



ISEL
INSTITUTO SUPERIOR DE
ENGENHARIA DE LISBOA

**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE
LISBOA**

Área Departamental de Engenharia Mecânica



Implementação de Metodologia Lean na Gestão da Manutenção

ANDRÉ MANUEL PEREIRA FERNANDES

(Licenciado em Engenharia Mecânica)

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

Orientadores:

Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu

Doutor José Manuel Ferreira Calado

Júri:

Presidente: Doutor José Manuel Prista do Valle Cardoso Igreja

Vogais: Doutor Izunildo Fernandes Cabral

Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu

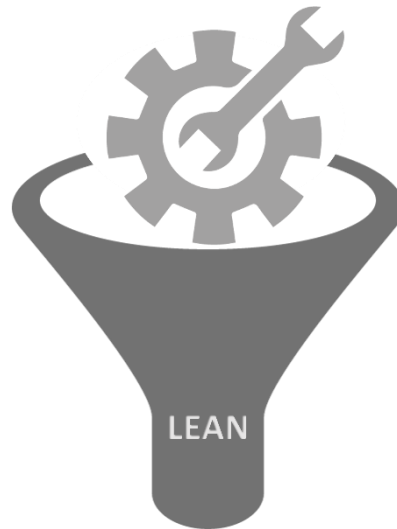
fevereiro de 2022



ISEL
INSTITUTO SUPERIOR DE
ENGENHARIA DE LISBOA

**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE
LISBOA**

Área Departamental de Engenharia Mecânica



Implementação de Metodologia Lean na Gestão da Manutenção

ANDRÉ MANUEL PEREIRA FERNANDES

(Licenciado em Engenharia Mecânica)

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

Orientadores:

Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu

Doutor José Manuel Ferreira Calado

Júri:

Presidente: Doutor José Manuel Prista do Valle Cardoso Igreja

Vogais: Doutor Izunildo Fernandes Cabral

Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu

fevereiro de 2022

Agradecimentos

Gostaria de expressar a minha gratidão a todas as pessoas que direta ou indiretamente fizeram parte desta etapa.

Aos orientadores da minha dissertação, Professor Doutor António Abreu e Professor Doutor João Calado pela disponibilidade demonstrada desde a primeira hora, pelas sugestões e por todo o apoio dado.

A todas as pessoas da Zagope que me permitiram desenvolver esta dissertação e que sempre me motivaram. Em particular ao Engenheiro Óscar Marques, Engenheiro Ilido Julião e Engenheiro Marco Sequeira, respetivamente Diretor de Obra, Diretor de Produção e Engenheiro responsável pela área de equipamentos.

Por fim, mas não menos importante, a toda a minha família e amigos, em especial aos meus pais e à minha irmã que sempre me apoiaram e incentivaram para concluir esta bonita etapa da minha vida.

Resumo

Com o passar dos anos os consumidores têm vindo a compreender cada vez melhor o papel ativo que desempenham no mercado da procura e oferta. Enquanto no passado os consumidores adquiriam o que estava disponível no mercado, independentemente do seu preço, atualmente é comum realizarem-se estudos de mercado que permitam identificar os produtos ou serviços capazes de satisfazer as necessidades e expectativas dos consumidores ao menor preço.

Este é presentemente o grande dilema das organizações. As organizações começaram a compreender que teriam de se reinventar para conseguir ir ao encontro dos seus clientes. Devido à elevada competição de preços, as organizações sentiram necessidade de reduzir os seus custos de forma a manterem a margem de lucro.

Surgiram então diversas metodologias que visam a redução de custos, nomeadamente o Pensamento Lean. Este, baseado em conceitos de melhoria contínua, procura otimizar os recursos das organizações, através da identificação e eliminação de desperdícios.

Tendo a sua génese no setor produtivo das organizações, o desafio passa agora por extrapolar estes ideais a outros setores, nomeadamente o setor de prestação de serviços. Dentro das próprias organizações existem áreas acessórias, como é o caso da manutenção, onde os conceitos Lean podem permitir a obtenção de maiores vantagens competitivas.

Esta dissertação procura desenvolver um modelo, apoiados em diversas ferramentas, que permita a implementação de metodologias Lean na gestão da manutenção. Este modelo, aplicado num caso de estudo, tem como objetivo introduzir o conceito de Manutenção Lean, de forma a aumentar a eficiência e eficácia da gestão da manutenção nas organizações.

Palavras-chave: Pensamento Lean, Melhoria contínua, Desperdícios, Manutenção, Manutenção Lean

Abstract

Over the years consumers have been realizing their active role on the demand and supply market. Whilst in the past consumers would purchase the items that were available, regardless of their price, nowadays it is common to carry out market research to identify the products or services that meet the consumers' needs and expectations at the most attractive price.

This is the great dilemma of organizations currently. Organizations began to understand they need to reinvent themselves to meet their clients' expectations. Due to a fierce price competition, organizations' focus has shifted to cost reduction so as to allow them to maintain their profit margin.

In this context several cost reduction methodologies, such as Lean Thinking, emerged. Based on concepts of continuous improvement, Lean Thinking seeks to optimize organizations' resources by identifying and eliminating waste.

Having its origins in the productive sector, the challenge nowadays is to adopt Lean Thinking to other areas, namely the areas of service rendering. Within the organizations, there are some support areas, such as maintenance, where Lean concepts would allow higher level results.

This dissertation seeks to develop a model, supported by several Lean tools, which allows the implementation of Lean methodologies in maintenance management. This model, applied in a case study, aims to introduce Lean maintenance concepts that would increase efficiency and effectiveness of maintenance management.

Keywords: Lean Thinking, Continuous improvement, Waste, Maintenance, Lean maintenance

Abreviaturas

DT – *Down-Time* (Tempo de paragem)

EN – Norma Europeia

FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis* (Análise dos Modos e Efeitos de Falha)

FTA – *Fault Tree Analysis* (Análise da Árvore de Falhas)

JIDOKA – Automação das máquinas com influência humana

JIT – *Just-In-Time*

KPI – *Key Performance Indicator* (Indicador Chave de Desempenho)

MCE – Manutenção Corretiva e Emergência

MCP – Manutenção Corretiva Planeada

MDT – *Mean Down Time* (Tempo Médio de Paragem)

MMLT – *Mean Maintenance Down Time* (Tempo Médio de Paragem relativo à Manutenção)

MTBF – *Mean Time Between Failures* (Tempo Médio Entre Avarias)

MTTO – *Mean Time To Organize* (Tempo Médio para Organização)

MTTR – *Mean Time To Repair* (Tempo Médio de Reparação)

MWT – *Mean Waiting Time* (Tempo Médio de Espera)

NP – Norma Portuguesa

NVA – *Non Value Added* (Sem Valor Acrescentado)

OEE – *Overall Equipment Efficiency* (Eficiência Global do Equipamento)

OS – Ordem de Serviço

PDCA – *Plan, Do, Check, Act* (Planear, Executar, Verificar, Atuar)

RCM - *Reliability Centered Maintenance* (Manutenção Centrada na Fiabilidade)

SIPOC - *Suppliers, Inputs, Process, Outputs & Customers* (Fornecedores, Entradas, Processos, Saídas e Clientes)

SMED – *Single Minute Exchange of Die*

TPM – *Total Productive Maintenance* (Manutenção Produtiva Total)

TPS – *Toyota Production System* (Sistema de Produção da Toyota)

VA – *Value Added* (Valor Acrescentado)

VOC – *Voice of Customer* (Voz do Cliente)

VSM – *Value Stream Mapping* (Mapeamento da Cadeia de Valor)

Índice

1.	Introdução.....	1
1.1.	Enquadramento	1
1.2.	Objetivos	1
1.3.	Estrutura.....	2
2.	Papel do Lean na manutenção	3
2.1.	Introdução ao Pensamento Lean	3
2.1.1.	Origem do Lean	3
2.1.2.	Princípios Lean Revistos	6
2.1.3.	Definição de Valor.....	7
2.1.4.	Desperdícios Lean	8
2.2.	Introdução à Manutenção.....	10
2.2.1.	Evolução da Manutenção.....	11
2.2.2.	Políticas de manutenção	12
2.3.	Manutenção Lean.....	14
2.3.1.	Manutenção Centrada na Fiabilidade	15
2.3.2.	Manutenção Produtiva Total	17
2.3.3.	Eficiência Global do Equipamento.....	20
2.3.4.	Indicadores de desempenho na manutenção.....	21
2.4.	Ferramentas e Metodologias Lean	23
2.4.1.	Voz do Cliente	23
2.4.2.	SIPOC (Suppliers, Inputs, Process, Outputs & Customers).....	24
2.4.3.	5S.....	25
2.4.4.	3M.....	26
2.4.5.	5 Porquês	27
2.4.6.	5W2H	28
2.4.7.	Fault Tree Analysis – FTA	28

2.4.8.	FMEA – Failure Mode and Effect Analysis	29
2.4.9.	VSM – Value Stream Mapping	31
2.4.10.	Kaizen	34
2.4.11.	Ciclo PDCA	34
2.4.12.	SMED	35
2.4.13.	Poka Yoke	36
2.4.14.	Relatório A3	37
3.	Modelo de implementação Lean na Manutenção	39
3.1.	Compreensão do estado atual	40
3.2.	Análise de Indicadores	40
3.3.	Definição de Planos de Ação	41
3.4.	Avaliação e discussão das alterações	41
4.	Caso de estudo - aplicação do modelo proposto	45
4.1.	A Empresa	45
4.2.	Contexto	46
4.3.	Implementação do modelo de implementação de metodologias Lean	47
4.3.1.	Compreensão do estado Atual	47
4.3.2.	Avaliação de fatores críticos	51
4.3.3.	Definição de Plano de Ação	60
4.3.4.	Avaliação e discussão das alterações	64
5.	Conclusões	67
	Referências bibliográficas	69

Índice de figuras

Figura 2.1- Ilustração da decomposição do TPS	5
Figura 2.2 - Modelo representativo das interações entre diferentes perspectivas de valor.	8
Figura 2.3 - Representação atividades com e sem valor acrescentado.....	10
Figura 2.4- Ilustração das Políticas de Manutenção	12
Figura 2.5 - Modelo de integração das políticas de manutenção na RCM.....	16
Figura 2.6 - Etapas implementação RCM.	17
Figura 2.7 - Representação dos 8 pilares do TPM.....	18
Figura 2.8 - Principais desperdícios nos equipamentos.....	20
Figura 2.9 - Representação OEE.	21
Figura 2.10 - Exemplo diagrama SIPOC aplicado a um departamento de manutenção.	24
Figura 2.11 - Ilustração 3M.	27
Figura 2.12 - Ilustração do processo associado aos 5 Porquês.....	27
Figura 2.13 - Representação análise de árvore de falhas genérica.	29
Figura 2.14 - Representação de um VSM geral.....	32
Figura 2.15 - Decomposição do MMLT.....	33
Figura 2.16 - Ciclo PDCA.	35
Figura 3.1 - Representação modelo proposto	39
Figura 4.1 – Representação projeto	46
Figura 4.2 - Organograma departamento de equipamentos.....	47
Figura 4.3 - SIPOC departamento de manutenção	50
Figura 4.4 - Distribuição tempos de pagarem em horas da Escavadora 1.....	55
Figura 4.5 - Aplicação da metodologia 5W1H para a Escavadora 1.....	55
Figura 4.6 - Representação posição correta de trabalho.....	55
Figura 4.7 - Intervenção de desacoplamento do equipamento	56
Figura 4.8 - Representação paragens para limpeza e fugas hidráulicas da Escavadora 1	56
Figura 4.9 - Aplicação da ferramenta FTA para identificação da causa fugas hidráulicas	57
Figura 4.10 - Distribuição tempos de paragem em horas da Escavadora 2.....	58
Figura 4.11 - Aplicação metodologia 5W1H para a Escavadora 2	58
Figura 4.12 - Aplicação da metodologia dos 5 Porquês? para a Escavadora 2.....	59
Figura 4.13 - Representação montagem acessório	62

Índice de tabelas

Tabela 2.1 - Classificação dos graus Severidade, Ocorrência e Detecção	30
Tabela 2.2 - Tabela genérica de análise FMEA.....	30
Tabela 2.3 - Ferramentas e Metodologias Lean	38
Tabela 3.1 - Processo do modelo proposto.....	42
Tabela 4.1 - Critérios de avaliação ajustados às diferentes áreas.....	48
Tabela 4.2 - Avaliação criticidade dos equipamentos.	49
Tabela 4.3 - Índice de aderência e cumprimento.....	51
Tabela 4.4 - Comparação do consumo de combustível das escavadoras com o padrão.....	52
Tabela 4.5 - Indicadores desempenho equipamentos críticos.	53
Tabela 4.6 - Análise apontamento dos equipamentos críticos.....	54
Tabela 4.7 - Resumo apontamento geral.	54
Tabela 4.8 - Plano de ação definido na reunião geral de 6wla.	60
Tabela 4.9 – Plano ação para avaliação paragens relativas a fugas hidráulicas em tubagem.	61
Tabela 4.10 - Análise da duração das operações para troca de acessório.	63
Tabela 4.11 - Plano ação departamental para a avaliação do tempo de troca dos acessórios.	63
Tabela 4.12 - Análise operações internas e externas para troca de acessório.	64

1. Introdução

1.1. Enquadramento

As constantes adversidades levam a que as organizações tenham necessidade de evoluir de forma a adaptarem-se às diferentes realidades. Com o passar dos tempos, as organizações começaram a sentir a necessidade de ter uma perspetiva interna de forma a compreender como poderiam evoluir para se manterem competitivas.

Assim, surgiram diversos conceitos, entre eles o Lean, que visam a melhoria interna. Com origem na produção, o Lean procura a maximização dos recursos e minimização de desperdícios ao longo da cadeia produtiva, de forma a reduzir custos desnecessários.

A presente dissertação surge para estimular a adoção deste conceito, e as suas metodologias e ferramentas a uma área, muitas vezes vista como acessória, mas que impacta de forma significativa a cadeia produtiva das organizações. A manutenção, tal como muitas outras áreas organizacionais, desempenha um papel fundamental nas organizações.

1.2. Objetivos

Pretende-se, com o trabalho desenvolvido, compreender não só a evolução da filosofia Lean, bem como o desenvolvimento da função manutenção. Só assim é possível atingir o objetivo principal desta dissertação que passa pela implementação dos princípios Lean na gestão da manutenção.

Para se alcançarem estes objetivos foi delineada a implementação de um modelo, baseado nos conhecimentos Lean, que visa permitir ganhos de produtividade na função manutenção. Este modelo, com influência nos ideais da melhoria contínua, procura estimular uma nova abordagem a uma área muitas vezes menosprezada no seio das organizações.

1.3. Estrutura

A presente dissertação está dividida em cinco capítulos.

Inicia-se com um capítulo introdutório que visa o enquadramento do trabalho realizado e os objetivos propostos.

No segundo capítulo é desenvolvida uma revisão bibliográfica dos conceitos Lean e de manutenção focados no surgimento e desenvolvimento dos mesmos ao longo dos anos. Este capítulo culmina com a aplicabilidade do Lean na função manutenção, sendo apresentadas diferentes ferramentas e metodologias Lean que podem ser aplicadas na mesma.

No terceiro capítulo, por sua vez, é desenvolvido um modelo que pretende estimular uma nova abordagem à gestão da manutenção. Este modelo, assente nos ideais Lean, tem como objetivo impulsionar a área da manutenção para índices de desempenho superiores.

No quarto capítulo é apresentado um caso de estudo de implementação do modelo proposto no departamento de manutenção de uma empresa de construção civil. Neste capítulo é possível verificar a vasta aplicabilidade das ferramentas Lean.

Por fim, no quinto capítulo são expostas as conclusões retiradas e propostos trabalhos futuros.

2. Papel do Lean na manutenção

2.1. Introdução ao Pensamento Lean

É nas adversidades que o ser-humano cresce e se adapta e assim foi o caso da família Toyoda. Após a Segunda Grande Guerra Mundial, através de Kiichiro Toyoda, a Toyota procurou reerguer-se das cinzas tendo como exemplo conceitos ocidentais, designadamente a linha de montagem que Henry Ford tinha desenvolvido (Liker, 2004). Juntamente com o engenheiro Taiichi Ohno, a Toyota procurou adaptar essas melhores práticas ao mercado japonês avançando assim para o sistema de produção da Toyota – *Toyota Production System* – TPS (Womack, J. P., & Jones, 2003).

2.1.1. Origem do Lean

O conceito de Pensamento Lean surge com a criação do TPS, com o intuito de mitigar os “mudas” (termo em japonês para o desperdício). Assim, o pensamento Lean prende-se com o objetivo de fazer cada vez mais, recorrendo a cada vez menos, de forma a dissipar qualquer desperdício que exista até ao cliente (Womack, J. P., & Jones, 2003).

O TPS é sustentado, como abordado por Liker (2004), por catorze princípios de gestão:

- Basear as decisões de gestão numa filosofia de longo prazo, mesmo que à custa de resultados financeiros no curto prazo;
- Criar processos/fluxos contínuos que permitam evidenciar os problemas existentes;
- Compreender a procura para evitar excessos de produção;
- Nivelar a carga de trabalho;
- Interromper os processos quando se é detetado um problema, de forma a resolvê-lo de imediato;
- Adaptar a padronização, sendo esta a base da melhoria contínua, bem como o *empowerment* das pessoas, dando-lhes mais poder e estimulando o seu o envolvimento;
- Recorrer a controlos visuais;
- Usar apenas tecnologia fiável que suporte as pessoas e os processos;
- Estimular o desenvolvimento de líderes que compreendam o *modus operandi* da organização e o transmitam aos demais colaboradores;
- Criar grupos de trabalho excepcionais que sigam a filosofia da sua organização;

- Respeitar e manter um bom relacionamento com todos os parceiros de forma a desafiarlos a melhorarem em conjunto;
- Compreender os problemas na primeira pessoa. (“Vá e veja por si e verdadeiramente perceba a situação” - *genchi genbutsu*);
- Ter em consideração todas as opiniões na procura pela tomada de decisões consensuais;
- Fomentar a criação de uma organização Lean através da reflexão e melhoria contínua.

O sistema TPS veio não só revolucionar a indústria em termos organizacionais, como é o caso da cultura de trabalho das organizações através dos catorze princípios enumerados, mas também na forma como estas começaram a priorizar os clientes.

A importância que foi dada aos clientes é facilmente visível através do aumento da variedade na oferta. Enquanto o sistema da General Motors estava assente na produção em massa de um único modelo de veículos, limitando assim a oferta, o TPS preocupou-se em diversificar, permitindo satisfazer as diferentes necessidades dos clientes através da produção de vários modelos (Liker, 2004).

Acrescentando a isto, Womack & Jones (2003), referem também que o TPS tem como objetivo organizacional a procura pela melhoria contínua através da eliminação de todo e qualquer desperdício em torno da produção, ou seja, tudo o que não acrescenta valor na conceção do produto. O TPS pode ser idealizado como uma casa, conforme ilustrado na Figura 2.1, sendo apenas viável se o telhado, os pilares e as fundações forem fortes. Liker (2004) realça que cada elemento é crucial, todavia é ainda mais importante a forma como eles se interligam entre si.

Na base de qualquer estrutura deve haver naturalmente estabilidade, e no TPS isso não é diferente. A estabilidade operacional permite que sejam incorporados dois pilares fundamentais para o sucesso deste sistema, *Just-in-time (JIT)* e *Jidoka* (Automação). Estes princípios permitem, não só que a organização eleve a qualidade dos seus produtos, reduzindo simultaneamente custos e tempos de processamento, mas também visam a vertente humana, dotando as pessoas de maior segurança e moral que estimulam o trabalho de equipa com o intuito de atingir uma melhoria contínua.

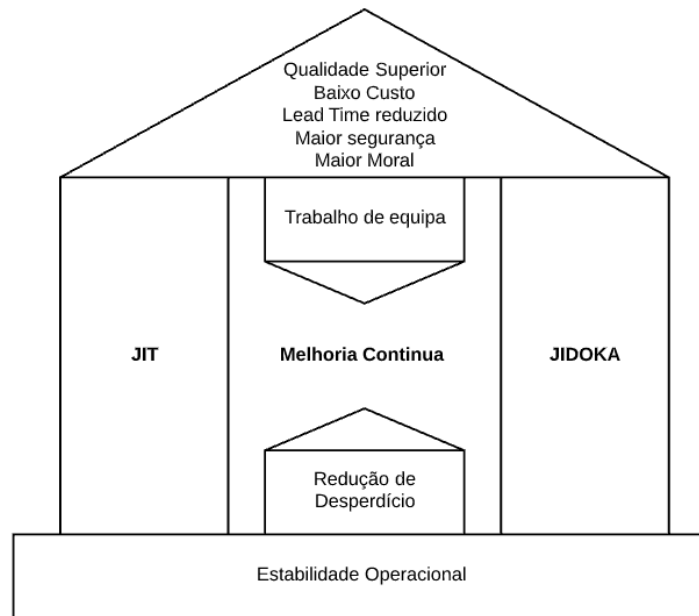


Figura 2.1- Ilustração da decomposição do TPS. Adaptado Liker (2004)

Ghinato (1995) refere que o JIT - *Just-in-time* é “uma verdadeira revolução” e uma “mudança de paradigma”. Motta (1996), ao analisar diversas publicações, encontra o JIT definido como filosofia, estratégia, sistema, entre outras, o que comprova que é difícil conceituar JIT. Contudo, Monden (2011), resume JIT à capacidade de ter os materiais necessários, nas quantidades desejadas, na altura certa, o que, segundo Liker (2004) significa remover tanto quanto possível o stock, idealizando o *one-piece flow*. Isto é, produzir apenas consoante as necessidades da procura, não possuindo um nível de stock significativo. Consequentemente, o JIT vai ao encontro do terceiro princípio do TPS, na adoção de um sistema *Pull*. Este sistema está assente nas necessidades explícitas do cliente. O mesmo é dizer que a produção é desencadeada pelas necessidades do cliente, não sendo produzidas as quantidades para além dessas necessidades, o que resulta num fluxo de materiais e informações contínuo.

