

# **Aplicação de Metodologias Kaizen & TPM na Indústria de Transformação de Metal**

*Duarte da Costa Lima Calvão*

**Dissertação de Mestrado**

Orientador na FEUP: Prof. Jorge Rui Guimarães Freire de Sousa

Orientador no Instituto Kaizen: Eng.º Luís Filipe Monteiro Martins Monjardim Quelhas



**Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial**

2019-06-30

*Aos meus amigos e família*

## Resumo

A crescente competitividade do setor metalúrgico, nomeadamente a nível internacional, com o crescimento do setor em países com a dimensão da China ou da Índia, leva a uma necessidade imperativa na reformulação da atividade operacional, com o objetivo de alcançar maior eficiência.

Em Portugal, a indústria metalúrgica conta com uma longa história de sucesso desde o seu surgimento, sendo que em 2017 ultrapassou a barreira dos 16 mil milhões de euros em exportações para o país, tornando-a no setor industrial que mais contribui à economia Portuguesa.

Sendo uma indústria caracterizada por elevados custos fixos em maquinaria, é essencial a rentabilização destes ativos como estratégia de competitividade financeira e de mercado.

A eficiência de processos permite uma maior criação de valor ao cliente, o que constitui a base da filosofia *lean*. O conceito *kaizen* serve-se da aplicação de ferramentas *lean*, e da participação de toda a estrutura hierárquica da organização, com o objetivo de implementar a melhoria contínua.

A presente dissertação descreve a implementação de um plano de aplicação de metodologias *Kaizen* e *Lean maintenance* numa empresa do setor metalúrgico, com o objetivo de melhoria de eficiência operacional.

A implementação do projeto arrancou no mês de fevereiro de 2019 e ainda se encontra em curso.

O projeto de melhoria incidiu na disponibilidade de máquina da maior linha de fabrico da empresa. Durante uma fase de planeamento prévia à implementação do projeto, registaram-se elevados tempos de troca de ferramenta para uma máquina responsável por grande número de referências. De seguida, verificou-se também um elevado tempo de máquina parada devido a avarias. Para a primeira causa de perda de disponibilidade foi aplicada a metodologia SMED como forma de redução de tempos de *setup*. Como forma de redução de avarias e maior eficiência dos técnicos de manutenção, foram aplicadas ferramentas *Lean Maintenance*, tais como a manutenção autónoma, a organização dos locais de trabalho e a reestruturação das equipas por zona de máquina.

Os resultados obtidos com a implementação do projeto permitiram aumentos de eficiência por ambas as vias de atuação. Verificaram-se alterações de mercado que levaram a uma redução do tamanho de lote de fabrico da empresa. Esta redução do tamanho de lote, apesar de ter influenciado negativamente o objetivo inicialmente traçado para o projeto, veio expor a necessidade da empresa em seguir o caminho de redução de preparação e troca de ferramenta efetiva, como fator competitivo face à necessidade de redução do tamanho de lote.

Concluindo, o aumento de disponibilidade registado permite à empresa uma maior rentabilização dos seus ativos e uma maior capacidade de resposta face às exigências de mercado.

# **Application of Kaizen and Lean Maintenance in the metal transformation industry**

## **Abstract**

The increasing competitiveness of the metallurgical sector, particularly at the international level, with the growth of the sector in countries with the size of China or India, leads to an imperative need in the reformulation of the operational activity, in order to achieve greater efficiency.

In Portugal, the metallurgical industry has had a long history of success since its inception, and in 2017 it surpassed the barrier of 16 billion euros in exports to the country, making it the industrial sector that contributes most to the Portuguese economy.

Being an industry characterized by high fixed costs in machinery, it is essential to monetize these assets as a strategy of financial and market competitiveness.

Process efficiency enables greater customer value creation, which forms the basis of lean philosophy. The Kaizen concept uses lean tools and the participation of the organization's entire hierarchical structure, with the goal of implementing continuous improvement.

The present dissertation describes the implementation of a plan of application of Kaizen and Lean maintenance methodologies in a company of the metallurgical sector, with the objective of improving operational efficiency.

The implementation of the project started in February 2019 and is still ongoing.

The improvement project focused on the machine availability of the company's largest manufacturing line. During a planning phase prior to the implementation of the project, there were high tool change times for a machine responsible for a large number of references. Thereafter, a high downtime was also observed due to malfunctions. For the first cause of loss of availability, the SMED methodology was applied as a way to reduce setup times. Lean Maintenance tools, such as autonomous maintenance, the organization of workplaces and the restructuring of the teams per machine zone were applied as a way of reducing faults and improving the efficiency of the maintenance technician's activity.

