%]	19.2	12.4
M3 - [%]	35.4	42.2
M4 - [km/OT]	1970	1850
M5 - [h/avaria]	3.20	3.24
M6 - [%]	9.09	8.82
M7 - [%]	3.32	1.98
M8 - [falhas/km]	$3.73 \times 10^{-5}$	$2.61 \times 10^{-5}$
M9 - [%]	23.2	17.2
M10 - [%]	95.8	94.5

De seguida, era necessário organizar os indicadores de desempenho em termos de importância, para a organização como um todo, mas sobretudo, em termos de importância para a função manutenção. Assim, foram atribuídos pesos a cada um dos indicadores que no caso se cifraram entre os 5 e os 20 %, totalizando, no seu conjunto, os 100 %. Posteriormente foi calculado o rácio  $R_n$  para cada indicador, e tendo em conta a necessidade de se diferenciarem os bons dos maus resultados [31], deve-se corrigir o valor para  $D_n$ . Desta forma na Tabela 4.3 ficam

definidas as correspondências entre os rácios  $R_n$  e  $D_n$  e os valores efetivos usados para os passos seguintes.

Tabela 4.3 - Valores recomendados para os rácios de desempenho dos indicadores medidos.

Indicadores medidos		$D_n$
M1.	$\geq 200$	30
	150	50
	120	80
	$\leq 100$	100
M2.	$\geq 200$	10
	150	40
	120	60
	$\leq 100$	100
M3.	$\geq 200$	10
	150	20
	120	60
	$\leq 100$	100
M4.	$\leq 50$	20
	80	40
	100	70
	$\geq 120$	100
M5.	$\geq 200$	10
	150	20
	120	60
	$\leq 100$	100
M6.	$\geq 200$	10
	150	40
	120	70
	$\leq 100$	100
M7.	$\geq 200$	30
	150	50
	120	70
	$\leq 100$	100
M8.	$\geq 200$	20
	150	40
	120	70
	$\leq 100$	100
M9.	$\geq 150$	20
	120	50
	90	70
	$\leq 70$	100
M10.	$\leq 20$	10
	40	30
	60	50
	$\geq 100$	100

Na Tabela 4.4 são apresentados os valores relativos ao cáculo do nível Seis Sigma para as duas oficinas segundo a aplicao da *Six Sigma Maintenance Scorecard*.

Tabela 4.4 - Determinação do nível Seis Sigma para a filosofia Manutenção Seis Sigma (Maintenance Scorecard).

Indicadores medidos	$P_n$	Eiriz		Lamego	
		$D_n$	$IDMP_n$	$D_n$	$IDMP_n$
M1.	20	62	12.4	47	9.4
M2.	10	100	10	100	10
M3.	10	31	3.1	88	8.8
M4.	10	31	3.1	28	2.8
M5.	5	49	2.5	47	2.4
M6.	5	100	5	100	5
M7.	5	100	5	100	5
M8.	20	25	5	59	11.8
M9.	10	48	4.8	53	5.3
M10.	5	100	5	100	5
Cálculos					
<i>IDM</i>	55.9 %		65.5 %		
<i>DPU<sub>M</sub></i>	0,5816		0.4231		
<i>Número de carros ao serviço (número médio de equipamentos por linha de produção)</i>	124		188		
<i>DPMO</i>	4693		2250		
Nível Seis Sigma equivalente	4.10		4.36		
Fator de correção	0.55		0.45		
Nível Seis Sigma corrigido	4.65		4.81		

O fator de correção proposto por Cabrita foi usado neste trabalho pelo que foi necessário o seu cálculo. Tendo e conta que as oficinas apresentam um número médio de veículos diferente, calculou-se um fator de correção para a oficina de Eiriz e outro para a oficina de Lamego,

obtendo-se, respetivamente, 0,55 e 0,45 sigmas como fatores de correção como se pode verificar na Tabela 4.4.



# Capítulo 5: Conclusões

Neste capítulo serão comentados os valores de nível Seis Sigma calculados para cada uma das oficinas do grupo Transdev Portugal.

## 5.1 Generalidades

Tal como referido ao longo desta dissertação a manutenção nasce da necessidade de manter os bens em bom estado de conservação e funcionamento, sendo até feita, inicialmente, de forma inadvertida. Evoluiu ao longo dos tempos e várias circunstâncias fizeram com que atingisse um patamar tal de importância que lhe permite hoje em dia estar presente nas tomadas de decisão globais das organizações.