Li (2003) refere que este sistema apresenta duas principais vantagens.

- O controlo de produção encontra-se dependente da procura, não sendo produzido nada mais do que é pretendido
- A possibilidade de motivar os colaboradores para a melhoria contínua, uma vez que permite uma maior facilidade na identificação de oportunidades de melhoria.

Numa ótica JIT, a remoção da barreira de segurança, que são os stocks, leva a que os problemas relacionados com questões de qualidade se tornem mais visíveis.

Tal reforça a importância do segundo pilar, *Jidoka* - palavra de origem japonesa que significa Automação e que permite a redução da variabilidade, através da padronização. Ghinato (2007) mostra-se surpreendido por não se dar a devida importância ao *Jidoka* já que muitos autores se referem ao JIT e a outras tantas técnicas, porém poucos mencionam o *Jidoka*, sendo este reconhecido pela própria Toyota como um pilar fulcral do TPS.

Ainda assim, Womack & Jones (2003) referem que esta Automação não deixa de ser refém da presença humana pois sempre que se deteta algum erro ou defeito qualquer elemento da organização tem poder para interromper instantaneamente a produção. Também Liker (2004) defende a paragem de toda a cadeia produtiva de forma a cessar a produção de unidades defeituosas devendo ser realizada, com a maior brevidade possível, uma análise conjunta para identificar e eliminar as causas das anormalidades. Assim, pode afirmar-se que os quatro princípios fundamentais do *Jidoka* são:

- Detecção de anomalias;
- Paragem do processo;
- Correção instantânea das anomalias;
- Análise e eliminação das causas .

2.1.2. Princípios Lean Revistos

No desenvolvimento do pensamento Lean, Womack & Jones (2003) afirmam que este está assente em 5 princípios que, uma vez enraizados nas organizações, permitem que estas atinjam ganhos de eficiência. Estes princípios são descritos por Hicks (2007) como:

- *Definir valor* - Definir valor segundo a perspectiva das partes interessadas, procurando ir ao encontro das suas necessidades e expectativas;
- *Identificar a cadeia de valor* – Identificar a cadeia de valor completa de determinado produto ou serviço, com o intuito de eliminar desperdícios que existam desde a aquisição da matéria-prima até à entrega do produto final ao cliente;
- *Otimizar os fluxos* – Fazer com que as etapas de criação de valor fluam naturalmente, sem interrupções;
- *Aplicar lógica Pull* – Ajustar a produção para disponibilizar ao cliente o que ele quer, quando ele quer;
- *Procura pela perfeição* – Procurar a perfeição, removendo continuamente quaisquer desperdícios que sejam identificados.

2.1.3. Definição de Valor

Definição de valor é o primeiro princípio da filosofia Lean e um dos mais importantes para a definição dos objetivos Lean. Slack (1999) refere que o conceito de valor pode variar segundo diferentes perspectivas, não sendo estanque à perspectiva do cliente final, e neste contexto Peralta et al. (2020) destacam a necessidade de conhecer as partes interessadas, visto o conceito de valor variar entre elas.

Na perspectiva do cliente, o valor de um produto ou serviço passa pela capacidade de:

- Satisfazer as suas necessidades;
- Estar disponível no momento em que é desejado;
- Ir ao encontro do custo que o cliente está disposto a despende.

Do ponto de vista dos trabalhadores, o conceito de valor passa pela remuneração que este recebe em função do trabalho e qualidade que lhe são exigidos podendo incluir compensações não monetárias.

Por fim, do ponto de vista da gestão de topo e dos acionistas, o conceito de valor é puramente económico, focando-se apenas na maximização de vendas e lucros.

Slack (1999) apresenta um modelo de interação entre as diferentes perspectivas de valor que se apresenta na Figura 2.2. Esta figura evidencia a interligação existente entre todos os conceitos de valor, destacando-se o impacto direto que os colaboradores da organização têm sobre as variáveis que contribuem para a criação de valor para o cliente. Por sua vez, a procura e o lucro têm consequências diretas sobre o valor económico. Naturalmente, quanto maior o valor percebido para os acionistas, maior será o investimento que estes estarão dispostos a realizar na qualidade de trabalho e remunerações dos colaboradores, bem como em melhorias produtivas, que visem o incremento de qualidade, que por sua vez se refletirá na satisfação do cliente.

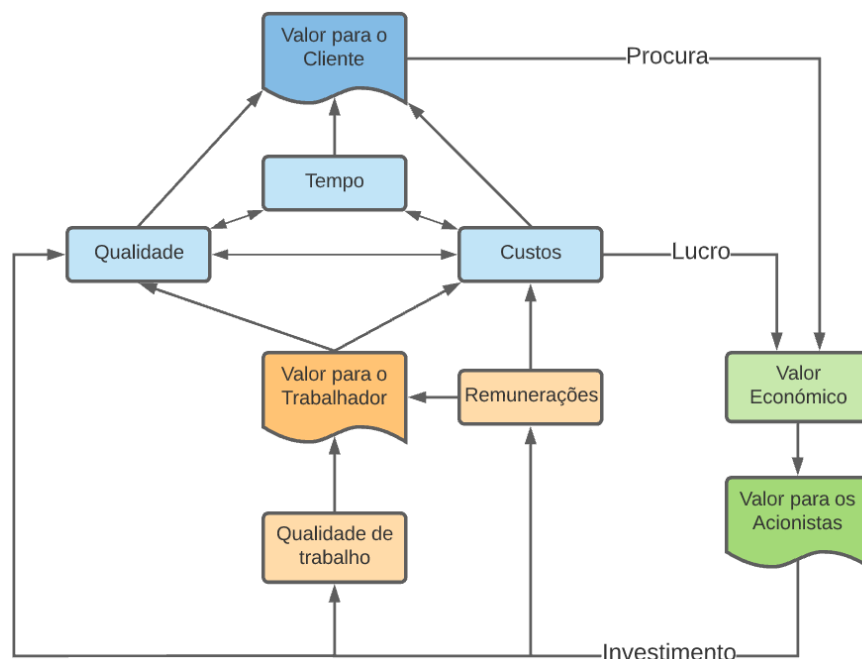


Figura 2.2 - Modelo representativo das interações entre diferentes perspectivas de valor. Adaptado de Slack (1999)

2.1.4. Desperdícios Lean

De forma a atingir a maximização dos recursos, surge o conceito *Muda*, termo japonês para desperdício, refere-se a qualquer atividade realizada e que, na perspectiva de qualquer parte interessada, não acrescente valor (Leksic et al., 2020). Os diversos *Mudas* consomem recursos e tempo, levando a que os produtos ou serviços sejam disponibilizados a um custo superior que o cliente não está disposto a pagar.

Ohno (1988) foi o primeiro a introduzir o conceito dos setes desperdícios associados ao Lean. O autor explica que uma das fases preliminares da aplicação do TPS – *Toyota Production System*, foi a identificação de todos e quaisquer desperdícios associados à produção, surgindo assim a lista dos Sete Grandes Desperdícios do Lean, também confirmados posteriormente por outros autores (Hicks, 2007; Mostafa, Dumrak, et al., 2015).

Sobreprodução

Desperdício que ocorre quando são produzidos produtos em excesso. Esta situação desencadeia um fluxo de materiais e informações irregular, que resulta no aumento do nível de stock. A sobreprodução opõe-se ao conceito *JIT* e acarreta diversos custos. As consequências da sobreprodução passam, a título de exemplo, pela ocupação de desnecessária de recursos e matérias-primas.

Tempos de espera

Associado ao tempo em que pessoas, equipamentos ou materiais estão num estado de espera. Este desperdício está associado a filas de espera ou a tempos não produtivos resultantes de:

- Falhas de provisionamento de materiais;
- Atrasos em processos a montante;
- Más definições de *layouts*;

Transporte

Locomoção desnecessária dos produtos pela fábrica, não sendo acrescentado qualquer valor. Este desperdício tem a particularidade de não poder ser completamente eliminado, contudo deve ser minimizado nomeadamente através de redefinições de *layouts* ou replaneamento;

Retrabalho

Maioritariamente devido a questões relacionadas com a qualidade. Desperdício que passa pela necessidade de repetir operações devido à identificação de defeitos em ações de inspeção;

Excesso de Stock

Engloba todo e qualquer inventário, seja produto concluído, em fabrico ou matéria-prima, que não é requerido pelas operações que estão a ser realizadas no momento. O excesso de inventário acumulado tem custos associados, quer de armazenagem, como de seguro;

Movimentação

À semelhança do transporte, o desperdício associado a movimentações refere-se ao movimento excessivo dos colaboradores e equipamentos, sendo resultado de más definições de *layout*, reprocessamento, sobreprodução, entre outros;

Defeitos

Produtos acabados que não estão de acordo com as expectativas dos clientes. Tal pode acontecer por má definição dos diferentes processos ou devido a colaboradores que não possuem qualificações adequadas para as atividades que desempenham.

No conjunto dos diversos desperdícios é importante distinguir entre os que são puro desperdício e que devem ser eliminados, daqueles que são considerados desperdícios necessários e que devem ser meramente reduzidos. Assim, conforme ilustrado na Figura 2.3, nem todas as atividades sem valor acrescentado podem ser eliminadas. Determinadas atividades, mesmo não acrescentando valor, são necessárias, como exemplo do transporte. Por mais que seja

minimizado, é por vezes impossível não se verificar a necessidade de movimentar qualquer material.

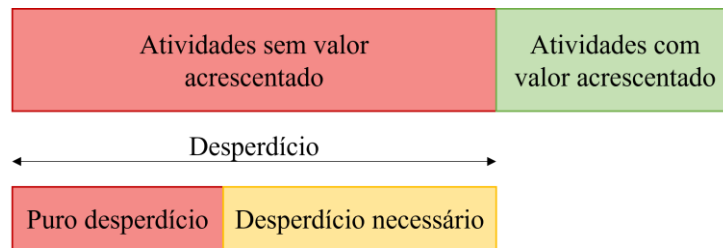


Figura 2.3 - Representação atividades com e sem valor acrescentado. Adaptado de Womack, J. P., & Jones (2003)

2.2. Introdução à Manutenção

O objetivo principal de uma organização é alcançar e manter uma vantagem competitiva estratégica. A diferença entre as diversas organizações prende-se na forma como estas abordam os seus subsistemas, funções e recursos que lhes permitem alcançar essa mesma vantagem. Ao longo dos anos, as organizações têm vindo a sentir a necessidade de coordenar as diferentes estratégias funcionais e corporativas, dando relevo a todas as áreas que as incorporam. A manutenção não é exceção. Muitas vezes vista como acessória, ou mesmo um mal necessário à função produtiva, a perspetiva das organizações face à função manutenção tem sofrido sucessivas adaptações, com vista a reforçar o seu papel na estratégia organizacional (Gomes et al., 2021).

Pinto (2013) defende mesmo que a função não deve ser entendida como se desempenhasse um papel de subalternidade, ao invés, a manutenção, independentemente da estrutura da organização, deve ter as suas atividades, competências e responsabilidades bem definidas de forma a evitar conflitos e sobreposições com outros departamentos.

De acordo com a norma NP EN 13306:2017, o conceito de manutenção passa pela combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão, durante o ciclo de vida de um bem, com vista à sua manutenção e reposição de um equipamento num estado em que este possa desempenhar a função para o qual foi concebido.

A gestão da manutenção, segundo a norma NP EN 13306:2017, passa por todas as atividades de gestão que determinam os objetivos, estratégias e responsabilidades relativas à manutenção. Estas atividades passam pelo planeamento, controlo e supervisão da manutenção.

2.2.1. Evolução da Manutenção

O conceito de manutenção tem sido adaptado ao longo do tempo. Mostafa, Lee, et al. (2015), referem que no passado a manutenção era uma atividade meramente reativa, estando limitada a ações corretivas quando um equipamento apresentasse anomalias. Com o desenvolvimento de métodos produtivos que exigiram equipamentos mais complexos, o paradigma mudou. Aspectos como a eficiência das atividades ou a segurança humana e ambiental levaram a que as organizações encarassem a manutenção de uma forma proactiva, passando a ser reconhecida como um elemento estratégico na geração de receitas para as organizações (Drozyner, 2020). Khazraei & Deuse (2011) acrescentam que a manutenção desempenha um papel fulcral em determinados elementos produtivos, como a qualidade dos produtos, requisitos de segurança e cumprimentos de orçamentos operacionais.

Moubray (1997) é um dos autores que destaca a evolução do conceito de manutenção, realçando três períodos distintos:

- *1ª Fase* – Período até à II Grande Guerra Mundial, durante o qual, não havendo mecanização da indústria, o período de paralisação devido à recuperação de falhas era menosprezado. O que mostrava que a prevenção contra eventuais falhas dos equipamentos não era uma prioridade para as organizações. Paralelamente, os equipamentos tinham arquiteturas simples e, muitos deles, eram superdimensionados, tornando-os fiáveis e de manutenção fácil. Assim, era desnecessária uma manutenção sistemática. Pinto (1994) refere-se a esta fase como a geração onde meramente se atuava corretivamente, reparando-se as avarias que surgiam.

- *2ª Fase* – Com o despoletar da II Guerra Mundial a mão de obra escasseou, e a procura de bens de todos os tipos aumentou, que levou ao aparecimento de métodos, como a mecanização, que colmatassem a falta de mão-de-obra e permitissem dar resposta à elevada procura que existia. Assim, por volta da década de 50, a indústria começava a estar refém de máquinas de todos os tipos.

Com a crescente dependência dos equipamentos produtivos, o tempo de paralisação das máquinas começou a ganhar relevo. Segundo Pinto (1994), neste contexto tornou-se pertinente, evitar as falhas dos equipamentos, surgindo então o conceito de *manutenção preventiva*. Por volta dos anos 60, este conceito consistia em revisões gerais dos equipamentos, realizadas em intervalos fixos.

À medida que a competitividade aumentou, as empresas começaram também a ter em consideração os custos com a manutenção, bem como os custos de associados às paragens dos equipamentos, levando ao aparecimento de sistemas de planeamento e controlo de manutenção.

- *3ª Fase* – Com o aparecimento de metodologias como o *just-in-time*, os períodos de paragem tornaram-se ainda mais importantes pois reduzem a quantidade produzida, aumentam os custos operacionais e interferem com o serviço prestado ao cliente. Posto isto, Pinto (1994) salienta a importância de prever falhas, o que pode ser conseguido com recurso à fiabilidade e disponibilidade dos equipamentos para o dimensionamento dos sistemas (Moubray, 1997). Em meados da década de 80 surgiu no Japão a *Total Productive Maintenance* – TPM, ou em português, Manutenção Produtiva Total, com o intuito de incentivar o trabalho em equipa e a participação de todos para atingir os objetivos de melhoria dos equipamentos (Sharma, 2012).

2.2.2. Políticas de manutenção

A evolução da manutenção despoletou o surgimento de diversas abordagens à função manutenção. Segundo a NP EN 13306:2017, a manutenção pode ser classificada de diferentes formas conforme a Figura 2.4.

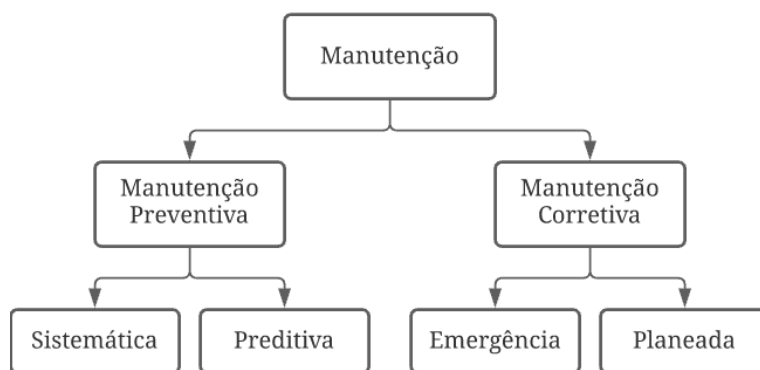


Figura 2.4- Ilustração das Políticas de Manutenção Adaptado de NP EN 13306:2017

Manutenção Preventiva – Manutenção levada a cabo com o intuito de avaliar, mitigar e reduzir a degradação e a probabilidade de falha de um bem ou equipamento. De um ponto de vista geral, a manutenção preventiva visa a redução de tempos de paragem imprevistos. Stenström et al. (2016) referem que a manutenção preventiva prevê que os equipamentos tenham um ciclo de vida conhecido, ou uma taxa de degradação mensurável.

Preventiva Sistemática – Manutenção preventiva realizada entre intervalos de tempo estabelecidos ou números de ciclos efetuados, independentemente da condição do equipamento.

Esta política é baseada no estudo da fiabilidade de um equipamento ou seus componentes. Sendo a fiabilidade descrita na NP EN 1330:2017 como a capacidade de um componente desempenhar a sua função sob determinadas condições para um determinado intervalo de tempo.

Preventiva Condicional ou Preditiva – Manutenção baseada no funcionamento de um equipamento, avaliando e monitorizando os parâmetros de funcionamento de forma a prever a ocorrências de falhas. Tiddens et al. (2020) menciona que esta política é muitas vezes referida como manutenção preditiva pois, através da análise de tendências e comparação de dados de funcionamento com valores-padrão, é possível antecipar o estado futuro do equipamento. Um dos objetivos da manutenção preditiva passa por fornecer a máxima fiabilidade e segurança a um sistema, recorrendo aos mínimos recursos possíveis (Huang et al., 2003).

Manutenção Corretiva – Manutenção realizada quando há conhecimento de uma falha e tem em vista o restauro de um item permitindo que este possa desempenhar a sua função requerida. A própria NP EN 13306:2017 distingue duas categorias de manutenção corretiva, a manutenção corretiva de emergência e manutenção corretiva planeada.

Corretiva de Emergência – Esta política é a forma mais antiga de manutenção que consiste em deixar o equipamento funcionar até à ocorrência de uma falha que impossibilite o equipamento de continuar a operar e repará-lo apenas nessa altura. Esta é a política de manutenção com maior facilidade de implementação, visto não necessitar de uma estrutura que a suporte. Para a implementação desta política apenas é necessário ter os meios materiais e humanos para desempenhar as funções requeridas.

Corretiva Planeada – Estratégia de manutenção que ocorre quando se identifica uma falha, ou se pretende corrigir ou adaptar um equipamento não sendo imperativo que a reparação seja realizada naquele exato momento, podendo ser estudada e planeada para ser executada posteriormente.

2.3. Manutenção Lean

A metodologia Lean, como abordado anteriormente, foi inicialmente desenvolvida com vista à aplicação na área da produção. Todavia, face aos resultados operacionais favoráveis obtidos, as organizações compreenderam que seria possível melhorar estes resultados expandindo esta metodologia às restantes áreas de apoio, nomeadamente a manutenção.

Inúmeros autores abordam o conceito de *Lean Maintenance* – Manutenção Lean, sendo que Baluch et al. (2012) o introduziu como um pré-requisito essencial para uma produção Lean com o intuito de mitigar os desperdícios a ela associada.

Numa ótica de melhoria contínua, a função manutenção pode ser tida em consideração através de alterações, aos ativos de uma organização que visem aumentar a eficiência do processo sem, no entanto, alterarem a sua função original (Dienst et al., 2015).

Baluch et al. (2012), Mostafa, Dumrak, et al., (2015) e Pinto (2013) são alguns dos autores mais críticos que defendem que esta filosofia apresenta os seus próprios desperdícios, pese embora alguns se assemelhem aos apresentados originalmente por Taiichi Ohno.

- *Manutenção improdutiva* – realização de ações de manutenção desnecessárias ou ineficazes e que não acrescentam valor;
- *Retrabalho* – necessidade de repetir operações mal executadas anteriormente;
- *Atrasos* – nomeadamente devido à falta de recursos materiais ou humanos para a execução de determinadas tarefas;
- *Movimentações desnecessárias* – movimentações tanto de pessoas como de ferramentas que não acrescentam qualquer tipo de valor;
- *Má gestão de inventário* – incapacidade de deter ferramentas ou componentes necessários na altura adequada;
- *Incorreta gestão de dados* – incapacidade de distinguir quais os dados de relevo que devem ser recolhidos para análise;
- *Subutilização dos recursos* – Pessoas ou equipamentos que não operam no máximo das suas capacidades.

Como supramencionado, existem atividades sem valor acrescentado que não podem ser eliminadas. Na manutenção é possível elencar algumas. Principalmente no âmbito de ações de manutenção corretiva, por vezes poderá haver uma incerteza quanto à causa da anomalia, o que pode levar a que seja necessário efetuar deslocações ao armazém para recolher algum

componente que necessite de uma substituição inesperada, ou deslocações à ferramentaria por não se ter previsto a necessidade de se utilizarem determinadas ferramentas específicas. A acrescentar a estes dois desperdícios, verifica-se ainda o desperdício com os *stocks*. Neste caso, é necessário efetuar uma correta gestão de forma a procurar otimizar os custos associados à posse de inventário, quando confrontados com os custos de paragem produtiva.