The results obtained with the implementation of the project allowed for efficiency increases in both ways. There were market changes that led to a reduction in the manufacturing batch size of the company. This reduction of the batch size, in spite of having negatively influenced the objective initially traced to the project, has exposed the need of the company to follow the path of reduction of preparation and exchange of effective tool, as a competitive factor against the necessity of decreasing the lot size.

In conclusion, the increased availability recorded enables the company to become more profitable and more responsive to market requirements

## Agradecimentos

Ao engenheiro Luís Filipe Quelhas, um especial agradecimento pelo apoio incansável, orientação, paciência, exigência, amizade e por toda a confiança transmitida ao longo desta etapa de grande aprendizagem.

Ao professor Jorge Freire de Sousa pela orientação durante a realização da dissertação e pela disponibilidade demonstrada.

Aos engenheiros Isabel Rodrigues e Daniel Correia pelo acompanhamento, disponibilidade e amizade demonstrados ao longo de todo o projeto.

Aos meus pais e irmãos, fundamentais na minha formação pessoal.

E por último, ao programa de *Erasmus Mundus* ELARCH pela oportunidade única de viver uma cultura ímpar como a Peruana.

# Índice de Conteúdos

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	ENQUADRAMENTO DO PROJETO E MOTIVAÇÃO .....	1
1.2	O INSTITUTO KAIZEN.....	1
1.3	OBJETIVOS E QUESTÕES DE INVESTIGAÇÃO.....	1
1.4	METODOLOGIA.....	2
1.5	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	2
<b>2</b>	<b>ENQUADRAMENTO TEÓRICO.....</b>	<b>3</b>
2.1	FILOSOFIA KAIZEN .....	3
2.2	PRINCÍPIOS KAIZEN.....	3
2.2.1	<i>Foco na criação de valor para o cliente .....</i>	<i>3</i>
2.2.2	<i>Eliminação do desperdício .....</i>	<i>4</i>
2.2.3	<i>Gestão Visual.....</i>	<i>4</i>
2.2.4	<i>Ir ao Gemba .....</i>	<i>4</i>
2.2.5	<i>Envolvimento Ativo dos Colaboradores .....</i>	<i>4</i>
2.3	FERRAMENTAS KAIZEN LEAN .....	4
2.3.1	SMED .....	4
2.3.2	Sistema Kanban .....	6
2.3.3	Método Kamishibai.....	6
2.4	OEE .....	6
2.5	TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE.....	6
2.5.1	5S como base do TPM.....	7
2.5.2	Pilares da implementação do TPM .....	8
2.5.3	Definição e implementação de um plano TPM .....	8
<b>3</b>	<b>ANÁLISE DA SITUAÇÃO INICIAL.....</b>	<b>12</b>
3.1	DEFINIÇÃO DE PROJETO PILOTO .....	12
3.2	MUDANÇAS DE FERRAMENTA .....	13
3.3	AVARIAS.....	15
3.3.1	<i>Tipos de manutenção.....</i>	<i>15</i>
3.3.2	<i>Estruturação do departamento de manutenção .....</i>	<i>15</i>
3.3.3	<i>Shadowing .....</i>	<i>15</i>
3.3.4	<i>Análise de Avarias.....</i>	<i>16</i>
3.4	DEFINIÇÃO DE OBJETIVOS .....	16
3.5	DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO.....	17
<b>4</b>	<b>IMPLEMENTAÇÃO DE SOLUÇÕES .....</b>	<b>20</b>
4.1	DEFINIÇÃO E ACOMPANHAMENTO DOS INDICADORES .....	20
4.2	DESENHO DE SOLUÇÕES.....	20
4.3	CRONOGRAMA DE IMPLEMENTAÇÃO .....	21
4.4	ORGANIZAÇÃO DO LOCAL DE TRABALHO.....	21
4.5	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SMED.....	23
4.5.1	<i>Estudo do trabalho .....</i>	<i>23</i>
4.5.2	<i>Separação entre trabalho interno e externo .....</i>	<i>24</i>
4.5.3	<i>Transformação de trabalho interno em trabalho externo.....</i>	<i>24</i>
4.5.4	<i>Redução de trabalho interno .....</i>	<i>24</i>
4.5.5	<i>Redução de trabalho externo .....</i>	<i>25</i>
4.5.6	<i>Normalização do processo.....</i>	<i>28</i>
4.5.7	<i>Kamishibai para confirmação do processo .....</i>	<i>28</i>
4.6	MANUTENÇÃO AUTÓNOMA .....	29
4.7	REESTRUTURAÇÃO DA EQUIPA DE INTERVENÇÃO CORRETIVA .....	32
4.8	KOBETSU KAIZEN.....	32
4.8.1	<i>Obtenção de dados.....</i>	<i>32</i>
4.8.2	<i>Dinâmica da Reunião.....</i>	<i>33</i>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS OBTIDOS .....</b>	<b>35</b>
5.1	SMED.....	35