Da função manutenção fazem parte políticas e filosofias que vão desde as mais básicas ações de reparação depois da ocorrência de avarias até processos complexos de avaliação que permitem prever e prevenir com grande acerto possíveis complicações.

Para uma empresa que necessite de alta fiabilidade e disponibilidade, a correta manutenção associada, por exemplo, ao modelo TPM torna-se essencial. Posteriormente, numa atitude de melhoria contínua, passa a existir a necessidade de avaliação do desempenho da função manutenção entrando em cena filosofias de análise como a Seis Sigma.

Esta filosofia apresenta-se como uma prática fortemente disciplinada de melhoria contínua podendo ser aplicada a diferentes áreas. Gupta [22] adaptou-a à *Balanced Scorecard* criando a *Six Sigma Business Scorecard* que permite, ao mesmo tempo, avaliar e apresentar propostas de melhoria contínua através de uma ampla rede de indicadores de desempenho.

O professor Cabrita alia a ideia de Gupta à função manutenção, desenvolvendo esforços nessa área e surge então a *Six Sigma Maintenance Scorecard* [24] [29]. Esta ferramenta torna-se desde logo capaz de avaliar eficazmente a função manutenção, apresentar oportunidades de melhoria contínua e fazer comparações diretas com outras organizações através do nível Sigma. É adaptável, na medida em que, quer a quantidade quer o tipo de indicadores de desempenho e até o peso e rácio dos mesmos, entre outros aspetos, podem e devem ser alterados consoante as necessidades e objetivos de cada organização

## 5.2 Análise de resultados

Para o cálculo do nível Seis Sigma nas oficinas em causa foi necessária alguma adaptação da filosofia *Six Sigma Maintenance Scorecard*. Se bem que alguns dos trabalhos relacionados já

tratavam da avaliação da função manutenção, estes, referiam-se à manutenção industrial. No caso de uma frota de veículos existem diferenças que tiveram de ser colmatadas, assim, os 10 indicadores selecionados apresentam agora informação relacionada com os custos por Km percorrido, número e duração das OT's, custos com peças, colaboradores etc. Já no cálculo final do nível Seis Sigma, alterou-se o número médio de equipamentos por linha de produção para o número médio de veículos na frota.

O período temporal usado foi de 1 ano. Inicialmente era suposto ser por um período mais curto, apenas durante a presença na empresa, mas acontece que existem algumas sazonalidades que poderiam levar a valores de desempenho desfasados da realidade.

Pode então afirmar-se que:

- O nível Seis Sigma calculado para cada uma das oficinas, segundo a metodologia *Maintenance Scorecard*, é de 4,10 na oficina de Eiriz e 4,36 em Lamego. Aplicando o fator de correção proposto na parte 3 deste trabalho, os valores sobem ligeiramente para, respetivamente, 4,65 e 4,81.
- Tendo em conta que as duas oficinas pertencem ao mesmo grupo e têm objetivos de manutenção idênticos, esperavam-se valores também eles semelhantes. A diferença prende-se em 0,16 sigma quando se aplica o fator de correção, pelo que acontece o esperado.
- A diferença verificada pode dever-se, por exemplo, ao diferente número de viaturas que compõem a frota das duas oficinas. Em Eiriz existem cerca de 124 veículos enquanto que em Lamego esse número sobe para 188 e, geralmente para valores idênticos em termos de indicadores, quanto maior o número médio de equipamentos, mais alto será o nível Seis Sigma.
- Pode mesmo dizer-se que, além de permitir diferenciar melhor os bons dos maus desempenhos, o fator de correção proposto por Cabrita permite diluir a diferença provocada pelo maior número de veículos da oficina de Lamego. Neste caso, o fator de correção, diminui a diferença de 0,26 para apenas 0,16 Sigma entre as duas oficinas.
- Ao usar-se como termo comparativo os 30 grupos afiliados do índice Dow 30 que atingem no máximo 4,02 Sigma e, em termos médios 3,62, pode considerar-se que as oficinas do grupo Transdev apresentam resultados mais positivos. É preciso salientar que o trabalho de cálculo dos níveis Seis Sigma feito por Gupta [22] data já de 2004 pelo que atualmente esses valores podem diferir ligeiramente.
- Comparando com trabalhos mais recentes [30] [34] [35] os valores Seis Sigma destes são, respetivamente, 5,40, 3,45 e 4,51. Pode afirmar-se que, ainda assim, o desempenho das oficinas em estudo é bastante satisfatório ficando acima da média e não muito longe do desempenho mais elevado e conseguido na Delphi Guarda (5,40), onde existem já excelentes métodos de produção e manutenção em execução.