Tanto Pinto (2013), como Smith (2004) afirmam que a manutenção Lean tem por base uma postura pró-ativa quanto às atividades de manutenção planeada através das práticas do TPM, bem como das estratégias de manutenção centrada na fiabilidade (RCM – *Reliability Centered Maintenance*). De salientar que o RCM se distingue do TPM já que o RCM foca-se na melhoria da eficiência da manutenção, enquanto o TPM foca-se na fiabilidade dos equipamentos em si.

2.3.1. Manutenção Centrada na Fiabilidade

Com origem na indústria aeronáutica, a Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM – *Reliability Centered Maintenance*) pode ser definida como uma abordagem sistémica de determinação e otimização dos requisitos de manutenção dos diversos recursos (Gupta & Mishra, 2018).

Afefy (2010) afirma que, integrando as diferentes políticas de manutenção, é possível aumentar a probabilidade de um recurso desempenhar as funções requeridas ao longo do ciclo de vida do projeto, recorrendo ao mínimo de manutenção possível. Na mesma linha de pensamento, Lazecky et al. (2017) mencionam que o objetivo do RCM é a criação de uma estratégia de manutenção que auxilie a minimização dos custos operacionais totais enquanto a fiabilidade do sistema é maximizada.

Com o objetivo de maximizar a disponibilidade dos equipamentos e minimizar os custos, Catelani et al. (2020) desenvolveu um modelo que visa a integração das diferentes políticas de manutenção, nomeadamente Manutenção Preventiva Sistemática, Manutenção Preventiva Condicionada e Manutenção Corretiva. Na Figura 2.5 é ilustrado o a aplicabilidade que cada política pode ter na concretização de um modelo de manutenção centrada na fiabilidade.

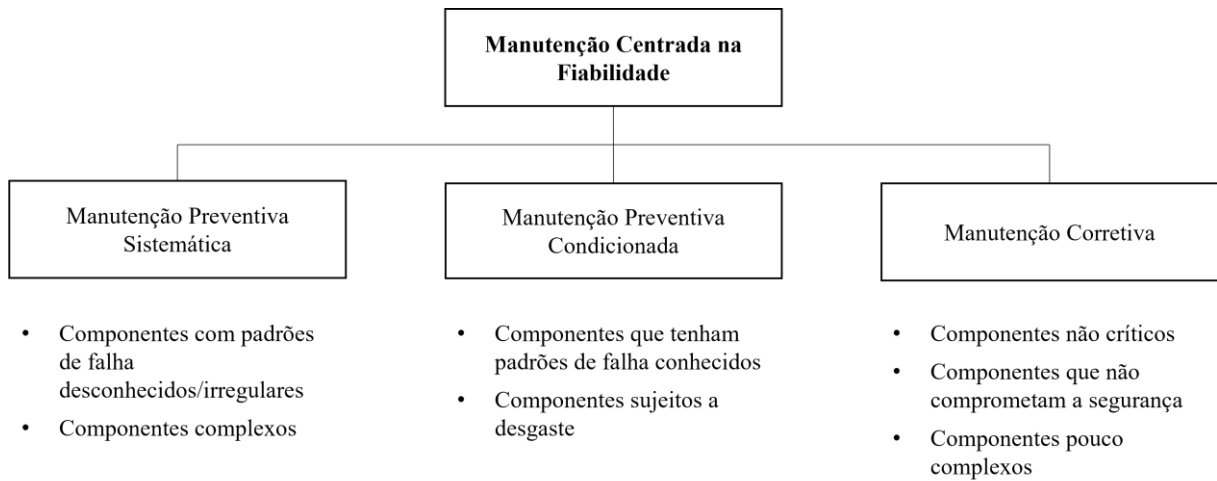


Figura 2.5 - Modelo de integração das políticas de manutenção na RCM. Adaptado de Catelani et. al (2020)

A norma SAE JA 1011:2009 descreve que, para qualquer processo se poder designar RCM, devem ser respondidas as seguintes questões:

- Quais são as funções requeridas e os valores padrão de desempenho do equipamento no contexto operacional atual?
- De que forma o equipamento pode deixar de desempenhar as suas funções?
- O que causa cada falha funcional?
- Qual a importância de cada falha?
- O que pode ser realizado para prevenir cada falha?
- O que pode ser feito na eventualidade de não ser possível uma ação pró-ativa de manutenção?

Zeinalnezhad et al. (2020) alertam que a fase de implementação do RCM é vital para o sucesso do mesmo. Assim, de forma a ir ao encontro das respostas às questões levantadas pela SAE JA 1011:2009 e se ser bem sucedido na implementação do mesmo, é necessário levar a cabo o conjunto de etapas expressas na Figura 2.6.

Primeiramente é necessário identificar as funções requeridas para os equipamentos em estudo, só assim é possível compreender as falhas que este pode ter. Após serem descritas as diversas falhas, estas devem ser estudadas com vista a reconhecer os seus modos, efeitos e consequências. Isto é, identificar a forma como a falha ocorre, se manifesta e a sua relevância. Nesta etapa é frequente recorrer-se a métodos de análise de risco, nomeadamente a Análise Modal de Falhas e Efeitos, que permitem definir ações preventivas passíveis de serem levadas a cabo de forma a eliminar ou reduzir a probabilidade de ocorrência das falhas em estudo.

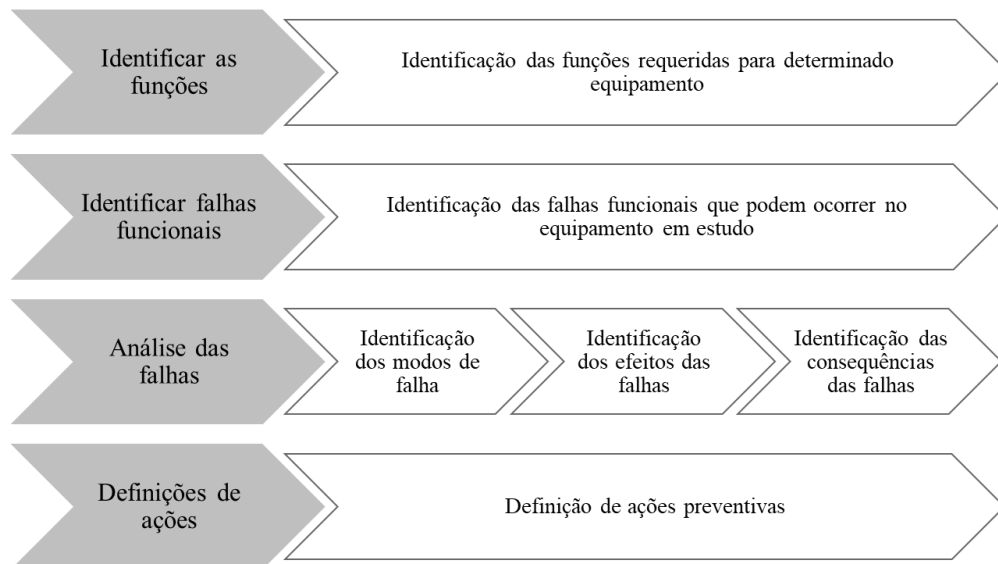


Figura 2.6 - Etapas implementação RCM. Adaptado de SAE JA 1011:2009

2.3.2. Manutenção Produtiva Total

Baluch et al. (2012) começam por introduzir a Manutenção Produtiva Total (*Total Productive Maintenance* -TPM) através da sua decomposição nas três palavras que a compõem. *Manutenção*, conforme descrito anteriormente, consiste na capacidade de manter os equipamentos em boa condição de funcionamento; *Produtiva*, pois pretende-se que esta seja executada durante a produção, minimizando ao máximo a perturbação desta; e por fim, *Total*, já que se refere a todos os aspetos e pessoas que têm intervenção, desde a gestão de topo até ao *genba*, termo em japonês para local de trabalho ou chão de fábrica.

Assim, e de acordo com Noon et al. (2000), o foco do TPM deve estar na otimização da eficiência dos equipamentos tendo em consideração a Eficiência Global dos Equipamentos - *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), cujo principal foco, segundo Willmott (1994) e Noon et al. (2000), é atingir zero defeitos, zero acidentes e zero paragens.

6 Dimensões

Baluch et al. (2012) definem, em concordância com muitos outros autores, nomeadamente Nakajima, reconhecido por ser o principal contribuinte para o TPM, seis elementos-chave do TPM que permitem identificar os principais objetivos do TPM:

- Maximização da eficiência e utilização dos equipamentos;
- Envolvimento de todas as funções da organização ligadas ao planeamento e utilização dos equipamentos e instalações para a implementação do TPM;
- Melhoria da eficiência e eficácia da manutenção;

- Promoção da melhoria do desempenho operacional;
- Desenvolvimento de sistema de manutenção produtiva tendo em consideração o ciclo de vida dos equipamentos;
- Promoção do TPM através da motivação e compromisso de todos os elementos, fazendo-os sentir-se parte ativa da organização.

8 Pilares TPM

Inúmeros autores abordam diversos modelos onde assentam os alicerces do TPM, sendo o modelo dos oito pilares ilustrado na Figura 2.7 o mais utilizado.

Rodrigues & Hatakeyama (2006) referem que cabe às organizações e às suas equipas a forma como estes pilares são implementados, afirmando que pode ser dada primazia a um deles em detrimento dos demais sendo que, no entanto, todos se revestem de elevada importância. Os oito pilares que estruturam o TPM são:

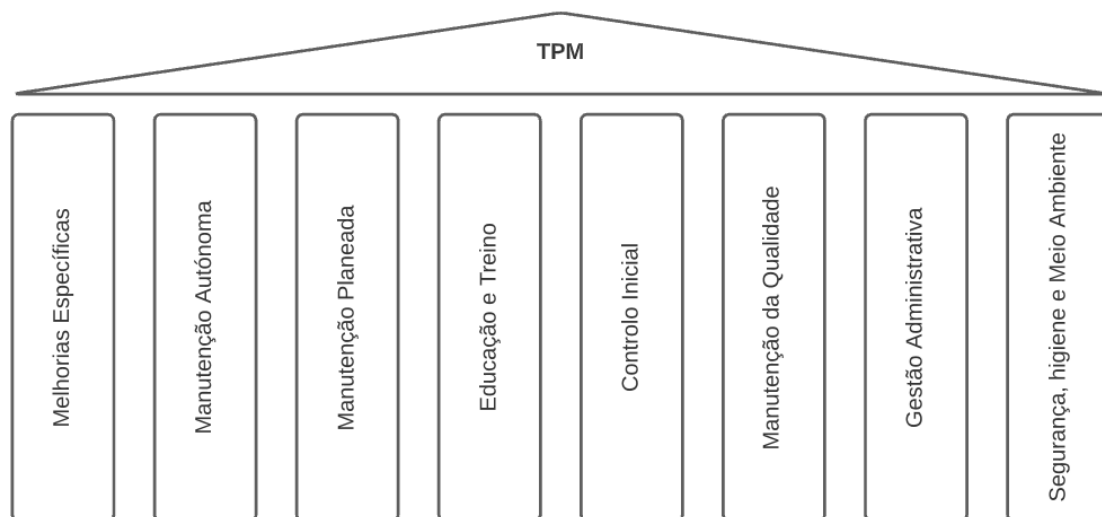


Figura 2.7 - Representação dos 8 pilares do TPM. Adaptado de Rodrigues & Hatakeyama (2006)

- *Melhorias Específicas* – melhoria contínua de forma a eliminar as perdas associadas ao TPM;
- *Manutenção Autônoma* – Processo de *empowerment*, através da delegação de poder aos colaboradores, fomentando a autogestão e controlo de acordo com a filosofia TPM. A manutenção autónoma estimula os colaboradores a apresentarem ações de melhoria aos processos em curso;

- *Manutenção Planeada* – Planeamento e controlo efetivo da manutenção, tendo sempre em vista a máxima disponibilidade de um equipamento para um nível ótimo de custo;
- *Educação e Treino* – Estimulação do relacionamento interpessoal, bem como a aquisição de conhecimento técnico. Este pilar visa a transmissão de conhecimento e competências entre colaboradores;
- *Controlo Inicial* – Consciencialização para a necessidade da realização de atividades de manutenção desde o momento inicial, tendo em consideração, a título de exemplo, o grau de dificuldade de determinadas ações de manutenção;
- *Manutenção da Qualidade* – Procura da obtenção de zero defeitos de forma a satisfazer as expectativas dos clientes. Devem ser definidos os requisitos mínimos e ações de inspeção para verificar se se está a ir ao encontro dos mesmos;
- *Gestão Administrativa* – Aplicação de conhecimento e ferramentas nos processos administrativos de apoio à manutenção, nomeadamente no planeamento, compras ou procedimentos de trabalho;
- *Segurança, Higiene e Meio Ambiente* – Estabelecimento de um sistema de saúde, segurança e meio ambiente sustentável, que vise a prevenção de acidentes para pessoas, equipamentos e ambiente.

Perdas TPM

Herry et al. (2018) referem que a baixa produtividade dos equipamentos poderá dever-se a seis principais perdas, que por sua vez influenciam fatores, como a disponibilidade, o desempenho e a qualidade, conforme ilustrado na Figura 2.8. A baixa produtividade dos equipamentos terá repercussões nomeadamente na disponibilidade dos equipamentos, no desempenho destes ou na qualidade da produção.

Ahuja & Khamba (2008) especificam que as perdas associadas à disponibilidade dos equipamentos podem-se dever à avaria destes, ou a perdas com tempos de *setup* e ajustes. Já as perdas inerentes à *performance* dos equipamentos devem-se a pequenas paragens ou a velocidades de produção reduzida. Por fim, as perdas relacionadas com a qualidade surgem de produtos que apresentam defeitos de qualidade e que necessitam de retrabalho, ou podem ainda resultar do baixo rendimento associado ao arranque dos equipamentos.

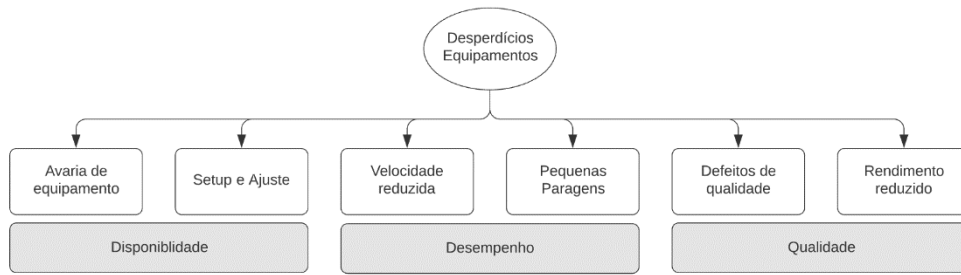


Figura 2.8 - Principais desperdícios nos equipamentos. Adaptado de Juran & Godfrey (1998)

2.3.3. Eficiência Global do Equipamento

A Eficiência Global do Equipamento (*Overall Equipment Effectiveness* - OEE) é um KPI - *Key Performance Indicator* – Indicador Chave de Desempenho introduzido por Nakajima. Este KPI foi desenvolvido como parte integrante do TPM, de forma a medir a produtividade de um equipamento (Corrales et al., 2020). Analiticamente, o OEE pode ser expresso como o rácio entre a produção real e a produção ideal (Eq. 1), ou alternativamente, como a fração de tempo em que o equipamento opera na sua capacidade e rendimento máximo (Eq. 2) (Braglia et al., 2009).

$$OEE = \frac{\text{Produção Real}}{\text{Produção Ideal}} \quad (1)$$

$$OEE = \frac{\text{Tempo de produção com valor acrescentado}}{\text{Tempo disponível para produção}} \quad (2)$$

Na Figura 2.9 é ainda apresentada uma terceira alternativa para o cálculo do OEE que consiste no produto da eficiência da disponibilidade, performance e qualidade (Eq. 3). Na mesma figura estão ainda mencionadas as perdas que impossibilitam OEE de atingir o seu valor máximo. O OEE é um valor compreendido entre zero e um, sendo que quanto mais perto este valor estiver de 1 (100%), maior será a eficiência do equipamento em estudo (Thorat & Mahesha, 2020).

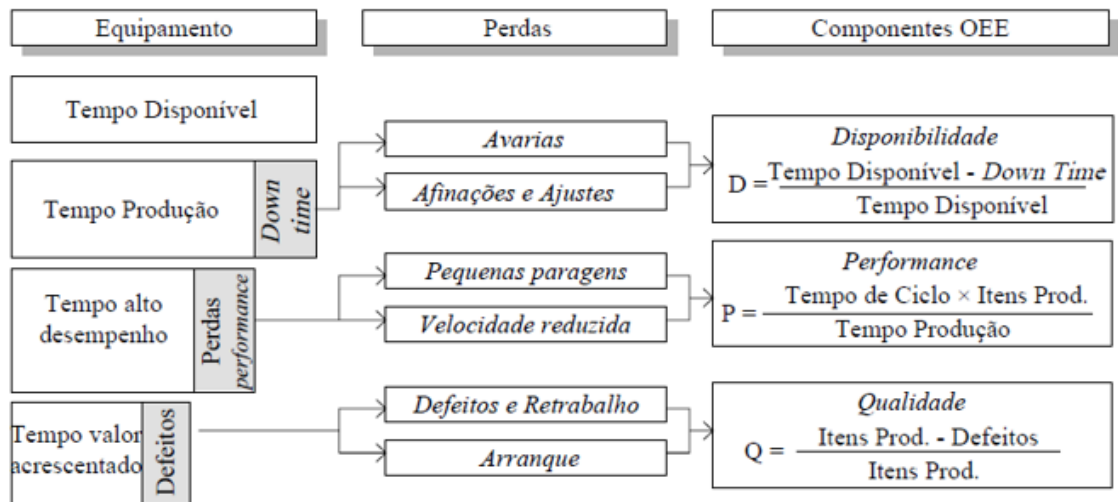


Figura 2.9 - Representação OEE. Adaptado de Braglia et al. (2017)

$$OEE = D \times P \times Q \quad (3)$$

O OEE tem a particularidade de não poder ser utilizado como medida do nível de eficiência de uma organização ou de um conjunto de processos, sendo apenas um indicador de eficiência de um equipamento isolado. Consequentemente, indicadores OEE de diferentes equipamentos não são comparáveis, poderão servir apenas para comparação dos valores do mesmo equipamento em diferentes períodos de tempo (Oechsner et al., 2002).

2.3.4. Indicadores de desempenho na manutenção

De forma a realizar-se uma gestão eficaz das ações de manutenção, a norma NP EN 15341:2007 apresenta um sistema de gestão de indicadores chave de desempenho. O desempenho da manutenção está, contudo, dependente de um elevado número de fatores internos e externos.

A NP EN 15341:2007 refere que os KPI's devem ser utilizados para determinar o estado atual da manutenção, comparando interna e externamente o processo através de *benchmarks* e diagnosticando forças e fraquezas de forma a identificar e definir objetivos alcançáveis com o recurso a ações de melhoria. Segundo a norma mencionada, os diversos indicadores estão estruturados, de acordo com os fatores que os influenciam, em três grupos distintos, nomeadamente fatores económicos, técnicos e organizacionais.

Salientam-se:

MTBF – *Mean Time Between Failures* – Tempo médio entre avarias. Tem a particularidade de apenas poder ser utilizado em componentes que podem ser reparados e deseja-se que este assuma o maior valor possível.

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Tempo total disponível} - \text{Tempo parado}}{\text{Número de avarias}} \quad (4)$$

MTTR – *Mean Time To Repair* – Tempo médio de Reparação. Deve-se procurar que este assuma o menor tempo possível, permitindo que as reparações sejam rápidas de forma a retomar a sua função o mais depressa possível.

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Tempo total de reparação}}{\text{Número de avarias}} \quad (5)$$

MWT – *Mean Waiting Time* – Tempo médio de espera de um equipamento desde o momento em que é imobilizado devido a uma avaria até ao momento em que se inicia a sua intervenção. A intervenção deve ser realizada o mais célere possível, eliminando este tempo de espera.

$$\text{MWT} = \frac{\text{Tempo total de espera}}{\text{Número de avarias}} \quad (6)$$

MDT – *Mean Down Time* – Tempo médio não produtivo de um equipamento. Resultado da soma do tempo médio de reparação com o tempo médio de espera.

$$\text{MDT} = \text{MTTR} + \text{MWT} \quad (7)$$

2.4.Ferramentas e Metodologias Lean

De forma a atingir todos os objetivos propostos de identificação e eliminação dos desperdícios, não perdendo de vista a criação de valor, é bastante útil recorrer-se a diversas metodologias e ferramentas assentes nos ideais Lean.

Uma implementação Lean não se pode basear na aplicação destas ferramentas e metodologias de uma forma isolada. Apenas aplicando diversas metodologias e ferramentas Lean poderá ser possível a obtenção de resultados positivos. Note-se que nem todas têm o mesmo propósito, sendo que algumas destas metodologias e ferramentas centram-se no diagnóstico de problemas, outras para identificação de desperdícios, existindo ainda um terceiro conjunto que se foca na criação de valor. De salientar também que alguma destas ferramentas podem ser utilizadas para mais do que um propósito, não estando estanque a apenas

A melhor implementação da filosofia Lean é aquela que incorpora diferentes ferramentas complementares entre si. Neste trabalho será apenas abordado um pequeno leque de ferramentas e metodologias visto serem estas que melhor sustentam o modelo proposto. Deve ter-se em consideração que a aplicação de uma ou outra ferramenta não constitui em si uma implementação do Lean numa organização, idealmente devem-se conjugar diferentes metodologias para estimular uma real mudança de paradigma.

2.4.1. Voz do Cliente

A Voz do Cliente (*Voice of Customer* - VOC) vai ao encontro dos princípios Lean de conhecer as partes interessadas e definir valor. Só sabendo quem se está a servir é possível ir ao encontro da satisfação das suas necessidades e expectativas. Grijalvo et al. (2020) defendem que atualmente não é suficiente apenas satisfazer as necessidades dos clientes, é também imprescindível compreender a sua importância. A perceção dos desejos do cliente permite identificar fatores críticos de sucesso de forma a nutrir a organização de vantagem competitiva.

Embora na área da manutenção, como referido anteriormente, se esteja frequentemente perante clientes internos, é fulcral compreender ainda assim as necessidades e expectativas dos departamentos ou organizações para quem se prestam serviços. As expectativas destas partes devem não só ser tidas em consideração no momento em que se vai prestar o serviço, como também posteriormente de forma a compreender se as exigências do cliente foram atendidas na sua totalidade ou se deverá haver lugar a melhorias, numa ótica de tirar lições - *Lessons Learned* (Found & Harrison, 2012).

A voz do cliente pode ser compreendida, a título de exemplo, através de técnicas como inquéritos de satisfação. Estes inquéritos devem ser concisos e objetivos para permitir que sejam apuradas as necessidades dos clientes de uma forma clara.

2.4.2. SIPOC (Suppliers, Inputs, Process, Outputs & Customers)

O diagrama SIPOC permite, como o próprio nome indica, dar a conhecer informação sobre Fornecedores, Entradas, Processos, Saídas e Clientes. De acordo com Marques & Requeijo (2009) esta ferramenta pode ser utilizada em qualquer momento do projeto, mas reveste-se de essencial utilidade numa fase inicial de diagnóstico.

A Figura 2.10 ilustra uma estrutura simplificada de um diagrama SIPOC relativa a um departamento de manutenção.

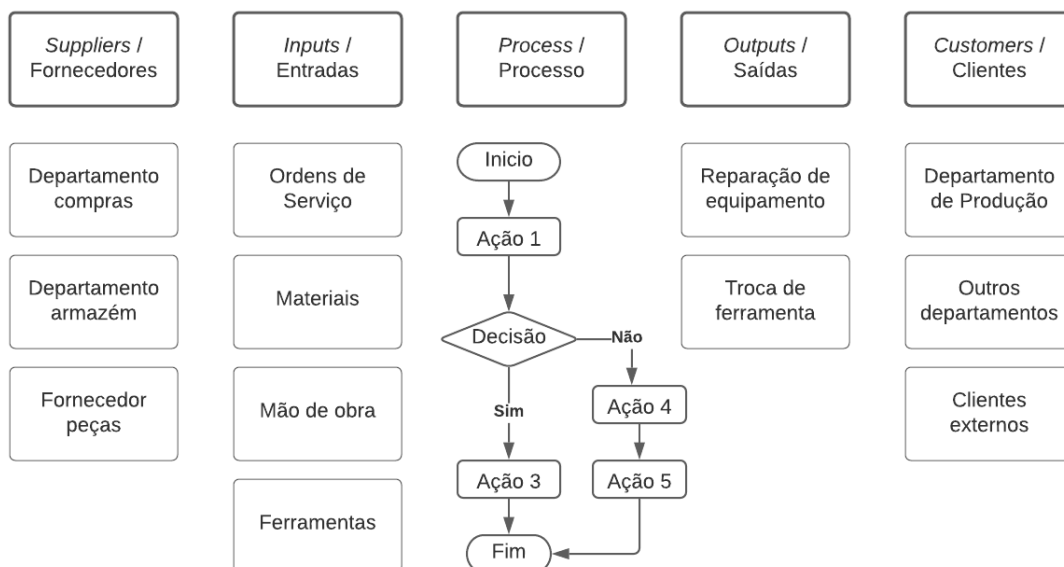


Figura 2.10 - Exemplo de um diagrama SIPOC aplicado a um departamento de manutenção. Elaboração própria

O conceito de fornecedor refere-se a pessoas, entidades ou departamentos que disponibilizam os recursos necessários para operar.

As entradas consistem, por sua vez, nos recursos que são necessários para que os processos possam ser executados. Estas podem tomar a forma de materiais, como peças e ferramentas, ou fluxos de informação, como por exemplo ordens de serviço.

O processo compreende um conjunto de ações levadas a cabo com o intuito de transformar diversas entradas em saídas com valor acrescentado.

As saídas são serviços ou produtos do resultado do processo. No caso da manutenção, estas poderão ser a reposição do bom estado de funcionamento de um equipamento, ou o ajuste de determinados parâmetros mais adequados ao que a organização necessita em determinado momento.

Finalmente, os clientes são a entidade que se está a servir. No caso da manutenção o cliente é maioritariamente o departamento de produção, contudo podem também ser outros departamentos da organização, ou inclusivamente clientes externos, caso a organização preste serviços externos (Pyzdek & Keller, 2003).

2.4.3. 5S

De acordo com Kareem & Talib (2015) o 5S é uma das técnicas mais consensuais e comumente adotadas com vista à melhoria do ambiente de trabalho. Van Patten (2006) refere que esta melhoria não só pode ocorrer em termos interpessoais, melhorando a comunicação entre as pessoas, mas também em termos operacionais, dotando as pessoas de competências para reduzir *down-times*, *lead times* e defeitos.

Esta técnica, também apelidada de método é composta por cinco etapas, resumidas por Padilla & Pekmezci (2011) como:

- *Seiri* – Organização

Etapla em que se devem separar todos os itens úteis dos inúteis. Apenas devem ficar no local de trabalho materiais, ferramentas e equipamentos que sejam verdadeiramente necessários. A identificação e remoção do local de trabalho de todos os itens desnecessários leva não só à criação de espaço disponível que pode vir a ser útil, como também previne que sejam utilizados numa função para a qual não foram idealizados. Isto permite não só uma maior eficiência, como acautela eventuais situações que possam colocar em risco a segurança dos utilizadores.

- *Seiton* – Arrumação

“*Um lugar para cada coisa e cada coisa no seu lugar*”. Para cada item que se considera útil, deve ser definido o seu lugar próprio, permitindo uma maior rapidez quando se procura por determinado item.

- *Seiso* – Limpeza

Etapla fulcral que permite identificar situações anormais. A remoção de lixo e detritos permite identificar de uma forma mais expedita qualquer mal funcionamento de um equipamento, como

é o exemplo de fugas que este possa ter. Se o local de trabalho estiver limpo é possível identificar facilmente qualquer derrame que exista.

- *Seiketsu* – Normalização

Esta é uma etapa fundamental para a redução de desperdício e da redução do erro humano. Estes aspetos podem ser controlados recorrendo a ajudas visuais ou a listas de verificações.

- *Shitsuke* – Autodisciplina

Etapa que tem como objetivo inculcar nos colaboradores boas práticas, procurando cumprir o estabelecido nas etapas anteriores.

Este é um método simples que necessita apenas do bom senso, sendo recomendada para todos os colaboradores, inclusivamente para a área administrativa da manutenção, de forma dotar esta de uma melhor organização.

2.4.4. 3M

Numa abordagem de identificação de desperdícios é fulcral considerar o *Heinjuke* – termos japonês para nivelamento. Isto é, é do interesse das organizações nivelar a carga de trabalho para a capacidade produtiva que estas têm. Uma organização terá perdas sempre que se verificar um desequilíbrio entre a carga e a capacidade. Para a gestão japonesa esta questão é expressa pelos 3M – *Muda*, *Mura* e *Muri* (Citeve, 2012).

- *Muda* – Conforme supramencionado, refere-se ao desperdício puro. Envolve tudo o que não acrescenta valor e que o cliente não estará disposto a pagar. Ocorre quando a carga é menor que a capacidade existente;
- *Mura* – Variabilidade. Prática que gera desperdício e que deve ser combatida através da adoção do sistema *pull*, onde apenas se produz o que é necessário. Ocorre quando não se é capaz de nivelar a capacidade e a carga, levando a que a carga varie entre excessiva e insuficiente em diferentes momentos;
- *Muri* – Excesso ou insuficiência irracional de carga. Uma forma de combater esta problemática é através da universalidade dos trabalhos, procurando garantir que estes sigam o mesmo processo de forma a evitar instabilidades e descontrolos. Ocorre quando a carga é excessiva comparativamente com a capacidade.

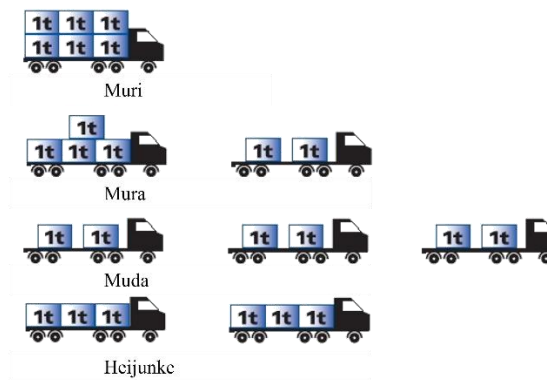


Figura 2.11 - Ilustração 3M. Adaptado de Lean Institute

2.4.5. 5 Porquês

Numa análise de identificação de desperdícios Ohno (1988) salienta que não só é essencial identificar os desperdícios, mas essencialmente as suas causas de forma a atuar sobre estas e prevenir que voltem a ocorrer.

Assim, este autor revela que a Toyota começou a implementar a metodologia dos 5 *Why's* – 5 Porquês. Esta metodologia consiste em perguntar sucessivamente, num mínimo de cinco vezes, o porquê de tal acontecimento se ter sucedido até desmistificar a sua origem.

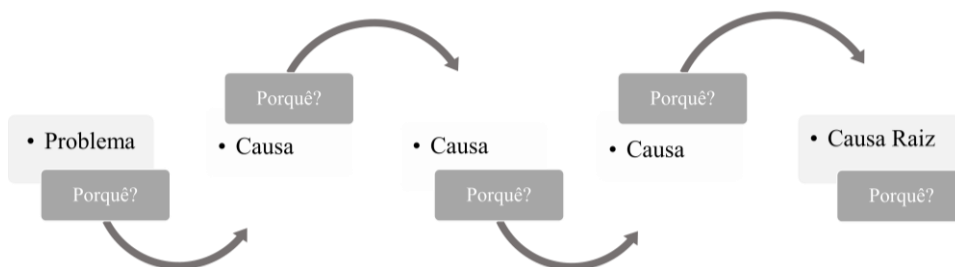


Figura 2.12 - Ilustração do processo associado aos 5 Porquês. Fonte: Elaboração própria.

A análise deve começar pela identificação de um problema e, para cada resposta obtida, deve ser sucessivamente questionado o motivo de ter acontecido de forma a entender com clareza e eficiência a causa-raiz. A análise acaba quando não houver mais respostas, sendo essa a causa raiz e para a qual deve ser estudada uma forma de prevenir a sua ocorrência (Braglia et al., 2017).

2.4.6. 5W2H

Esta é uma metodologia que pode ser vista sob dois prismas.

Autores como Shingo & Dillon (1989) apresentam 6 questões que auxiliam, tal como os cinco porquês, a identificar a raiz de determinado problema. Nomeadamente:

- 1W. Who – Quem tem o problema?
- 2W. What – Qual o problema?
- 3W. When – Quando é que o problema ocorre?
- 4W. Where – Onde se sucede o problema?
- 5W. Why – O porquê de o problema acontecer?
- 1H. How – Como resolver o problema?

Por sua vez, Longaray et al. (2017) adicionam a estas questões uma outra que permite priorizar as ações a tomar para solucionar a causa raiz previamente identificada. Este método permite uma rápida identificação dos elementos necessários para alcançar essa solução, podendo ser vista como um plano de ação que visa responder às questões:

- 1W. What? – O que será feito?
- 2W. Why? – Porque deverá ser executada determinada ação? Quais os motivos e os seus objetivos.
- 3W. Where? – Onde será realizada essa ação?
- 4W. When? – Quando deverá ocorrer a ação delineada?
- 5.W Who? – Quem será o responsável por desempenhar essa tarefa?
- 1H. How? – Como será o procedimento para atingir os objetivos estabelecidos?
- 2H. How Much? – Quanto custará a implementação dessa tarefa?

2.4.7. Fault Tree Analysis – FTA

A análise da árvore de falhas foi concebida em 1961 nos laboratórios Bell numa colaboração com a força aérea americana Halme & Aikala (2012). Segundo Knežević et al. (2020) a análise destas árvores de falhas é um dos métodos mais utilizados para rastrear as causas da ocorrência de determinada falha. Como é demonstrado na Figura 2.13, a análise da árvore de falhas passa pela representação, com recurso à lógica booleana, de potenciais cadeias de eventos que levam à ocorrência de determinado evento de nível superior. Nesta representação esquemática, o

evento de nível superior resulta da ocorrência da falha C ou do evento intermediário que por sua vez ocorre em consequência das falhas A e B.

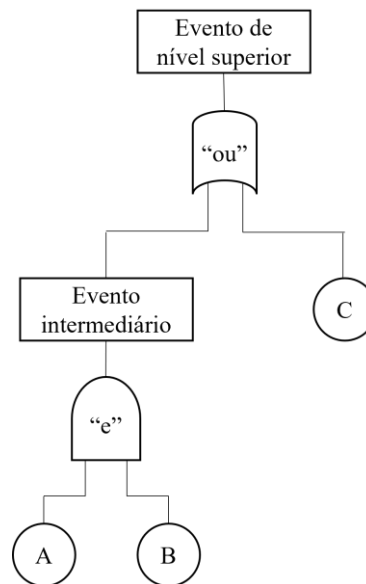


Figura 2.13 - Representação análise de árvore de falhas genérica.
Elaboração própria

Na área da manutenção esta é uma análise muito útil visto permitir identificar as causas para a ocorrência de determinada anomalia, levando a que, numa primeira fase se possa atuar corretivamente, repondo a correta operação, e, numa segunda fase atuar preventivamente, procurando soluções para essa cadeia de causas não voltar a ocorrer.

Numa ótica preventiva, de acordo com Halme & Aikala (2012), a estas árvores de falha, podem ser associadas probabilidades que permitam prever e atuar proactivamente na minimização da probabilidade de ocorrência de determinadas ações críticas que levem à falha principal.

2.4.8. FMEA – Failure Mode and Effect Analysis

A Análise Modal dos Modos de Falhas e Efeitos é uma das técnicas mais eficientes para a identificação e prevenção de problemas. Esta técnica é bastante útil numa organização Lean pois permite antever situações que podem acarretar custos elevados, como a paragem de equipamentos.

A análise FMEA consiste na identificação dos diferentes modos de falha de equipamentos ou seus componentes, as suas causas e as respetivas consequências tanto no equipamento como no sistema em que este está integrado.

Como expresso na Tabela 2.2, para cada falha identificada num determinado componente com uma determinada função, deve estar associada, pelo menos um modo de falha e uma consequência. Posteriormente deve ser atribuído os graus de (Souza & Álvares, 2008):

- Severidade (S) – nível de gravidade para cada um dos efeitos/consequências;
- Ocorrência (O) – nível de frequência de cada causa
- Detecção (D) – nível de capacidade de constatação da causa e/ou o modo de falha.

Cada um destes graus pode ser classificado numa escala numérica de 1 a 10 conforme os critérios da Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Classificação dos graus S, O e D. Adaptado de (Godina et al., 2021)

Grau	[1	→	10]
Severidade (S)	Imperceptível		Perigoso
Ocorrência (O)	Pouco provável		Muito provável
Detecção (D)	Muito provável		Pouco provável

O foco de atuação deve estar nas falhas que apresentam o maior Número de Prioridade de Risco – NPR (*Number of priority risk*), calculado pela equação (8 e que pode assumir valores entre 1 e 1000. Sendo que quanto maior o NPR, maior a importância que a respetiva falha assume (Godina et al., 2021).

$$NPR = S \times O \times D \quad (8)$$

Tabela 2.2 - Tabela genérica de análise FMEA. Elaboração própria.

Componente	Função	Modo(s) de falha	Consequência	S (1-10)	O (1-10)	D (1-10)	NPR

Após a análise dos diferentes NPR, deve ser delineado um plano de ação de forma a identificar ações que possam ser levadas a cabo para minimizar, ou mesmo reduzir a ocorrência das falhas identificadas. Neste plano de ação deve ainda ser definido um responsável e um prazo para implementação dessas ações.

2.4.9. VSM – Value Stream Mapping

O mapeamento da cadeia de valor, VSM, permite visualizar todas as ações que são levadas a cabo durante toda a fase de conceção de um produto ou serviço. De acordo com Rother & Shook (2003), o VSM permite ter uma visão global dos processos, não ficando restrita à sua análise individual.

Assim, o principal objetivo do VSM, segundo Rother & Shook (2003), passa não só pela identificação dos desperdícios, mas essencialmente das suas causas, eliminando as atividades sem valor acrescentado.

O VSM permite ainda ter em consideração tanto o fluxo de materiais como o de informação, o que possibilita a representação de um sistema real bastante complexo, num sistema simplificado através de um conjunto de símbolos padronizados. Esta simplificação permite uma maior facilidade de visualização e compreensão através de uma linguagem de comunicação universal (McManus & Millard, 2002).

Sawhney et al. (2009) referem que o VSM deve ser abordado em três etapas. A primeira deve passar pela seleção de um ou mais produtos ou serviços onde se pretende procurar uma potencial melhoria. De seguida, deve ser mapeado o estado atual de todas as tarefas que permitem a conceção desse produto ou serviço. Por fim, deve-se mapear o estado futuro, pretendido procurando remover todas as ineficiências.

Como é possível verificar no mapeamento simplificado da Figura 2.14, devem ser mapeados todos os processos e recursos necessários, bem como a movimentação de materiais, desde o fornecedor até ao cliente, passando pelos diversos processos. O fluxo de informação, por sua vez, segue o percurso inverso. A informação é transmitida na origem pelo cliente ao controlo de produção que por sua vez origina os *inputs* para os diversos processos e fornecedores. Este mapeamento é ainda complementado com a introdução dos tempos de processamento e de espera, que permite analisar as atividades de valor acrescentado e as que não acrescentam qualquer valor.

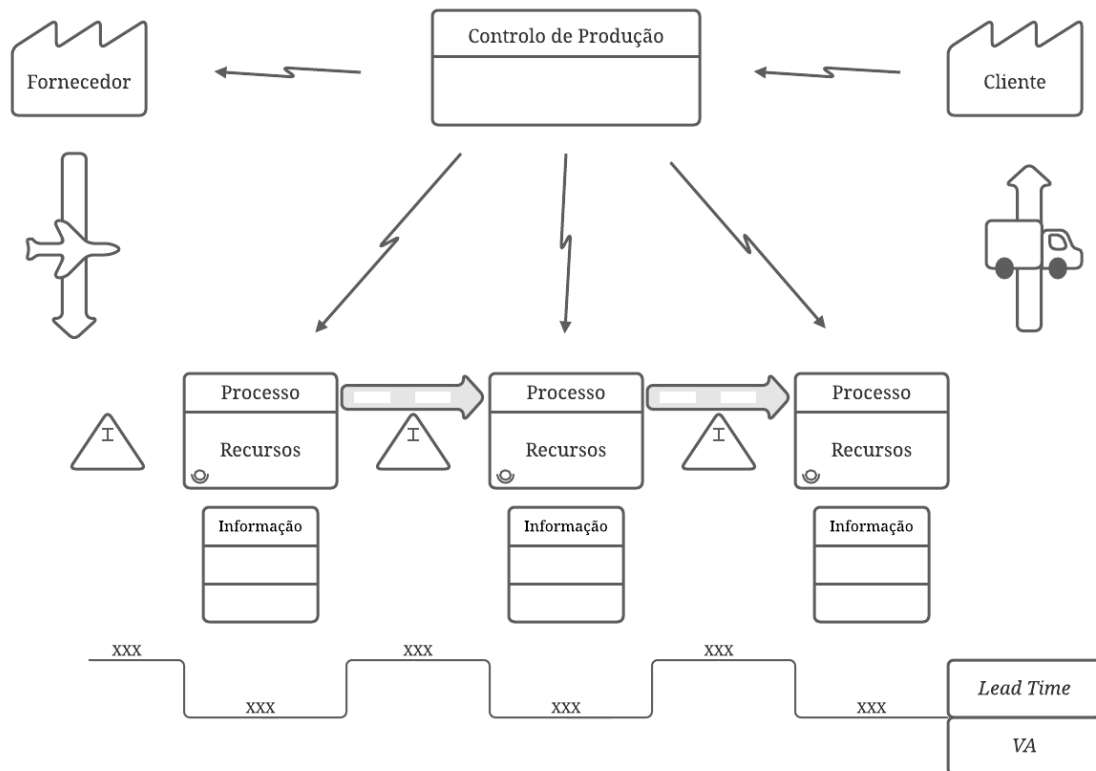


Figura 2.14 - Representação de um VSM geral. Elaboração própria.

Métricas VSM

De uma forma quantitativa, a análise do VSM passa pela identificação dos tempos das atividades de valor acrescentado (VA – *Value Added*), bem como das atividades sem valor acrescentado (NVA – *Non Value Added*). O objetivo é procurar aumentar a eficiência global do processo, reduzindo ao máximo as atividades que não acrescentam qualquer valor (Hartini et al., 2017).

No VSM torna-se necessário adotar métricas que sustentem as alterações que são realizadas, sendo para isso recorrentemente utilizado o *lead time*.