Analisando indicador a indicador percebe-se que, de forma geral, as oficinas se equiparam, podendo-se aferir o seguinte:

- No indicador M1, a oficina de Eiriz sobressai com um custo por km percorridos menor que o da oficina de Lamego. Ainda assim nenhuma das duas apresenta o nível máximo de desempenho, pelo que existe oportunidade de melhorar neste campo.
- Os indicadores M2, M6, M7 e M10 colocam ambas as oficinas em bom plano. As duas cumprem com o objetivo delineado desde o custo com o pessoal interno de manutenção até aos tempos de manutenção.
- O indicador M3 apresenta um desfasamento grande entre as duas oficinas. Apesar de gastar menos em serviços externos, a oficina de Eiriz está mais longe do objetivo delineado, e por isso é prejudicada neste indicador. Quanto a Lamego, o valor calculado é muito próximo do previsto em termos de gastos, pelo que apresenta um resultado positivo.
- Nos casos dos indicadores M4 e M5 as duas oficinas apresentam valores muito idênticos. Em M4, os Km necessários para gerar uma OT são 1970 para a oficina de Eiriz e 1850 para a de Lamego. Em M5 as resoluções de avarias andam, em média, pelas 3h20 em ambas. Apesar de valores idênticos, em nenhum dos indicadores o desempenho é muito elevado, podendo então ser melhorada a performance na resolução de avarias e no controlo dos veículos para que existam menos problemas a serem reportados e consequentemente menos OT's por Km.
- O indicador M9 refere-se aos custos com materiais de manutenção, nomeadamente peças de substituição. Neste caso, a oficina de Eiriz apresenta um resultado mais positivo sendo que gasta um valor muito próximo do previsto, enquanto que em Lamego existe alguma diferença para esse mesmo valor. A diferença existente em Lamego pode ficar a dever-se ao fato desta oficina recorrer com mais frequência a serviços externos e por isso estar a gastar menos em peças e mais nos serviços.
- No caso do indicador M8 a diferença é substancial. Em Eiriz o número de falhas por Km é maior do que Lamego o que leva a uma grande penalização no cálculo do Seis Sigma. Importa referir que estas falhas são aqui consideradas como manutenção corretiva de urgência e acarreta vários custos para a empresa, sendo um dos mais importantes indicadores a considerar na definição das ações a implementar com vista a melhorias do desempenho da função manutenção.

### **5.3 Recomendações para trabalhos futuros**

Em termos de trabalhos futuros há a destacar o aprofundamento deste trabalho com dados mais técnicos, indicadores mais precisos e a possibilidade de comparar vários períodos entre si de forma a perceber-se a evolução do desempenho.

Outro trabalho interessante passaria pela comparação direta com outras empresas do setor, uma vez que permitiria determinar com mais garantias o bom desempenho e consequente nível Seis Sigma da função manutenção do grupo Transdev. Esta ferramenta serviria ainda como processo de *benchmarking* de forma a encontrar as melhores práticas do setor.

Existem pontos menos positivos como os custos associados à implementação destas ferramentas e os recursos humanos necessários e dedicados a esta função. Assim, a sua contabilização permitiria saber se os ganhos se sobrepõem aos custos de forma a que seja possível recuperar o investimento feito e daí obter lucro.

# Referências

- [1] Instituto Português da Qualidade, *NP EN 13306:2007*, 2007.
- [2] D. Johnson P, *Principles of Controlled Maintenance Management*, Georgia: The Fairmont Press Inc, 2002.
- [3] J. P. S. Cabral, *Organização e Gestão de Manutenção*, Lidel, 2006.
- [4] A. J. M. Cardoso, *Diagnóstico de Avarias em Motores de Indução Trifásicos*, Coimbra: Coimbra Editora, 1991.
- [5] K. A. H. Kobbac e P. Murthy D. N., *Complex System Maintenance Handbook*, Londres: Springer , 2008.
- [6] A. J. Duarte Dias, *Estudo da Interação de Filosofias de Planeamento da Produção com a Manutenção Industrial*, Covilhã, 2010.
- [7] C. V. Pinto , *Organização e Gestão da Manutenção*, Monitor, 2002.
- [8] E. Bivona e G. Montemaggiore, “Evaluating Fleet and Maintenance Management Strategies through System Dynamics Model in a Cyti Bus Company,” Boston, 2005.
- [9] J. P. Cabral, *Organização e Gestão da Manutenção, dos conceitos à prática.*, Lisboa: Lidel, 2006.
- [10] C. M. Cabrita, *Manutenção Industrial Terminologia Indicadores de Desempenho*, 2010.
- [11] C. Fernandes, *Propostas de novas filosofias e novas práticas em manutenção industrial: estudo de casos*, Covilhã, 2013.
- [12] M. S. M. Saraiva, *A importância da Norma na implementação de Sistemas de Gestão da Manutenção na integração de Sistemas de Gestão*, Covilhã, 2010.
- [13] T. Pyzdek, *The Six Sigma Revolution*, 2000.
- [14] D. Montgomery e W. Woodall, “An Overview of Six Sigma,” *International Statistical Review*, pp. 329-346, 3 Dezembro 2008.