Pinto (2013) introduz o conceito de M-VSM – *Maintenance Value Stream Mapping*, que é em tudo igual ao VSM tradicional com a ressalva que no setor da manutenção, as ações de manutenção podem não ser regulares, caso não se esteja num ambiente de produção em série e que se verifique a necessidade de realizar ações de manutenção corretiva. Assim, no setor da manutenção utiliza-se o *Mean Maintenance Lead Time* (MMLT). O MMLT pode ser definido como o tempo entre o reconhecimento da necessidade de se realizar uma ação de manutenção

e o momento em que o equipamento retorna ao estado desejado de operação. O MMLT, segundo Kannan et al. (2007) e Sawhney et al. (2009), é dado pela seguinte equação (Eq. 9):

$$\text{MMLT} = \text{MTTO} + \text{MTTR} \quad (9)$$

Onde:

MTTO – *Mean Time To Organize* – Tempo médio necessário para coordenar as tarefas necessárias para o início das ações de manutenção. Métrica que se assemelha ao MWT para uma manutenção corretiva, mas que é superior para manutenção preventiva visto ser necessário um planeamento anterior à paragem do equipamento.

MTTR – Tempo médio de Reparação



Figura 2.15 - Decomposição do MMLT. Adaptado de Sawhney et al. 2009

Na decomposição do MMLT (Figura 2.15) Sawhney et al. (2009) referem que o único componente que agrega valor à manutenção é o MTTR, uma vez que é o único componente que envolve a realização da tarefa real de manutenção.

Assim, Kannan et al. (2007) defendem que a eficiência da do tempo de manutenção pode ser dada pela equação 10:

$$\text{eficiência da manutenção} = \frac{\text{MTTR}}{\text{MMLT}} \times 100 \quad (10)$$

Pinto (2013) salienta que por muito esforço que seja feito, a eficiência da manutenção dificilmente será de 100%. Mesmo considerando e planeando as ações que são necessárias levar a cabo para períodos em que os equipamentos não estão a operar, poderão ocorrer avarias inesperadas, mau uso ou negligência. O autor conclui ainda que uma eficiência de 100% acarretaria custos de manutenção infinitos.

2.4.10. Kaizen

O conceito Kaizen surgiu por volta da década de 80, através de Massaki Imai, sendo consolidado pela sua introdução na empresa Toyota e também pela fundação do Kaizen Institute, ambos em 1986 (Singh & Singh, 2012).

Kaizen é um conceito de origem oriental que indica a melhoria contínua. Etimologicamente é composto por duas palavras japonesas: *Kai* que significa mudança e *Zen* que corresponde a melhor, resultando assim em mudar para melhor (Palmer, 2001). Kaizen é uma das bases da filosofia Lean, sendo considerada vital em qualquer campo de aplicação. Malik & Tian (2006) citam Imai, afirmando que “a filosofia Kaizen defende que o nosso modo de vida – seja na vida pessoal, social ou profissional – merece ser constantemente melhorado”.

Do ponto de vista profissional, esta é uma estratégia que apela à união de todos os colaboradores na busca incessante pela melhoria. Malik & Tian (2006) acrescentam ainda que há sempre espaço para melhorias, mesmo que seja de uma forma gradual, reiterando que a soma de pequenas melhorias pode ter repercussões globais bastante positivas.

Singh & Singh (2012) referem a descrição feita por Watson, de acordo com a qual a estratégia Kaizen depende maioritariamente do esforço humano para a melhoria dos processos. Assim, de forma a fomentar a melhoria de processos e do fluxo destes, introduziu-se o ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*).

2.4.11. Ciclo PDCA

A origem do ciclo PDCA, também apelidado de ciclo de Deming ou de melhoria contínua, remonta à década de 20, quando Shewart apresentou o conceito de Planejar, Estudar e Atuar. Posteriormente, no desenvolvimento do TQM (Total Quality Management), Deming adaptou o conceito, modificando-o para o atualmente conhecido.

O ciclo PDCA elenca quatro fases para a melhoria de qualquer processo em estudo. Inicia-se com a fase do Planeamento (*Plan*), onde o objetivo passa pelo mapeamento, identificando a situação atual e planeando as mudanças que se pretendem ver executadas. Seguidamente, surge a fase do Executar (*Do*), sendo realizada uma monitorização de pequenas mudanças efetuadas num espaço controlado. Posteriormente, segue-se a verificação (*Check*) dos resultados obtidos, de forma a apurar se as mudanças produziram os efeitos desejados ou não. Finalizando-se com a fase de Atuação (*Act*) onde a organização deve generalizar as mudanças realizadas ou, no caso

de se ter sido mal sucedido, deve-se procurar identificar os motivos para esse fracasso (Singh & Singh, 2012).

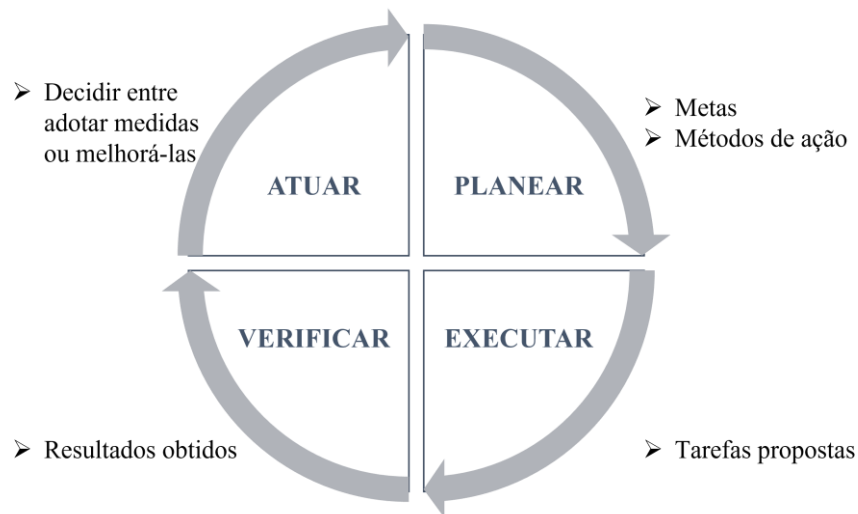


Figura 2.16 - Ciclo PDCA. Adaptado de Guo et al. (2019)

Como o próprio nome indica está-se perante um ciclo, sendo previsível e aconselhável que este não apresente um fim, chegando à etapa de atuação deve-se retomar a etapa de planeamento. Guo et al. (2019) referem que se deve sempre regressar ao planeamento de forma a corrigir algum problema que tenha surgido durante o ciclo corrente. Na eventualidade de não ter surgido nenhum problema, deve-se ainda assim regressar ao planeamento, analisando por completo o sistema na procura por potenciais melhorias que não tenham sido decifradas anteriormente.

Nguyen et al. (2020), salientam que mais do que uma ferramenta, o PDCA é uma filosofia que deve ser enraizada na cultura organizacional tendo sempre em vista a melhoria contínua.

De forma a estimular a uma abordagem eficiente, a implementação do ciclo PDCA deve apoiar-se em diversas ferramentas da qualidade, como, a título de exemplo, os 5 Porquês, 5S ou 5W2H.

2.4.12. SMED

SMED (*Single-Minute Exchange of die*) ou também apelidada de preparação - *Setup* - é uma técnica que envolve todos os tempos de mudança de máquina ou de características das mesmas, sendo reconhecida como um dos maiores *mudas* nas organizações. Desta forma foi desenvolvido o SMED com o intuito de realizar estas mudanças, teoricamente, na sua génese, em menos de 10 minutos. A sua base assenta em ações de melhoria e de trabalho em equipa que visam a maximização dos recursos.

Silva & Filho (2019) referem que as atividades de *setup* ou preparação podem ser divididas entre internas e externas. As atividades de preparação externas são aquelas que podem ser realizadas enquanto o sistema está ainda a operar, sendo que as internas requerem que o sistema esteja parado.

Bhade & Hegde (2020) abordam quatro fases distintas para o SMED triunfar.

- *Fase 1* – Reconhecimento do estado atual através da identificação das atividades de preparação externa e interna.
- *Fase 2* – Conversão de atividades de cariz interno em externo. Todas estas atividades são atividades sem valor acrescentado, mas que são indispensáveis para a operação a realizar na máquina. Assim, é desejável que o máximo de atividades seja realizado enquanto a máquina está a operar de modo a imobilizá-la o mínimo de tempo possível.
- *Fase 3* – Organização de todos os aspetos associados às atividades de preparação. As atividades planeadas devem ser programadas e preparadas antecipadamente, recolhendo, a título de exemplo, todas as ferramentas necessárias para dada alteração, ou garantindo que se está munido de mão-de-obra suficiente e instruída para as operações a realizar.
- *Fase 4* – Uniformização das atividades de *setup*. Deve, tanto quanto possível, reduzir-se a variedade de atividades de preparação. Dentro de uma organização, quanto menor a variedade de tarefas de *setup*, maior a probabilidade de estas serem bem sucedidas num curto espaço de tempo.

2.4.13. Poka Yoke

Dudek-Burlikowska & Szewieczek (2009) introduzem o Poka Yoke como um método, desenvolvido por Shigeo Shingo na década de 50, que contempla atividades de identificação e prevenção de causas prováveis de erros. Etimologicamente é uma conceito japonês, podendo ser decomposto em Poka, que se refere a erros infortúnios e Yoke, que significa prevenção.

Sadri et al. (2011) argumentam que este foi criado com o intuito de minimizar o tempo de inspeção através da criação de metodologias que previnem a ocorrência de erros. Estas metodologias podem ser sistemas, objetos ou meras codificações visuais que sejam orientadas para operações que exijam interferência humana de forma minimizar o erro provocado por esta interferência. Pötters et al. (2018) evidenciam que este método pode ser facilmente aplicado, já que não requer um elevado investimento.

Numa ótica de aplicação destes métodos de identificação de erros deve-se, em primeira instância, identificar potenciais erros ou defeitos, seguindo-se a determinação de métodos, preferencialmente pró-ativos, de prevenção desses mesmos erros ou defeitos Pinto (2013).

Estes métodos de prevenção podem ser de três tipos (Dudek-Burlikowska & Szewieczek, 2009).:

- Métodos de controlo - onde se verifica uma autocorreção do erro;
- Métodos que levam a paragens - na presença de erros ou condições suscetíveis de se verificar um erro levam a que o sistema entre em paragem;
- Métodos de aviso - nestes incluem-se métodos de alerta para potenciais erros, impedindo a sua ocorrência ou propagação.

2.4.14. Relatório A3

De forma a apoiar a gestão de processos, a Toyota desenvolveu a prática de apresentar, de uma forma visual, diferentes tipos de relatórios que pudessem ser compreendidos por todas as hierarquias dentro das organizações. Estes podem ser usados como ferramentas para identificar problemas, procurar soluções ou expor o resultado de determinadas ações de melhoria levadas a cabo. A designação desta ferramenta deriva da forma como estes relatórios são expostos, sendo impressos em folhas A3 (Sobek & Jimmerson, 2006).

Chakravorty (2009) salienta que esta é uma ferramenta bastante eficaz que recorre a figuras, diagramas e gráficos, entre eles diagramas de Ishikawa ou VSM, que permitem a transmissão de uma mensagem de uma forma bastante clara e perceptível. Estas ferramentas pretendem resumir a informação a transmitir.

Pinto (2013) acrescenta que o relatório A3 apresenta ainda a vantagem de ser um veículo de informação entre todos os elementos da organização interessados no processo em estudo, podendo ser transportado para diferentes localizações e não restringindo ninguém.

Genericamente, o modelo mais utilizado para a elaboração de relatórios A3 pretende apresentar ações de melhorias, envolvendo assim a descrição do estado atual, exposição do que se pretende obter, quais as ações para atingir esse objetivo e a calendarização proposta.

Na Tabela 2.3 apresenta-se um breve resumo das ferramentas e metodologias abordadas. De notar que estas ferramentas contribuem para mais do que um dos tipos mencionados podendo ser utilizada para mais do que uma finalidade.

Tabela 2.3 - Ferramentas e Metodologias Lean

Ferramentas / Metodologias	Diagnóstico	Identificação de desperdício	Criação de valor	Proposto por:			
				Womack (2003)	Bicheno (2008)	Liker (2004)	Pinto (2013)
VOC	+			X	X	X	
SIPOC	+				X		X
5S		+	+	X	X	X	X
3M		+		X	X		
5 Porquês	+	+		X			X
5W2H		+	+	X			X
FTA		+					X
FMEA			+			X	X
VSM		+	+	X	X	X	X
Kaizen			+	X	X	X	X
PDCA			+	X	X		X
SMED			+	X		X	X
Poka-Yoke			+	X	X	X	X
A3	+		+		X		X

3. Modelo de implementação Lean na Manutenção

O Modelo proposto nesta dissertação para a implementação de metodologias Lean na gestão da manutenção está assente nas bases do pensamento Lean, com principal relevo no ciclo PDCA. Idealizado com o objetivo de procurar melhorar incessantemente o desempenho da área da manutenção de uma organização este modelo poderá, todavia, ser adaptado a outras áreas de interesse.

Este modelo é composto por quatro etapas:

- Compreensão do estado atual
- Análise dos indicadores
- Definição de plano de ação
- Avaliação das alterações implementadas

Tendo como ponto de partida os ideais da melhoria contínua, a gênese deste modelo parte do pressuposto que este deve ser visto como cíclico. Após a chegada à etapa do estudo das alterações que foram implementadas, deve-se realizar novamente uma análise ao estado em que se está a operar, com vista a identificar novos objetivos e novos pontos chave de desempenho. Quando se acredita que se está a operar na máxima força, é necessário redefinir os padrões e elevar os critérios de análise.



Figura 3.1 - Representação modelo proposto. Fonte: Elaboração própria.

3.1. Compreensão do estado atual

Ponto de partida essencial que permite diagnosticar a forma como as diversas atividades relacionadas com a manutenção estão a decorrer. O objetivo desta primeira etapa passa por recolher o máximo de informação possível de forma a retratar a realidade o mais fidedignamente possível.

Primeiramente é necessário compreender o contexto de operação, nomeadamente a perspetiva que as diferentes áreas da organização têm da manutenção. Esta análise irá permitir identificar fatores chave de desempenho, particularmente a nível produtivo. Através da partilha de informação entre os diferentes departamentos será possível determinar, entre outros aspetos, a criticidades dos diferentes equipamentos.

De forma a auxiliar um intercâmbio de ideias é útil o recurso a ferramentas como o SIPOC e o VOC, que permitem analisar a raiz da manutenção através da identificação dos diferentes clientes, bem como das suas necessidades e diferentes perceções de valor.

Integrado no SIPOC, deve realizar-se um mapeamento de processos, com vista à compreensão da interligação das diversas atividades relativas ao processo de manutenção. Este mapeamento deve ser realizado numa ótica de auditoria interna, procurando compreender todos os processos desempenhados no âmbito da função manutenção.

Deve ser fomentada a premissa de não ocultar ou menosprezar nenhuma informação, pois, por muito pequena que uma alteração seja, um grande número de pequenas alterações permitem elevar o patamar de uma organização ou departamento.

3.2. Análise de Indicadores

Fase bastante abrangente que começa pela descodificação do estado atual através da complementação do mapeamento já realizado. Deve procurar-se quantificar, através de indicadores, o máximo de informação que foi retirada do mapeamento já realizado.

Uma ferramenta que se revela útil para esta etapa é o MVSM uma vez que permite obter vários indicadores de desempenho.

Após o apuramento dos diversos KPI's é importante ter em consideração os fatores chave de desempenho previamente identificados. Só assim será possível enumerar os indicadores mais significativos, quer seja pela sua grandeza ou pelas consequências que estes apresentem.

Esta fase compreende ainda a investigação da origem dos problemas. Após a ordenação da criticidade dos indicadores identificados, é fulcral reconhecer as causas que levam à incapacidade de maximizar a disponibilidade dos equipamentos.

Estas causas podem ocorrer a nível operacional ou processual. Assim, é aconselhável analisar igualmente os procedimentos organizacionais para compreender se a origem dos desempenhos menos satisfatórios advém destes.

3.3. Definição de Planos de Ação

Com os fatores críticos identificados, torna-se necessário estudar e estruturar um conjunto de medidas com vista à melhoria do processo. Existe um grande leque de ferramentas Lean que podem ser adotadas, nomeadamente ferramentas de redução de desperdícios e de criação de valor.

A delineação de um plano de ação tem como objetivo principal fomentar a implementação dessas mesmas medidas que permitam uma evolução favorável dos indicadores identificados como chave. Por vezes, poderá ser necessário, após a definição do plano de ação, estudar novos indicadores que eventualmente, não foram tidos em consideração.

Na execução do plano de ação poderá de igual forma revelar-se bastante útil o auxílio das demais partes interessadas. Todos os contributos devem ser tidos em consideração.

O plano de ação deve conter informações como:

- Definições das medidas a implementar
- Definição de responsáveis pela implementação;
- Prazos e duração para ocorrer a implementação;

3.4. Avaliação e discussão das alterações

Etapa que tem por base compreender em primeira instância se as ações delineadas no plano de ação foram implementadas ou se houve alguma barreira à sua introdução. Posteriormente, para as ações implementadas, deve-se verificar se os resultados desejados foram atingidos. Nesta análise é expectável que os novos indicadores obtidos sejam confrontados com os iniciais, de forma a avaliar a evolução dos mesmos e as consequências práticas que resultaram da implementação das medidas da etapa anterior.

Os resultados obtidos devem ser colocados à disposição de todas as partes interessadas, nomeadamente dos fornecedores, dos clientes e dos trabalhadores. Esta partilha deve promover um intercâmbio de ideias que, por sua vez, se espera que fomente o surgimento de novas medidas que permitam uma evolução favorável da organização como um todo. É ainda importante que um departamento esteja ciente dos índices de outro departamento de forma a compreender o que é que as suas próprias ações implicam no desempenho dos outros.

No resumo da Tabela 3.1 está ilustrada a descrição de cada etapa do processo do modelo proposto com cada conceito Lean aplicável.

Tabela 3.1 - Processo do modelo proposto. Elaboração própria.

Fase	Descrição	Ferramentas / Metodologias Lean
Compreensão estado atual	Identificar o contexto de operação do departamento → Objetivos → Expectativas das diferentes áreas → Perspetivas de valor	VOC SIPOC
	Identificar equipamentos críticos → Indicadores de desempenho	
	Mapear os processos → Relacionamento entre atividades	
Análise Indicadores	Analisar indicadores → Descodificação quantitativa dos estado atual → Compreensão dos indicadores chave → Confrontar indicadores chave para os equipamentos críticos com os indicadores gerais	MVSM 5 Porquês FTA FMEA
	Avaliação da origem dos problemas → Identificação das causas	
Definição plano de ação	Elaboração de um plano de ação → Medidas de combate à origem dos problemas → Criação de valor → Estratégia de implementação → Responsáveis → Prazos de implementação	3M 5S 5W2H Kaizen SMED

Fase	Descrição	Ferramentas / Metodologias Lean
Avaliação e discussão das alterações	Compreensão das barreiras à introdução das medidas	TPM Brainstorming A3
	Avaliação da evolução dos resultados → N° de intervenções → Eficiência → Tempos de paragem	
	Exposição dos resultados obtidos	
	Fomentar a partilha de ideias e identificação de oportunidades de melhoria	

4. Caso de estudo - aplicação do modelo proposto

4.1. A Empresa

Fundada em janeiro de 1967, como Empresa Geral de Obras Públicas Terrestres e Marítimas – Zagope S.A.R.L., a atual Zagope – Construções e Engenharia, S.A., ganhou a sua primeira obra, a barragem de Odivelas, em 1969.

Em 1988 a empresa foi adquirida pelo Grupo Brasileiro Andrade Gutierrez S.A. e começou a diversificar a tipologia de projetos executados, tais como metros, aeroportos, túneis, entre outras.

A partir de 2002 a internacionalização passou a ser um objetivo prioritário, tendo sido concretizado em 2005, com a entrada no mercado Africano e Asiático.

Após alguns anos sem obras em Portugal, regressou no ano de 2021 à atividade nacional, com a Empreitada de Projeto e Construção dos Toscos no Âmbito da Concretização do Plano de Expansão do Metropolitano de Lisboa – Prolongamento das Linhas Amarela e Verde - Lote 1 – “Execução dos Toscos entre o Término da Estação Rato e Estação Santos”.

Sendo uma empresa certificada, a Zagope tem todos os seus processos bem definidos e suportados por instruções de trabalho. A Zagope tem implementado o sistema SAP que permite uma interligação entre todos os departamentos bem como um controlo mais assertivo dos recursos. O Planeamento e Controlo da Manutenção tem ainda ao seu dispor o módulo de manutenção em SAP, que auxilia a gestão de todas as atividades de manutenção, interligado aos departamentos de compras, armazém e controlo de custos.

No passado foram já implementados alguns ideais Lean que permitiram à organização elevar-se. Contudo, devido à constante entrada em novos mercados, com a mobilização de novas equipas com estímulos constantes, torna-se desafiante alcançar uma estabilidade que permita uma implementação plena desta filosofia.

4.2. Contexto

O presente caso de estudo foi realizado no âmbito do Lote 1 da obra de expansão do Metropolitano de Lisboa. Esta obra compreende a construção dos toscos da nova estação do metro da Estrela e os toscos de ligação desde o término da estação do Rato até ao início da nova estação de Santos.

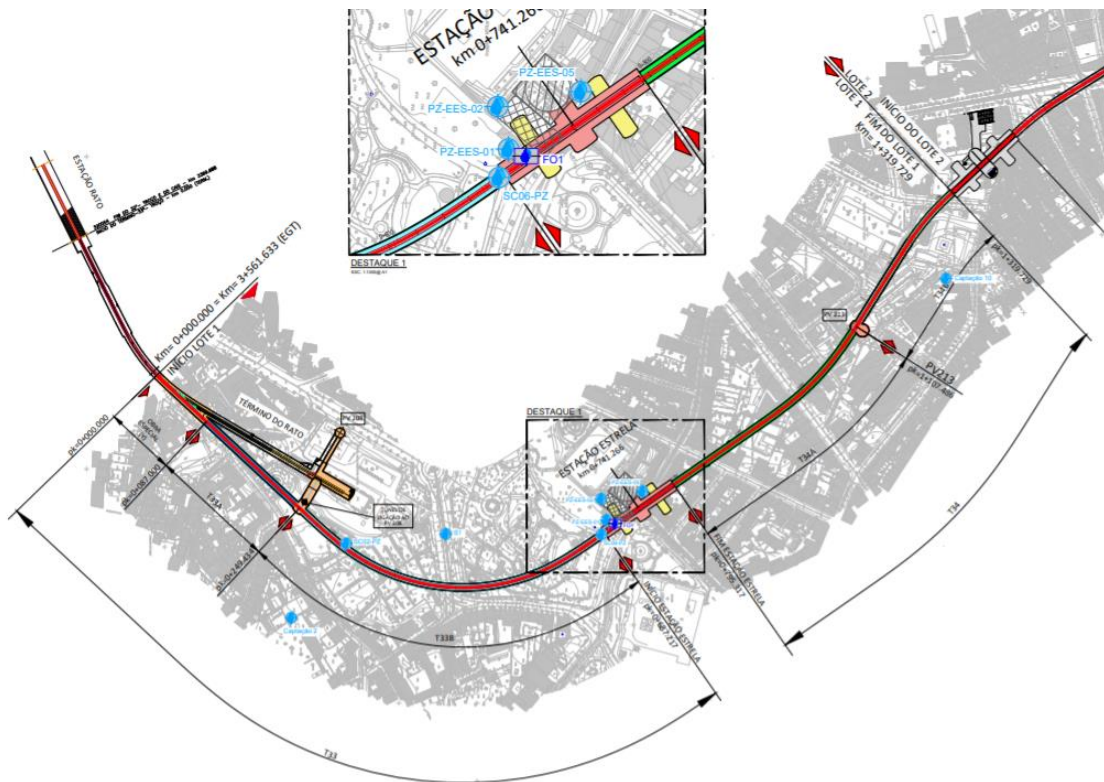


Figura 4.1 – Representação projeto. Fonte: Zagope.

As obras de túnel são muito particulares com condições peculiares. Este tipo de obra requer um número reduzido de equipamentos, quando comparadas com outros tipos de obras, contudo, estes tipos de equipamentos requerem uma atenção redobrada. Conforme reconhecido pela organização verifica-se a necessidade de os equipamentos apresentarem disponibilidade máxima, visto uma paragem num equipamento significar a paragem da frente de trabalho.

Considerando o ambiente em que os equipamentos operam bastante pesado, com um elevado nível de poeiras e uma temperatura média bastante elevada, o foco da área de manutenção deve estar em ações preventivas de manutenção.

Tabela 4.1 - Critérios de avaliação ajustados às diferentes áreas. Fonte: Zagope

Área responsável	Critérios	Pontuação: 0 a 5		
		Alta ≥3,5	Média 2 a 3,5	Baixa ≤2
QMSS (Qualidade)	Efeitos da falha sobre a qualidade dos produtos	Crítico para a qualidade	Afeta indiretamente a qualidade do produto	Não causa impacto na qualidade do produto
Produção	Efeitos da falha sobre o processo produtivo	Interrompe totalmente a produção	Interrompe parcialmente a produção	Não interrompe a produção
QMSS (Segurança)	Riscos potenciais para a segurança e saúde das pessoas	Envolve riscos de proporções substanciais	Envolve riscos de proporções moderadas	Envolve riscos de proporções toleráveis
QMSS (Meio ambiente)	Riscos potenciais de Impacto Ambiental	Potencial para provocar impactos ambientais altamente significativos	Potencial para provocar impactos ambientais significativos	Potencial para provocar impactos não significativos
Controlo	Valores envolvidos nos reparos	Envolve custos elevados	Envolve custos moderados	Envolve custos mínimos
Manutenção	Efeitos sobre o tempo de reparo e especialização (Complexidade Tecnológica)	Tempo de reparo elevado ou requer alta especialização	Tempo de reparo aceitável e especialização regular	Não representa riscos
Compras	Efeitos sobre o tempo de espera de materiais (Complexidade Logística de abastecimento)	Tempo de espera elevado, tanto a nível de transporte como altos prazos do próprio fornecedor. Restrições ao nível do número de fornecedores capazes para fornecimento	Tempo de espera de materiais aceitável e especialização regular. Vários fornecedores capazes de fornecer os materiais	Não representa riscos

Tabela 4.2 - Avaliação criticidade dos equipamentos. Fonte: Elaboração própria

TIPO	Fatores de avaliação dos diferentes departamentos							Pontuação e classificação		
	Custos	Manutenção	Meio Ambiente	Produtividade	Qualidade	Segurança do Trabalho	Aprovisionamentos	Média	Frequência Acumulada [%]	Classificação ABC
Escavadora s/ esteiras (Túnel)	5	5	4	5	2	1	3	3,57	5,56	A
Jumbo	5	5	3	5	3	1	3	3,57	11,11	A
Robot projetar betão	4	4	2	5	4	1	2	3,14	16,67	A
Fresa Rotativa p/ escavadora	4	5	2	5	1	1	1	2,71	22,22	B
Martelo hidráulico p/ escavadora	4	5	1	5	1	1	2	2,71	27,78	B
Ripper p/ escavadora	4	5	1	5	1	1	2	2,71	33,33	B
Escavadora s/ esteiras	4	4	3	5	1	1	1	2,71	38,89	B
Grua Torre	2	4	0	5	1	4	2	2,57	44,44	B
Bomba projetar betão	3	2	1	5	4	1	1	2,43	50,00	C
Central de injeção	2	2	1	4	4	1	2	2,29	55,56	C
Pá Carregadora sobre pneus	3	3	3	4	1	1	1	2,29	61,11	C
Camião betoneira	2	3	1	3	4	1	1	2,14	66,67	C
Grua móvel	2	2	4	2	1	2	2	2,14	72,22	C
Grupo Gerador	2	2	2	2	1	4	1	2,00	77,78	C
Manipulador Telescópico	2	2	3	3	1	1	2	2,00	83,33	C
Elevador	2	4	0	1	1	4	2	2,00	88,89	C
Camião grua	2	2	2	2	1	1	2	1,71	94,44	C
Mini Pá Carregadora s/ pneus	2	2	2	2	1	1	1	1,57	100	C

Após uma análise ABC aos resultados obtidos na Tabela 4.2, foi perceptível que os equipamentos que maiores preocupações geram aos diferentes departamentos são curiosamente os que trabalham exclusivamente no túnel, designadamente:

- Escavadora de túnel
- Jumbo
- Robot de projetar betão

Este são assim os equipamentos que, para as diversas áreas, de acordo com os critérios definidos, devem ser considerados equipamentos críticos.

Simultaneamente foi realizada uma análise SIPOC à área de manutenção tendo sido identificados os diferentes fornecedores, entradas, processos, saídas e cliente. Conforme ilustrado na Figura 4.3, a equipa de manutenção necessita dos contributos dos diferentes

fornecedores, nomeadamente departamentos de compras e armazém, para conseguir satisfazer o seu principal cliente, o departamento de produção. Esta satisfação pode ser obtida através de reparações ou ajustes em equipamentos, bem como troca de ferramentas e acessórios dos mesmos.

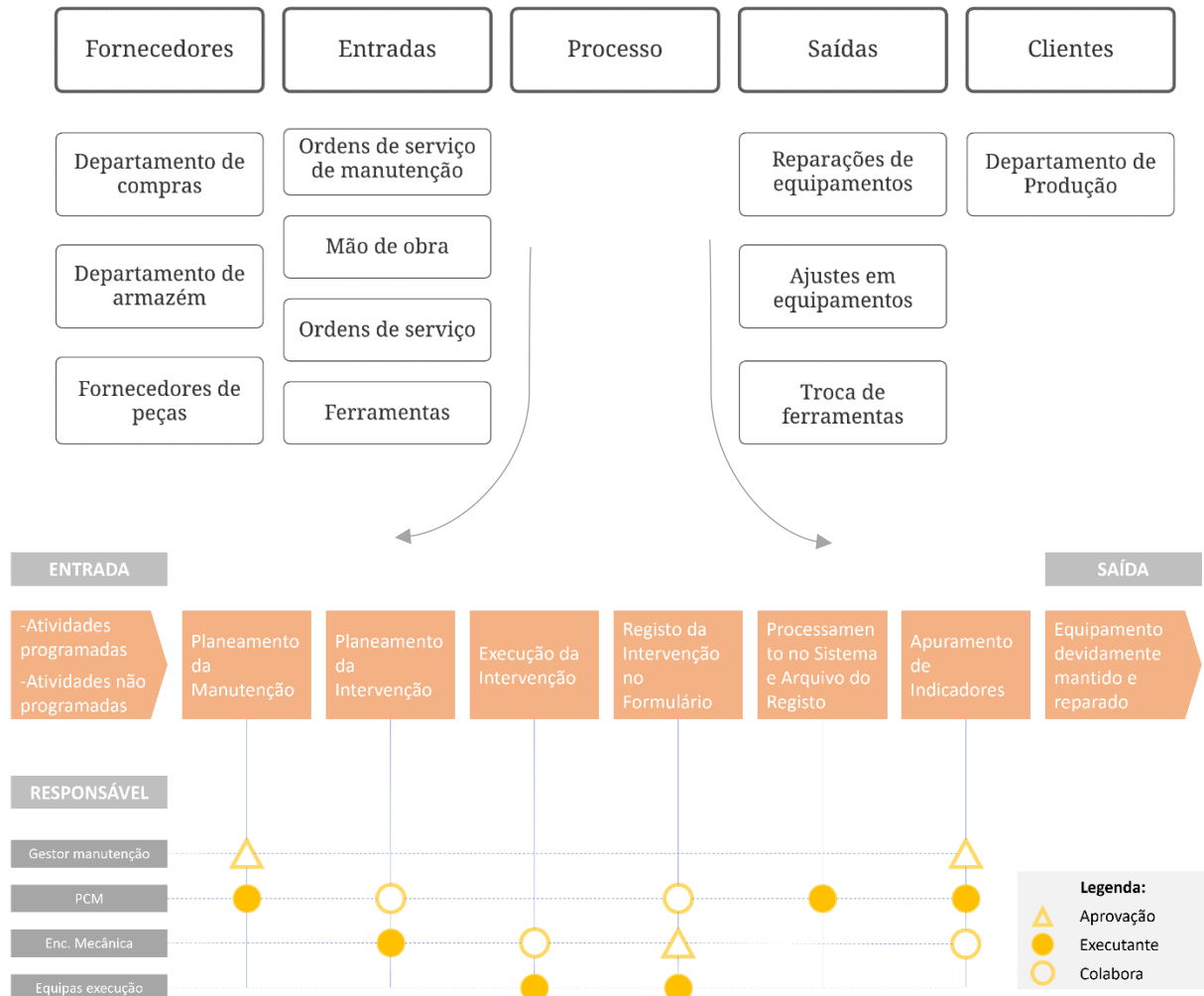


Figura 4.3 - SIPOC departamento de manutenção. Fonte: Elaboração própria

Relativamente ao processo de manutenção em si, ilustrado também na Figura 4.3, é originado pela necessidade de realizar atividades sejam elas programadas ou não programadas. Seguidamente é realizado um planeamento das manutenções e intervenções, sendo as mesmas são realizadas pelas equipas executantes. O processo acaba com o equipamento devidamente mantido, reparado ou ajustado, e com o registo e processamento da intervenção no sistema de arquivo, onde posteriormente é possível apurar diversos indicadores.

4.3.2. Avaliação de fatores críticos – Fase 2

Após identificação dos equipamentos que geram maior preocupação estes devem ser analisados tendo em consideração os mais variados indicadores.

Na implementação do modelo neste caso de estudo definiu-se que os indicadores a analisar seriam relativos a:

- Aderência e cumprimento de manutenções preventivas;
- Consumo de combustível de forma a compreender se consumo está a acompanhar o padrão previsto;
- Manutenções corretivas com foco na análise da disponibilidade operacional.

Aderência e cumprimento de manutenções preventivas

Como já referido, o departamento de equipamentos da Zagope tem ao seu dispor o módulo de manutenção do software SAP. Este sistema possibilita uma gestão precisa de todas as ações de manutenção preventivas, preditivas ou corretivas.

Cada equipamento tem associado dois planos de manutenção definidos pelo gestor de manutenção conforme a definição de processos evidente no SIPOC.

Os equipamentos têm um plano de manutenção preventiva mecânica que se resume a uma lista de tarefas de inspeção e avaliação visual do equipamento e um plano de manutenção preventiva de lubrificação que consiste na troca de componentes e lubrificantes. Estes dois planos, suportados por duas listas de tarefas distintas, são apresentados ao controlador de manutenção automaticamente à medida que o número de horas previstas para a realização das manutenções preventivas é alcançado.

Assim, para os equipamentos críticos foram avaliados o índice de aderência e o índice de cumprimento. O índice de aderência corresponde à percentagem de ordens de serviço programadas que foram executadas. Por outro lado, o índice de cumprimento avalia, das ordens executadas, a percentagem das que foram executadas no intervalo de tempo correto.

Tabela 4.3 - Índice de aderência e cumprimento. Fonte: SAP

Equipamento	OS's programadas	OS's executadas	Índice aderência	Índice cumprimento
ESCAVADORA 1	8	8	100%	75%
ESCAVADORA 2	4	4	100%	100%

Como é evidente na Tabela 4.3, ambos os equipamentos apresentam um nível de aderência de 100%, significando que as manutenções preventivas estão a ser levadas a cabo. Relativamente ao nível de cumprimento, a Escavadora 1 apresenta um índice de 75% devido a duas ordens de serviço terem sido executadas fora da margem admissível. Este resultado motivou uma análise introspectiva que permitiu identificar que a causa estava em dificuldades no fluxo de informação relativa ao número de horas do equipamento e à atualização deste no sistema.

Relativamente aos restantes equipamentos, devido ao reduzido número de horas trabalho, não atingiram ainda o intervalo de tempo para a realização das primeiras manutenções preventivas.

Análise consumo combustível

O combustível é o maior responsável pelos custos mensais dos equipamentos. Assim, a análise do consumo de combustível não só é importante para compreender se existe algum excesso de consumo devido a algum problema mecânico, mas também é importante compreender se o custo do consumo real deste está a ir ao encontro do previsto.

Com base no longo historial de obras, o departamento de equipamentos tem já apurados os padrões de consumo consoante cada família de equipamentos.

No caso dos equipamentos definidos como críticos apenas é preocupante a família das escavadoras de túnel. Tanto o jumbo, como o robot de projetar são equipamentos que apenas utilizam o motor a combustão para a sua locomoção. Todas o trabalho operacional destes equipamentos é realizado eletricamente.

Tabela 4.4 - Comparação do consumo de combustível das escavadoras com o padrão. Fonte: SAP

Equipamento	Modelo	H/Km Trabalhados	Volume consumido [l]	Padrão de consumo [l]	Consumo médio [l/h]	Desvio
ESCAVADORA 1	R944C Tunnel	955	32 805,00	33	34,35	4%
ESCAVADORA 2	R944C Tunnel	245	8 014,00	33	32,71	-1%
ESCAVADORA 3	R944C Tunnel	125	4 421,00	33	35,37	7%

Na Tabela 4.4, demonstra-se que os equipamentos apresentam um consumo médio muito próximo do padrão de consumo. A Escavadora 3 é o equipamento que apresenta um desvio maior, contudo tem apenas 125 horas trabalhadas, um número reduzido que não permite a formulação de uma conclusão fundamentada. Para ser representativa, esta análise deve ser realizada para um período de trabalho a rondar as 250 horas trabalhadas.

Relativamente às restantes escavadoras, pode-se concluir que não apresentam nenhum problema mecânico que leve ao aumento do consumo de combustível e que os custos previstos estão a ir ao encontro dos reais.

Análise disponibilidade operacional

O objetivo principal da área de manutenção é, como já mencionado, a maximização da disponibilidade operacional dos equipamentos. Esta é assumidamente uma preocupação do departamento de produção.

Assim, recorreu-se mais uma vez ao sistema SAP, para extração de diversas informações como o nº de paragens, tempos de reparação e os tempos médios entre reparações.

Tabela 4.5 - Indicadores desempenho equipamentos críticos. Fonte: SAP

Equipamento	Paragens	Tempo parado [h]	MTTR [h]	MTBF [h]
ESCAVADORA 1	23	306,57	13,33	81,63
ESCAVADORA 2	4	177,20	44,30	164,03
ESCAVADORA 3	1	126,25	126,25	269,15
JUMBO	12	23,85	1,99	183,09
ROBOT PROJETAR	7	13,47	1,92	315,95

Para além desta ferramenta, os manobreadores têm acesso à plataforma Construmobil – Simova, onde realizam um apontamento diário em formato digital. Este apontamento é bastante útil ao departamento de controlo, pois permite uma gestão de informações operacionais mais efetiva. É também bastante útil para uma análise de eficiência mecânica pois esta plataforma permite o apontamento das diversas perdas, nomeadamente perdas à disposição, perdas devido ao clima, perdas devido a intervenções mecânicas, ou outras, a título de exemplo pausas para refeição.

Assim, para as três famílias de equipamentos identificadas como críticas, foi feita uma análise conjunta, para o intervalo de tempo compreendido entre junho de 2021 e outubro de 2021 entre a informação retirada do SAP (Tabela 4.5) e do Construmobil (Tabela 4.6).

Tabela 4.6 - Análise apontamento dos equipamentos críticos. Fonte: Construmobil

Equipamento	Horas Disposição	Horas Trabalhadas	Perdas Gerenciais	Perdas Climáticas	Perdas Mecânicas	Outras Perdas	Ef. Mecânica Realizada
ESCAVADORA 1	2184,13	954,70	832,18	0,00	306,57	90,68	75,69%
ESCAVADORA 2	833,30	244,90	369,08	0,00	177,20	42,12	58,02%
ESCAVADORA 3	395,40	124,67	141,40	0,00	126,25	3,08	49,68%
JUMBO	2220,98	259,98	1876,10	0,00	23,85	61,05	91,60%
ROBOT PROJETA	2225,10	126,98	1995,68	0,00	13,47	88,97	90,41%

Analisando os dados retirados, o foco deve ser direcionado para os equipamentos que apresentam indicadores menos positivos.

A direção de produção estipulou como o objetivo uma eficiência mecânica mínima de 85%. Quando comparada com o valor de 93% de eficiência mecânica global de todos os equipamentos para o mesmo período (Tabela 4.7), observa-se que as escavadoras apresentam valores significativamente menores. Assim, o foco deve ser direcionado para esta família de equipamentos.

Tabela 4.7 - Resumo apontamento geral. Fonte: Construmobil

Total Horas Trabalhadas	Total Horas Perda Mecânica	Eficiência Mecânica
10990,63	820,83	93,05%

Análise tempo de paragem Escavadora 1

A Escavadora 1, que trabalhou significativamente mais tempo, cerca de 950 horas, apresenta uma eficiência de 75%. Apresentou, para o período em análise, um total de 23 paragens relativas a ações de manutenção com uma duração média de 13 horas por paragem.

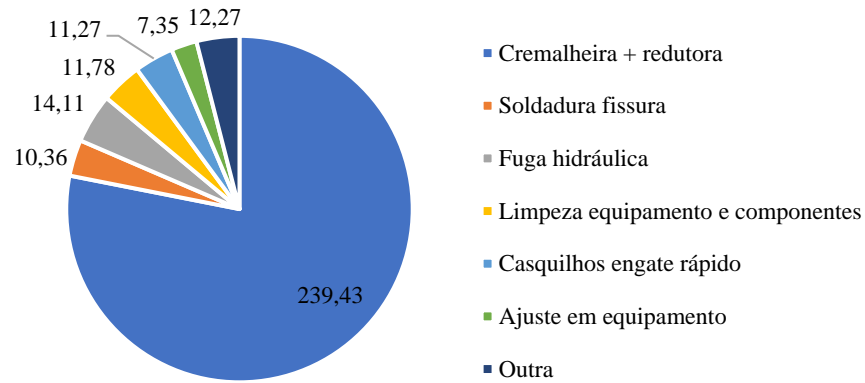


Figura 4.4 - Distribuição tempos de pagarem em horas da Escavadora 1. Fonte: Elaboração própria

Este equipamento apresentou um elevado número de horas de paragem devido essencialmente a uma manutenção corretiva em específico na cremalheira e caixa redutora conforme é visível na Figura 4.5.

Realizou-se uma análise recorrendo à ferramenta 5W1H, conforme ilustrado na Figura 4.5, com o intuito de a identificar a raiz do problema.

1. <i>Who?</i> – Quem tem o problema?	2. <i>What?</i> – Qual o problema?	3. <i>When?</i> – Quando ocorre?	4. <i>Where?</i> – Onde se sucede o problema?	5. <i>Why?</i> – Porquê do problema ocorrer?	1. <i>How?</i> – Como resolver o problema?
<ul style="list-style-type: none"> • Escavadora 1 	<ul style="list-style-type: none"> • Não executa o movimento de giratória 	<ul style="list-style-type: none"> • Quando o movimento é hidráulicamente e acionado 	<ul style="list-style-type: none"> • Na cremalheira e caixa redutora 	<ul style="list-style-type: none"> • Cremalheira partida • Operação incorreta 	<ul style="list-style-type: none"> • Substituir a cremalheira

Figura 4.5 - Aplicação da metodologia 5W1H para a Escavadora 1. Fonte: Elaboração própria

Identificou-se que a causa para quebra dos dentes da cremalheira deveu-se a uma operação incorreta do equipamento. Conforme exemplificado na Figura 4.6, a lâmina encontrava-se no sentido oposto à posição correta de trabalho.