- [15] P. M. C. S. Vaz, *Manutenção Industrial Seis Sigma. Bases Estatísticas, Metodologias, Caso Prático de uma Multinacional do Setor Automóvel*, Covilhã , 2009.
- [16] J. N. O. Filipe, *The Current Paradigms and Methodologies of Continuous Improvement*, Covilhã, 2016.
- [17] M. Lobo, *O Lena Six Sigma Aplicado aos Transportes e Logística*, Setúbal, 2017.
- [18] C. P. Cabrita, *Caracterização das Filosofias Lean Production, Six Sigma, Lean Sigma e Lean Maintenance*, Covilhã.
- [19] “Wikipedia,” [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Six\\_Sigma](https://en.wikipedia.org/wiki/Six_Sigma). [Acedido em 2 Julho 2019].
- [20] C. P. Cabrita, “Filosofias Produção Magra, Seis Sigma, Sigma Magra e a Importância da Manutenção Industrial,” *Manutenção*, pp. 14-25, 17 Setembro 2015.
- [21] A. J. I. d. S. Silva, “Aplicação da Six Sigma Maintenance Scorecard a uma Unidade Fabril do Setor Agroalimentar,” *Dissertação de Mestrado*, Covilhã, 2013.
- [22] P. Gupta, *Six Sigma Scorecard. Ensuring Performance for Profit*, New York: McGraw-Hill, 2004.
- [23] I. Baas, *Six Sigma statistics with Excel and Minitab*, New York: McGraw Hill, 2007.
- [24] C. P. Cabrita, “Manutenção Industrial Seis Sigma,” *Revista Manutenção*, 2009.
- [25] C. P. Cabrita, “Contribuição para o Entendimento das Bases Probabilísticas e Estatísticas da Filosofia Seis Sigma. Caracterização da Sic Sigma Business Scorecard,” *Revista Manutenção*, 2009.
- [26] C. P. Cabrita, “Filosofia de Gestão Six Sigma Business Scorecard”.
- [27] F. Filardi , D. Berti e V. Moreno, “Implementation analysis of Lean Sigma in IT applications. A multinational oil company experience in Brazil,” 2015.
- [28] A. K. R. Pillai e A. Pundir, “Implmenting Integrated Lean Six Sigma for Software Development: A Flexibility Framework for Managing the Continuity: Change Dichotomy,” *Global Journal of Flexible Systems Managemente*, pp. 107-106, Junho 2012.

- [29] C. Cabrita, P. Vaz, D. Madeira, J. Matias e D. Fonseca, “Manutenção Industrial Seis Sigma. Proposta de Metodologia e Casos Práticos,” *Aceite para apresentação no 10.º Congresso de Manutenção, Figueira da Foz, 19-20 Novembro 2009*.
- [30] C. Cabrita, P. Vaz, D. Madeira, J. Matias e D. Fonseca, “Six Sigma Maintenance Scorecard. Aplicação a uma Unidade Fabril do Setor Automóvel,” *Revista Manutenção*, 2010.
- [31] C. P. Cabrita, “Contribuição para o Entendimento da Elaboração das Cartas de Desempenho das Filosofias Six Sigma Business Scorecard e Manutenção Industrial Seis Sigma”.
- [32] “Transdev.pt,” [Online]. Available: <http://www.transdev.pt/>. [Acedido em Agosto 2019].
- [33] Instituto Português da Qualidade, *NP EN 15341:2009*, 2009.
- [34] V. Morais, S. Sousa e I. Lopes, “World Congress on Engineering,” *Implementation of a Lean Six Sigma Project in a Production Line*, 1-3 Julho 2015.
- [35] P. C. d. S. Ferreira, *Seis Sigma aplicado à análise de defeitos na indústria de calçado*, Leiria: Dissertação de Mestrado , 2015.
- [36] “www.abe.gr/en,” [Online]. Available: <https://abe.gr/en/total-productive-maintenance/>. [Acedido em 16 Setembro 2019].