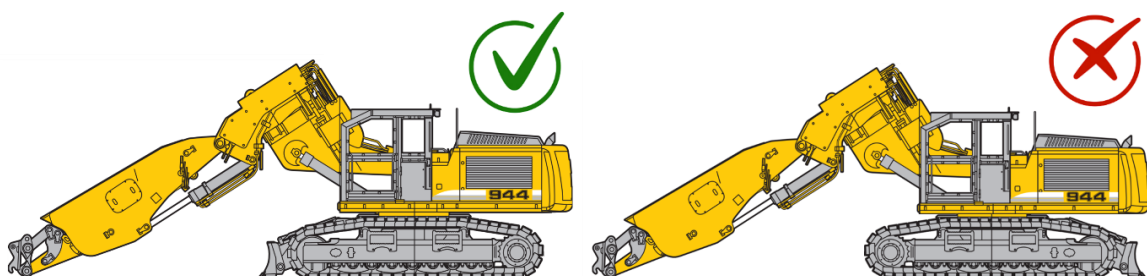


Figura 4.6 - Representação posição correta de trabalho. Fonte: Liebherr

Esta foi uma ação bastante morosa, com um tempo de paragem de cerca de 239 horas, pois foi necessário, não só aguardar pela chegada de peças, como inclusivamente mobilizar uma grua para auxiliar no desacoplamento da parte superior da máquina dos rastros (Figura 4.7).



Figura 4.7 - Intervenção de desacoplamento do equipamento. Fonte: Fotografia tirada pelo autor

Relativamente às restantes paragens, é relevante realçar o tempo de paragem devido a fugas hidráulicas e limpeza do equipamento. Verificou-se que estas paragens, não assumindo um valor total de horas tão relevante, correspondem ainda assim a treze paragens, que levam a que o tempo médio entre falhas deste equipamento seja de aproximadamente 82 horas.

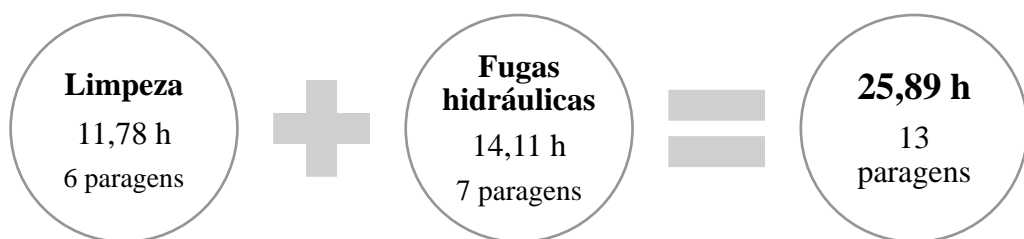


Figura 4.8 - Representação paragens para limpeza e devido a fugas hidráulicas da Escavadora 1. Fonte: Elaboração própria

Relativamente ao tempo de limpeza do equipamento e dos seus componentes, nomeadamente filtros e radiadores, compreendeu-se que esta é uma ação preventiva que permite o equipamento não sobreaqueça e subsequentemente mantenha o seu desempenho. Analisou-se que esta

atividade é sempre realizada em momentos que o equipamento se encontra à disposição e que não afeta diretamente a disponibilidade do equipamento.

Após a análise, recorrendo-se a Árvore de Análise de Falhas – FTA ilustrada na Figura 4.9, compreendeu-se que as fugas hidráulicas se devem maioritariamente a três acontecimentos intermédios. Nomeadamente, fugas em tubos hidráulicos, fugas nos cilindros hidráulicos ou fugas através de bombas hidráulicas.

No caso desta Escavadora, foi possível apurar que as fugas hidráulicas decorreram exclusivamente de fugas em tubos hidráulicos devido às condições em que o equipamento opera. Neste contexto, reconhece-se que as condições operacionais como a elevada temperatura média, a secção do túnel ou a pressão de trabalho do equipamento são um fator exógeno, fora do controlo da organização e assim impossível de eliminar.

Para estes fatores deve assim procurar-se, na definição de planos de ação, soluções que visem a minimização dos seus efeitos.

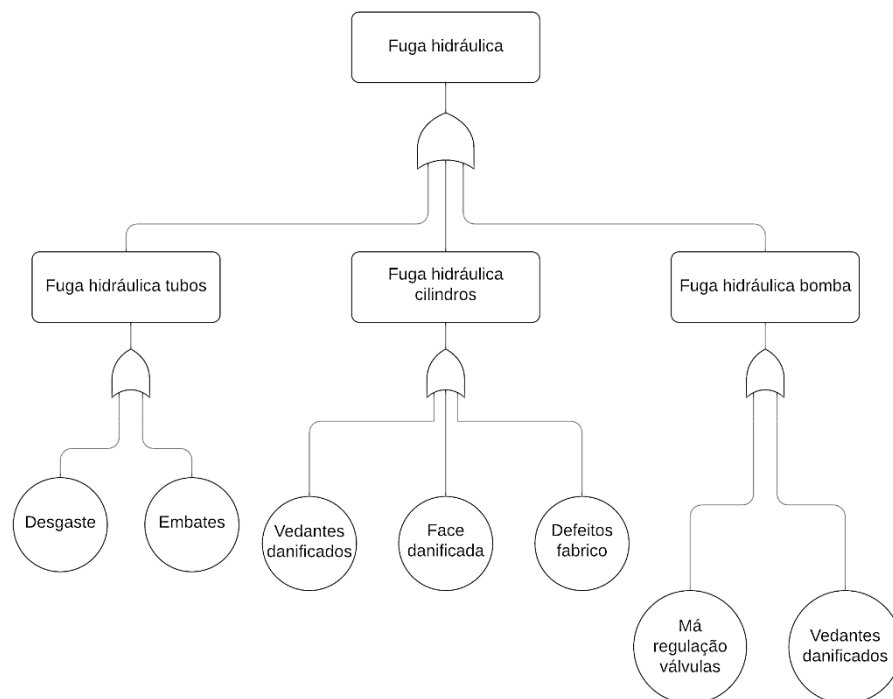


Figura 4.9 - Aplicação da ferramenta FTA para identificação da causa das fugas hidráulicas. Fonte: Elaboração própria.

Análise tempo de paragem Escavadora 2

A Escavadora 2, apresenta uma eficiência mecânica de 58%, muito devido às quatro paragens que implicaram uma paralisação do equipamento por 177 horas, levando assim a que tenha um tempo médio entre falhas de 164 horas (Tabela 4.5). Estes valores significam que as paragens que se verificaram neste equipamento tiveram um período de reparação bastante elevado.

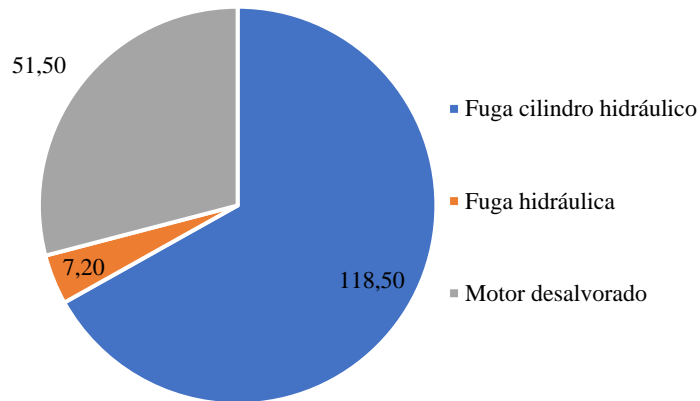


Figura 4.10 - Distribuição tempos de paragem em horas da Escavadora 2. Fonte: Elaboração própria

Analisando os tempos de máquina parada é perceptível que os indicadores obtidos resultam em grande parte de duas paragens mais prolongadas, 118 horas devido uma fuga num cilindro hidráulico e 51 horas devido à passagem de óleo hidráulico para o motor que levou a que este desalvorasse.

- Fuga de óleo num cilindro hidráulico

Realizando a metodologia dos 5W1H, ilustrada na Figura 4.11, foi possível identificar que a fuga de óleo hidráulico se deveu à rutura de um vedante que por sua vez ocorreu devido à degradação que a face do cilindro apresentava. A ação corretiva passou por retirar o cilindro, retificá-lo e colocar novos vedantes.

1. <i>Who?</i> – Quem tem o problema?	2. <i>What?</i> – Qual o problema?	3. <i>When?</i> – Quando ocorre?	4. <i>Where?</i> – Onde se sucede o problema?	5. <i>Why?</i> – Porquê do problema ocorrer?	1. <i>How?</i> – Como resolver o problema?
<ul style="list-style-type: none"> • Escavadora 2 	<ul style="list-style-type: none"> • Fuga de óleo hidráulico no cilindro hidráulico do balde 	<ul style="list-style-type: none"> • Quando o movimento é hidraulicamente acionado 	<ul style="list-style-type: none"> • No vedante do cilindro 	<ul style="list-style-type: none"> • Vedante degradado devido a rugosidades no cilindro 	<ul style="list-style-type: none"> • Retirar cilindro hidráulico • Retificar face do cilindro • Substituir vedante danificado

Figura 4.11 - Aplicação metodologia 5W1H para a Escavadora 2. Fonte: Elaboração própria.

- Motor desalvorado

Ainda numa ótica de identificação da causa raiz deste problema, para este acontecimento recorreu-se à metodologia dos 5 Porquês? conforme representado na Figura 4.12.

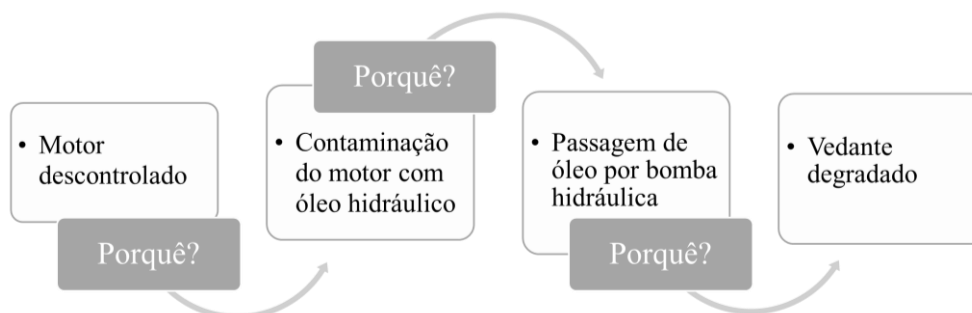


Figura 4.12 - Aplicação da metodologia dos 5 Porquês? para a Escavadora 2. Fonte: Elaboração própria.

Foi possível identificar que a passagem de óleo hidráulico para o motor se deveu ao elevado nível de degradação que um vedante de uma das bombas hidráulicas acopladas ao motor apresentava. Neste caso, após a terceira interrogação não foi possível identificar o porquê do vedante se ter degradado. Acredita-se, no entanto, que o longo período em que a máquina esteve parada antes de entrar em obra tenha sido a razão para o vedante se degradar.

A ação corretiva consistiu em identificar e desacoplar a bomba que estava a fazer a passagem do óleo de forma a substituir o vedante que estava danificado.

Análise tempo de paragem Escavadora 3

A eficiência mecânica da Escavadora 3 ronda os 50%, sendo o equipamento analisado que apresenta a menor eficiência mecânica. Analisando os dados obtidos, verifica-se que para as 124 horas que trabalhou tem uma única paragem de 126 horas resultado do colapso da bomba hidráulica principal.

Neste caso não foi aplicada nenhuma ferramenta Lean pois foi facilmente identificado que a perda de todos os movimentos hidráulicos se deveu à bomba principal.

Esta situação não só danificou os componentes da bomba como o corpo da mesma. Para além disso, levou ainda a que alguns estilhaços contaminassem todo o sistema hidráulico. Este incidente apenas foi solucionado com a substituição da bomba e a limpeza de todo o sistema hidráulico, tendo em consideração todas as bombas de menores dimensões, o tanque hidráulico e ainda o martelo hidráulico que estava a trabalhar com a escavadora quando o problema ocorreu.

A contaminação de todo sistema e os danos no corpo da bomba apenas ocorreram porque o equipamento operou indevidamente quando os componentes da bomba já estavam danificados. Seria expectável que o manobrador se tivesse apercebido que o equipamento não estava a operar na sua normalidade. Todavia, relativamente aos componentes da bomba em si, não foi encontrada uma justificação para tal ter ocorrido, apenas que aquando da aquisição do equipamento, este já não apresentava os caudais e pressões de fábrica.

4.3.3. Definição de Plano de Ação – Fase 3

Os planos de ação são gerados em reuniões departamentais ou interdepartamentais onde são expostas e debatidas as diversas preocupações. Nestas deve ser fomentada a interajuda e a procura por soluções viáveis que visem reduzir ou mesmo eliminar os problemas que existam.

Das reuniões interdepartamentais, devem surgir medidas sucintas e concisas capazes de serem resumidas conforme se exemplifica na Tabela 4.8. Cada ação deve ser posteriormente analisada e desenvolvida dentro de cada departamento responsável.

Tabela 4.8 - Plano de ação definido na reunião geral de 6wla. Fonte: Zagope

Reunião	Ação	Responsável	Data início	Data fim	Nova data fim	Rev.	Data realizada	% Concluído	% Planeado	Status	Obs.
6wla	Avaliar soluções para minimização das paragens relativas a fugas hidráulicas em tubos	Controlador Manutenção	15/10/2021	29/10/2021	05/11/2021	1		0%	100%	●	
6wla	Avaliar tempo de troca dos acessórios das escavadoras	Controlador Manutenção	29/10/2021	19/11/2021				0%	100%	●	Em conjunto com Eng ^o de frente

Avaliação paragens relativas a fugas hidráulicas

A ação de avaliar soluções para prevenir e minimizar as fugas nas ligações hidráulicas foi analisada pelo departamento de manutenção sobre dois prismas conforme ilustrado na Tabela 4.9. Primeiramente, avaliar a possibilidade de uma solução que minimize a frequência das paragens, e seguidamente, para as paragens que não serão completamente eliminadas, procurar soluções para reduzir o tempo de paragem.

Tabela 4.9 - Plano de ação departamental para avaliação das paragens relativas a fugas hidráulicas em tubagem. Fonte: Elaboração própria.

Ação	Objetivo	Responsável	Ferramentas apoio
Avaliar soluções para minimização das paragens relativas a fugas hidráulicas em tubos	<p>Avaliar redução dos tempos de paragem</p> <ul style="list-style-type: none"> - Chegada de mecânico mais rapidamente - Recolher ferramentas e componentes corretos - Minimizar tempo de execução de tubo novo - Minimizar tempo de transporte do tubo novo - Avaliar previamente necessidade de adicionar óleo hidráulico. Em caso positivo, minimizar tempo de transporte do óleo para junto da máquina 	Enc. Mecânica / Controlador Man.	5S Gestão visual Redefinição de Layouts
	<p>Avaliar redução da frequência de paragens</p> <ul style="list-style-type: none"> - Avaliar possibilidade de colocação de proteções na tubagem - Avaliar possibilidade de colocar acessórios nas uniões dos tubos forma a direcionar os tubos, conforme o equipamento, para uma zona onde a probabilidade dos embates nos escombros seja menor 	Enc. Mecânica	Poka Yoke

Conforme identificado, uma grande percentagem dos tempos de paragem relativa a estas fugas enquadra-se nos desperdícios Lean. Nomeadamente na locomoção do mecânico, na seleção da ferramenta adequada, no transporte do tubo novo e no eventual transporte de óleo hidráulico se for necessário realizar alguma complementação. Para estas perdas foi delineado um conjunto de ferramentas a implementar com o intuito de reduzir desperdício acrescentando valor, com foco especial para o 5S e gestão visual que visam reduzir o tempo de recolha da ferramenta, bem como minimizar o risco de se optar por alguma ferramenta inadequada.

Relativamente à redução do elevado número de paragens, o objetivo deve passar pela avaliação da possibilidade de colocar acessórios que previnam a degradação dos tubos, bem como das suas uniões. No combate a este dilema definiu-se que a ferramenta Poka-Yoke pode ser uma mais-valia, permitindo que sejam reduzidas as causas prováveis de erro.

Avaliação do tempo de troca dos acessórios das escavadoras

Tal como referido na apresentação do modelo, existe a possibilidade de, na definição do plano de ação, surgirem preocupações que não foram consideradas na identificação e avaliação dos fatores críticos. Neste caso verificou-se exatamente isso. Posteriormente à análise realizada, o departamento de produção expressou uma preocupação com o tempo de mudança dos acessórios que trabalham com as escavadoras.

Cada escavadora tem associado um martelo hidráulico, uma cabeça fresadora e um *ripper* excêntrico. Cada acessório tem a sua função no processo produtivo, sendo necessário realizar constantes mudanças dos mesmos.

Esta troca não é considerada em sistema SAP como ação de manutenção, nem refletida no apontamento como perda, contudo, devido ao tempo despendido, o departamento de produção entende que é relevante ser estudada.

O processo de troca de acessório está exemplificado na Figura 4.13.

- 1º - Após o acessório estar enquadrado com a lança da escavadora, é necessário encaixar a cavilha fixa do acessório no engate rápido do equipamento;
- 2º - É necessário apertar o parafuso sem fim que permite a segunda cavilha fixar-se devidamente o acessório;
- 3º - É necessário apertar todas as ligações hidráulicas e de água.

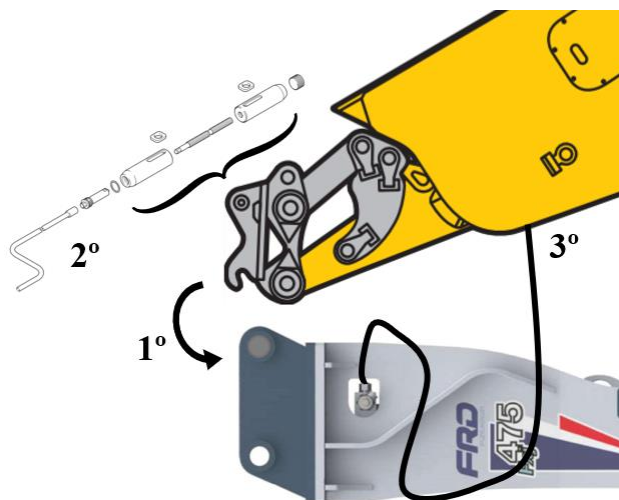


Figura 4.13 - Representação montagem acessório

Assim, após definida a ação de avaliação e redução dos tempos de troca de acessório, foi realizada uma análise de diversas trocas de acessórios, conforme Tabela 4.10, tendo se verificado que o tempo médio para a troca das mesmas é de aproximadamente 24 minutos.

Tabela 4.10 - Análise da duração das operações para troca de acessório. Fonte: Elaboração própria

Operações	Duração [min]
Deslocação da máquina para a zona dos acessórios a colocar	2,5
Avisar a equipa de manutenção	0,5
Ir buscar a ferramenta	1,5
Deslocação do mecânico	1,5
Desapertar tubagem	2,5
Desapertar cavilha móvel de fixação	2
Arrumar acessório a retirar	2
Posicionamento do equipamento enquadrado com acessório a colocar	2
Colocação da cavilha fixa do acessório	1
Apertar a cavilha móvel de fixação	2
Apertar tubagem	2,5
Deslocação do equipamento para frente de trabalho	2,5
Arrumação da ferramenta	1,5
Total	24

De forma a ir ao encontro da redução do período de troca de ferramenta, é bastante útil fazer uso da ferramenta Lean SMED. Como foi definido no plano de ação da Tabela 4.11, e em concordância com a implementação da ferramenta SMED, o foco deve passar por numa primeira fase identificar as operações que inevitavelmente requerem que o equipamento esteja imobilizado (operações internas), das que poderão ser realizadas ainda com o equipamento a operar (operações externas). Após ser feita esta distinção, o objetivo é converter ao máximo as operações internas em externas. Na eventualidade de não poderem ser convertidas, deve procurar-se uma solução que permita a redução da sua duração.

Tabela 4.11 - Plano de ação departamental para a avaliação do tempo de troca dos acessórios. Fonte: Elaboração própria

Ação	Objetivo	Responsável	Ferramentas apoio
Avaliar tempo de troca dos acessórios das escavadoras	<p>Redução tempo de mudança de acessório</p> <ul style="list-style-type: none"> - Avaliar carácter das operações (interno/externo) - Estudar possibilidade de conversão de operações internas em - externas - Estudar possibilidade de reduzir duração das operações internas - Avaliar ergonomia das ferramentas utilizadas 	Controlador Man / Eng Frente	SMED

Assim, para as operações necessárias foi realizada uma análise com o intuito de compreender que alterações poderiam ser realizadas. Conforme é detalhado na Tabela 4.12, existem algumas operações internas passíveis de serem eliminadas ou substituídas por operações externas. A

título de exemplo, ao invés de se deslocar o equipamento para junto do acessório, o acessório poderá ser deslocado para junto do equipamento enquanto este ainda está a trabalhar reduzindo desta forma a paragem em duas operações de movimentação.

Tabela 4.12 - Análise operações internas e externas para troca de acessório. Fonte: Elaboração própria

Operações	Externa	Interna	obs.
Deslocação da máquina para a zona dos acessórios a colocar	-	-	Operação pode ser substituída se o acessório for deslocado para junto da máquina
Avisar a equipa de manutenção	X		
Ir buscar a ferramenta	-	-	Pode ser eliminada se cada máquina tiver a sua ferramenta
Deslocação do mecânico	X		
Desapertar tubagem		X	
Desapertar cavilha móvel de fixação		X	
Arrumar acessório a retirar		X	
Posicionamento do equipamento enquadrado com acessório a colocar		X	Tempo pode ser reduzido com o correto posicionamento do acessório junto da máquina
Colocação da cavilha fixa do acessório		X	
Apertar a cavilha móvel de fixação		X	
Apertar tubagem		X	
Deslocação do equipamento para frente de trabalho	-	-	Operação a ser eliminada.
Arrumação da ferramenta	-	-	A ferramenta pode ser guardada a máquina

4.3.4. Avaliação e discussão das alterações – Fase 4

Nesta etapa pretende-se compreender se as ações delineadas foram implementadas. Na eventualidade de não terem sido implementadas deve-se procurar uma justificação para tal ter acontecido.

Para as ações implementadas, o objetivo passa por analisar os resultados obtidos. Deve procurar-se compreender não só se o cliente ficou satisfeito com as alternativas arrançadas, mas também a reação aos próprios trabalhadores, numa ótica de compreender as suas preocupações com as novas soluções encontradas.

Infelizmente o atual contexto não permitiu o desenvolvimento e aplicação das ações delineadas, não sendo assim possível desenvolver esta etapa do modelo. Contudo as mesmas foram idealizadas e acredita-se que podem trazer benefícios quer na disponibilidade como na eficiência dos equipamentos.

Para as manutenções corretivas com elevado tempo de paragem que foram analisadas, não foram tomadas nenhuma medidas visto ter sido consensual que a sua ocorrência era inesperada e difícil de prever. Após uma análise cuidada, foram identificadas as causas de cada uma, conforme abordado, e compreendeu-se que não existem medidas que possam ser levadas a cabo para não ocorrerem novamente visto terem sido questões extremamente incomuns.

Relativamente à eliminação ou minimização das fugas hidráulicas, é previsível que o reforço dos tubos e a colocação de uniões direcionais permita reduzir substancialmente o número de paragens motivadas por embates.

No que diz respeito a fugas derivadas da elevada pressão de trabalho e que são originadas pela degradação dos tubos, prevê-se que o tempo de paragem também seja significativamente reduzido. Esta redução será atingida através da redefinição de *layouts*, da reorganização da ferramentaria e da mudança de mentalidades das equipas de intervenção através da consciencialização para compreenderem o seu papel ativo nesta atividade.

Por sua vez, a preocupação do departamento de produção relativamente ao elevado tempo de paragem para troca de acessórios, será facilmente combatida através da metodologia SMED. Prevê-se que o tempo de mudança de acessórios das escavadoras seja facilmente minimizado em 50%, estimando-se que passe a ter uma duração de cerca de 13 minutos.

O próximo passo, após a implementação e análise das medidas propostas, e na eventualidade de serem bem sucedidas, poderia passar pela análise das manutenções preventivas, numa ótica mais profunda do que analisar meramente os índices de cumprimento e aderência. Seria útil, entre diversos aspetos, compreender a duração das mesmas e os recursos que estas necessitam. Esse seria o ponto de partida para identificar potenciais desperdícios que naturalmente existem, de forma a otimizar todo este processo.

De forma complementar, deve procurar-se também adotar algumas práticas Lean já implementadas, como é o caso do Brainstorming e do *Gemba Walk* para o departamento de manutenção. Estas duas práticas estão otimizadas para questões produtivas e de segurança sendo que, com algum estudo, facilmente poderão ser implementadas noutras áreas o que permitirá o surgimento de resultados bastante positivos nomeadamente na função manutenção em si.

5. Conclusões

Este trabalho pretende mostrar que o pensamento Lean pode ser muito mais abrangente do que o que se pode pensar. Este não está limitado a uma área específica e pode ser adaptado a qualquer área de uma organização, nomeadamente a manutenção.

O pensamento Lean é muito mais do que apenas a utilização de algumas ferramentas. A sua essência está na mentalidade das pessoas que compõem as organizações, na sua visão e no seu envolvimento. As ferramentas em si são apenas um suporte para auxiliar a mudança de paradigma. O objetivo deste trabalho não passa por apresentar todas as ferramentas existentes, mas sim aquelas que melhor se adaptam à gestão da manutenção e se enquadram no modelo proposto.

O modelo desenvolvido, assente nos ideais de melhoria contínua, é um modelo simples, de fácil compreensão, mas que procura incutir os conceitos Lean que permitem a obtenção de melhores resultados.

À data da conclusão deste trabalho a informação acerca dos resultados do modelo proposto não é ainda conhecida. Assim, como proposta de trabalho futuro, seria interessante compreender se as ações delineadas irão surtir os resultados operacionais desejados. Tudo indica que sim, pois não se está perante mudanças disruptivas, apenas pequenas alterações que, no final de um turno de trabalho, fazem grande diferença. Relativamente à sequência do modelo, no ambiente em que este está a ser implementado, tem tudo para ter continuidade pois os constantes desafios que o departamento de produção enfrenta exigem o desenvolvimento de novas soluções na abordagem à manutenção e à gestão dos equipamentos.

Referências bibliográficas

- Afey, I. H. (2010). Reliability-Centered Maintenance Methodology and Application: A Case Study. *Engineering*, 02(11), 863–873. <https://doi.org/10.4236/eng.2010.211109>
- Ahuja, I. P. S., & Khamba, J. S. (2008). Total productive maintenance: Literature review and directions. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 25(7), 709–756. <https://doi.org/10.1108/02656710810890890>
- Baluch, N., Abdullah, C., & Mohtar, S. (2012). TPM and lean maintenance - A critical review. *Interdisciplinary Journal of Contemporary Research in Business (IJCRB)*, 4(2), 850–857.
- Bhade, S., & Hegde, S. (2020). Improvement of Overall Equipment Efficiency of Machine by SMED. *Materials Today: Proceedings*, 24, 463–472. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.298>
- Bicheno, J. (2008). *The lean toolbox for service systems*. PICSIE books.
- Braglia, M., Frosolini, M., & Gallo, M. (2017). SMED enhanced with 5-Whys Analysis to improve set-up reduction programs: the SWAN approach. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 90(5–8), 1845–1855. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9477-4>
- Braglia, M., Frosolini, M., & Zammori, F. (2009). Overall equipment effectiveness of a manufacturing line (OEEML): an integrated approach to assess systems performance. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 20(1), 8–29. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1108/17410380910925389>
- Catelani, M., Ciani, L., Galar, D., & Patrizi, G. (2020). Optimizing Maintenance Policies for a Yaw System Using Reliability-Centered Maintenance and Data-Driven Condition Monitoring. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 69(9), 6241–6249. <https://doi.org/10.1109/TIM.2020.2968160>
- Chakravorty, S. S. (2009). Process Improvement: Using Toyota's A3 Reports. *Quality Management Journal*, 16(4), 7–26. <https://doi.org/10.1080/10686967.2009.11918247>
- Citeve. (2012). Ferramenta de Desenvolvimento e aplicação do Lean Thinking no STV. *Competitividade Responsável*, 1–24.

- Corrales, L. del C. N., Lambán, M. P., Hernandez Korner, M. E., & Royo, J. (2020). Overall equipment effectiveness: Systematic literature review and overview of different approaches. *Applied Sciences (Switzerland)*, *10*(18). <https://doi.org/10.3390/APP10186469>
- Dienst, S., Ansari, F., & Fathi, M. (2015). Integrated system for analyzing maintenance records in product improvement. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *76*(1–4), 545–564. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-6228-2>
- Drozyner, P. (2020). The impact of the implementation of management system on the perception of role and tasks of maintenance services and effectiveness of their functioning. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, *27*(2), 430–450. <https://doi.org/10.1108/JQME-09-2019-0089>
- Dudek-Burlikowska, M., & Szewieczek, D. (2009). The Poka-Yoke Method as an Improving Quality Tool of Operations in the Process. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, *36*(1), 95–102.
- Found, P., & Harrison, R. (2012). Understanding the lean voice of the customer. *International Journal of Lean Six Sigma*, *3*(3), 251–267. <https://doi.org/10.1108/20401461211282736>
- Ghinato, P. (1995). Sistema Toyota de produção: mais do que simplesmente Just-in-Time. *Production*, *5*(2), 169–189. <https://doi.org/10.1590/s0103-65131995000200004>
- Ghinato, P. (2007). *Jidoka: Mais do que “Pilar da Qualidade.”* 1–11.
- Godina, R., Silva, B. G. R., & Espadinha-Cruz, P. (2021). A DMAIC integrated fuzzy fmea model: A case study in the automotive industry. *Applied Sciences (Switzerland)*, *11*(8). <https://doi.org/10.3390/app11083726>
- Gomes, C. F., Yasin, M. M., & Simões, J. M. (2021). The emerging organizational role of the maintenance function: a strategic perspective. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, *27*(1), 144–168. <https://doi.org/10.1108/JQME-03-2017-0012>
- Grijalvo, M., Eliopoulos, M. F., & Morales-Alonso, G. (2020). Closing gap between new development and voice of customer. *Economics and Business Letters*, *9*(4), 279–288. <https://doi.org/10.17811/eb1.9.4.2020.279-288>
- Guo, Y., Gao, H., Cai, Z., Zhang, S., & Hu, F. (2019). Continuous Improvement of Industrial Engineering Education Based on PDCA Method and Structural Importance. *IEEE*

- International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2019-Decem*, 311–315. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2018.8607498>
- Gupta, G., & Mishra, R. P. (2018). Identification of Critical Components Using ANP for Implementation of Reliability Centered Maintenance. *Procedia CIRP*, 69(May), 905–909. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.122>
- Halme, J., & Aikala, A. (2012). Fault tree analysis for maintenance needs. *Journal of Physics: Conference Series*, 364(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/364/1/012102>
- Hartini, S., Ciptomulyono, U., & Anityasari, M. (2017). Extended value stream mapping to enhance sustainability: A literature review. *AIP Conference Proceedings*, 1902. <https://doi.org/10.1063/1.5010647>
- Herry, A. P., Farida, F., & Lutfia, N. I. (2018). Performance analysis of TPM implementation through Overall Equipment Effectiveness (OEE) and Six Big Losses. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 453(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/453/1/012061>
- Hicks, B. J. (2007). Lean information management: Understanding and eliminating waste. *International Journal of Information Management*, 27(4), 233–249. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2006.12.001>
- Huang, S. H., Dismukes, J. P., Shi, J., Su, Q., Razzak, M. A., Bodhale, R., & Robinson, D. E. (2003). Manufacturing productivity improvement using effectiveness metrics and simulation analysis. *International Journal of Production Research*, 41(3), 513–527. <https://doi.org/10.1080/0020754021000042391>
- Juran, J., & Godfrey, A. (1998). JURAN'S QUALITY HANDBOOK, 5th EDITION. In *JURAN'S QUALITY HANDBOOK, 5th EDITION*.
- Kannan, S., Li, Y., Ahmed, N., & El-Akkad, Z. (2007). Developing a Maintenance Value Stream map. *Institute of Industrial Engineers, Technical Societies and Divisions Lean Conference Proceedings*, 1–8.
- Kareem, J. A. H., & Talib, N. A. (2015). A review on 5S and total productive maintenance and impact of their implementation in industrial organizations. *Advanced Science Letters*, 21(5), 1073–1082. <https://doi.org/10.1166/asl.2015.6084>

- Khazraei, K., & Deuse, J. (2011). A strategic standpoint on maintenance taxonomy. *Journal of Facilities Management*, 9(2), 96–113. <https://doi.org/10.1108/14725961111128452>
- Knežević, V., Orović, J., Stazić, L., & Čulin, J. (2020). Fault tree analysis and failure diagnosis of marine diesel engine turbocharger system. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(12), 1–19. <https://doi.org/10.3390/jmse8121004>
- Lazecky, D., Kral, V., Rusek, S., & Gono, R. (2017). Software solution design for application of reliability centered maintenance in preventive maintenance plan. *Proceedings of the 2017 18th International Scientific Conference on Electric Power Engineering, EPE 2017*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/EPE.2017.7967354>
- Leksic, I., Stefanic, N., & Veza, I. (2020). The impact of using different lean manufacturing tools on waste reduction. *Advances in Production Engineering and Management*, 15(1), 81–92. <https://doi.org/10.14743/APEM2020.1.351>
- Li, J. W. (2003). Simulation-based comparison of push and pull systems in a job-shop environment considering the context of JIT implementation. *International Journal of Production Research*, 41(3), 427–447. <https://doi.org/10.1080/0020754021000037865>
- Liker, J. K. (2004). Learn How Almost Everything Works. In *The Toyota Way* (Issue UshaDarshni).
- Longaray, A. A., Laurino, F. C., Tondolo, V. A. G., & Munhoz, P. R. (2017). Proposta de aplicação do ciclo PDCA para melhoria contínua do sistema de confinamento bovino: um estudo de caso. *Sistemas & Gestão*, 12(3), 353–361. <https://doi.org/10.20985/1980-5160.2017.v12n3.1123>
- Malik, S. A., & Tian, Y. Z. (2006). Execution of continuous improvement practices in Spanish and Pakistani industry: A comparative analysis. *ICMIT 2006 Proceedings - 2006 IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology*, 2, 761–765. <https://doi.org/10.1109/ICMIT.2006.262323>
- Marques, P. A., & Requeijo, J. G. (2009). SIPOC and ISO 9000 Quality Management Systems. *3rd International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management, Iso 9001*, 1229–1238.
- McManus, H. L., & Millard, R. L. (2002). Value Stream Analysis and Mapping for Product Development. *Technology*, 20(3), 8–13. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11189459>

- Monden, Y. (2011). *Toyota production system: an integrated approach to just-in-time* (4th ed.). CRc Press.
- Mostafa, S., Dumrak, J., & Soltan, H. (2015). Lean Maintenance Roadmap. *Procedia Manufacturing*, 2(February), 434–444. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.076>
- Mostafa, S., Lee, S. H., Dumrak, J., Chileshe, N., & Soltan, H. (2015). Lean thinking for a maintenance process. *Production and Manufacturing Research*, 3(1), 236–272. <https://doi.org/10.1080/21693277.2015.1074124>
- Motta, P. C. D. (1996). Ambiguidades metodológicas do just-in-time. In *Organizações & Sociedade* (Vol. 4, Issue 7, pp. 117–131). <https://doi.org/10.1590/s1984-92301996000400005>
- Moubray, J. (1997). *Reliability-Centered Maintenance* (2nd ed.). Industrial Press Inc.
- Noon, M., Jenkins, S., & Lucio, M. M. (2000). Fads, techniques and control: The competing agendas of TPM and TECEX at the Royal Mail (UK). *Journal of Management Studies*, 37(4), 499–520. <https://doi.org/10.1111/1467-6486.00191>
- NP EN 15341 : 2009. (2009). *en 15341_2007.pdf*. Instituto Português da Qualidade.
- Oechsner, R., Pfeffer, M., Pfitzner, L., Binder, H., Müller, E., & Vonderstrass, T. (2002). From overall equipment efficiency (OEE) to overall Fab effectiveness (OFE). *Materials Science in Semiconductor Processing*, 5(4-5 SPEC.), 333–339. [https://doi.org/10.1016/S1369-8001\(03\)00011-8](https://doi.org/10.1016/S1369-8001(03)00011-8)
- Ohno, T. (1988). *Toyota production system: beyond large-scale production*. CRc Press.
- Padilla, R., & Pekmezci, T. (2011). A Framework for Designing a Lean Production System for SMEs, which eases the certification of ISO 9001 & 14001. *Diva-Portal*, 1–98. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:424709/FULLTEXT01.pdf>
- Palmer, V. S. (2001). Inventory management Kaizen. *Proceedings - 2nd International Workshop on Engineering Management for Applied Technology, EMAT 2001*, 55–56. <https://doi.org/10.1109/EMAT.2001.991311>
- Peralta, C. B. da L., Echeveste, M. E., Lermen, F. H., Marcon, A., & Tortorella, G. (2020). A framework proposition to identify customer value through lean practices. *Journal of*

Manufacturing Technology Management, 31(4), 725–747. <https://doi.org/10.1108/JMTM-06-2019-0209>

Pinto, J. P. (2013). *Manutenção Lean* (Lidel, Ed.; 1^a).

Pinto, V. M. (1994). *Gestão da manutenção*.

Pötters, P., Schmitt, R., & Leyendecker, B. (2018). Effectivity of quality methods used on the shop floor of a serial production—how important is Poka Yoke? *Total Quality Management and Business Excellence*, 29(9–10), 1200–1212. <https://doi.org/10.1080/14783363.2018.1488559>

Pyzdek, T., & Keller, P. (2003). The Six Sigma Handbook. In *Quality Progress* (Vol. 35, Issue 9).

Rodrigues, M., & Hatakeyama, K. (2006). Analysis of the fall of TPM in companies. *Journal of Materials Processing Technology*, 179(1–3), 276–279. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.03.102>

Rother, M., & Shook, J. (2003). Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda (Lean Enterprise Institute). In *Lean Enterprise Institute Brookline* (p. !). http://www.leanenterprises.com/Library/Learning_to_See_Foreword.pdf

Sadri, R., Taheri, P., Azarsa, P., & Ghavam, H. (2011). Improving Productivity through Mistake-proofing of Construction Processes. *International Conference on Intelligent Building and Management*, 5, 280–284. https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/6108430/50-icccm2011-b0014.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1530203583&Signature=MA%2B4%2BMFsTislwY6f2X7sSuznd%2B0%3D&response-content-disposition=inline%3B filename%3DImproving_Productivity

SAE JA 1011 : 2009. (2009). *Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes* (pp. 1–12). SAE - Society of Automotive Engineer.

Sawhney, R., Kannan, S., & Li, X. (2009). Developing a value stream map to evaluate breakdown maintenance operations. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 4(3), 229–240. <https://doi.org/10.1504/IJISE.2009.023539>

Sharma, A. K. (2012). Manufacturing Performance and Evolution of Tpm. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 4(3), 854–866.

- Shingo, S., & Dillon, A. (1989). *A study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint: From an Industrial Engineering Viewpoint*. Productivity Press.
- Silva, I. B., & Filho, M. G. (2019). Single-minute exchange of die (SMED): a state-of-the-art literature review. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *102*(9–12), 4289–4307.
- Singh, J., & Singh, H. (2012). Continuous improvement approach: State-of-art review and future implications. *International Journal of Lean Six Sigma*, *3*(2), 88–111. <https://doi.org/10.1108/20401461211243694>
- Slack, R. a. (1999). The lean value principle in military aerospace product development. *The Lean Aerospace Initiative*, *17*.
- Smith, R. (2004). What Is Lean Maintenance? *Maintenance Technology*, *October* 1–10.
- Sobek, D. K., & Jimmerson, C. (2006). A3 reports: Tool for organizational transformation. *2006 IIE Annual Conference and Exhibition*.
- Souza, R. D. Q., & Álvares, A. (2008). FMEA and FTA analysis for application of the reliability-centered maintenance methodology: case study on hydraulic turbines. *ABCM Symposium Series in Mechatronics*, *3*, 803–812. [http://www.generalpurposehosting.com/updates/jun09/FMEA AND FTA ANALYSIS FOR APPLICATION OF THE RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE METHODOLOGY - CASE STUDY ON HYDRAULIC TURBINES.PDF](http://www.generalpurposehosting.com/updates/jun09/FMEA_AND_FTA_ANALYSIS_FOR_APPLICATION_OF_THE_RELIABILITY-CENTERED_MAINTENANCE_METHODODOLOGY_-_CASE_STUDY_ON_HYDRAULIC_TURBINES.PDF)
- Stenström, C., Norrbin, P., Parida, A., & Kumar, U. (2016). Preventive and corrective maintenance – cost comparison and cost–benefit analysis. *Structure and Infrastructure Engineering*, *12*(5), 603–617. <https://doi.org/10.1080/15732479.2015.1032983>
- Thorat, R., & Mahesha, G. T. (2020). Improvement in productivity through TPM Implementation. *Materials Today: Proceedings*, *24*, 1508–1517. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.470>
- Tiddens, W., Braaksma, J., & Tinga, T. (2020). Exploring predictive maintenance applications in industry. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 1–17. <https://doi.org/10.1108/JQME-05-2020-0029>

- UNE EN 13306, & Standardization, E. C. for. (2017). *EN 13306 : Maintenance - Maintenance terminology*. 98. <http://hadidavari.com/wp-content/uploads/2018/12/BS-EN-13306-2017.pdf>
- van Patten, J. (2006). A second look at 5S. *Quality Progress*, 39(10), 55–59.
- Vi Nguyen , Nam Nguyen, B. S. and T. T. (2020). applied sciences Practical Application of Plan – Do – Check – Act Cycle for Quality Improvement of Sustainable Packaging : *Appl. Sci.*, 10(6332), 1–15. doi:10.3390/app10186332
- Willmott, P. (1994). Total quality with teeth. *Research and Development Report - Canadian Electrical Association*, 6(T 750), 48–50.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). *Lean thinking—banish waste and create wealth in your corporation*. Free Press.
- Zeinalnezhad, M., Chofreh, A. G., Goni, F. A., & Klemeš, J. J. (2020). Critical success factors of the reliability-centred maintenance implementation in the oil and gas industry. *Symmetry*, 12(10), 1–14. <https://doi.org/10.3390/SYM12101585>