5.2	LIBERTAÇÃO DAS EQUIPAS DE INTERVENÇÃO .....	37
5.3	PERDAS DE DISPONIBILIDADE POR AVARIA .....	38
5.4	OBJETIVO DE PROJETO – DISPONIBILIDADE.....	38
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>40</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>41</b>

## Índice de Figuras

Figura 1: <i>Kaizen</i> Change Model.....	3
Figura 2: Vantagens da metodologia SMED.....	5
Figura 3: Esquema de cálculo do indicador OEE.....	6
Figura 4: Esquema dos benefícios associados à manutenção autónoma.....	10
Figura 5: Distribuição de perdas de disponibilidade para o ano de 2018.....	13
Figura 6: Tempo, em minutos, dedicado a trocas de ferramenta (2º semestre 2018).....	14
Figura 7: Armário Rolamentos.....	14
Figura 8: Ferramentas diversas.....	14
Figura 9: Tipo de tarefas realizadas durante avaria.....	16
Figura 10: Percentagem de tempo de abertura de máquina dedicado a intervenção corretiva.....	16
Figura 11: Stock intermédio bobines após corte.....	17
Figura 12: Desbobinador.....	17
Figura 13: Conformação em tubo redondo.....	18
Figura 14: Aplicação do ponto de soldadura.....	18
Figura 15: máquina de corte.....	19
Figura 16: Stock de produto acabado.....	19
Figura 17 Exemplo de aplicação do Power BI.....	20
Figura 18: Caixas SUC utilizadas nos supermercados avançados de consumíveis.....	22
Figura 19: Supermercado de consumíveis de apoio à produção.....	23
Figura 20: Suporte de montagem do bloco superior da zona de soldadura.....	25
Figura 21: Suporte para transporte simultâneo de ferramentas.....	25
Figura 22: Comando para ajuste automático de máquina.....	25
Figura 23: Alteração layout da zona de passagem.....	25
Figura 24: Plataforma de apoio ao operador.....	25
Figura 25: Estrutura deslizante.....	26
Figura 26: Zona de pré-montagem da ferramenta.....	27
Figura 27: Armazém de ferramentas.....	27
Figura 28: Quadro Confirmação Processo.....	28
Figura 29: Norma visual para tipo de intervenção.....	29
Figura 30: Norma visual para periodicidade tarefa.....	29
Figura 31: Símbolo de Manutenção Autónoma.....	30
Figura 32: Quadro de rotas e histórico de realização de manutenção autónoma.....	30
Figura 33: Ponto de Manutenção Autónoma.....	31
Figura 34: Quadro de apoio à manutenção autónoma.....	31
Figura 35: Novo Modelo de Atuação.....	32
Figura 36: Excerto de árvore de máquina para a linha Nakata.....	33
Figura 37: Paretos por zona de máquina e subgrupo.....	33
Figura 38: Exemplo aplicação 5 porquês utilizado numa das sessões.....	33
Figura 39: Quadro de apoio à reunião.....	34
Figura 40: Evolução das trocas de ferramenta ao longo do projeto.....	35
Figura 41: Análise do impacto da rotatividade da ferramenta na performance da equipa e na disponibilidade da máquina.....	36
Figura 42: Evolução Horas x Homem corretivas.....	37
Figura 43: Evolução da indisponibilidade de máquina devido a avarias.....	38
Figura 44: Evolução da disponibilidade e principais fatores associados.....	39

## Índice de Tabelas

Tabela 1: Cronograma de Implementação do projeto .....	2
Tabela 2: Metodologia 5S .....	8
Tabela 3: Disponibilidade por linha de tubo .....	12
Tabela 4: Custos Operacionais por linha de tubo .....	12
Tabela 5: Modo operatório Troca ferramenta total .....	13
Tabela 6: Shadowing da atuação de equipa de intervenção corretiva .....	15
Tabela 7: Soluções definidas .....	20
Tabela 8: Cronograma de implementação dos supermercados de consumíveis.....	21
Tabela 9: Novo procedimento para troca de ferramenta completa.....	28
Tabela 10: Cronograma implementação Manutenção Autónoma .....	29

# 1 Introdução

## 1.1 Enquadramento do projeto e motivação

No âmbito da dissertação do Mestrado Integrado de Engenharia Industrial e Gestão, foi desenvolvido um projeto inserido nas atividades de consultoria da empresa Kaizen Institute.

O projeto foi implementado numa empresa familiar do setor metalúrgico, na unidade industrial de Portugal.

O âmbito definido incide na melhoria da performance de equipamentos de conformação de tubo metálico, através da aplicação de metodologias *Kaizen* e *Lean Maintenance*.

O objetivo final é o aumento de performance dos equipamentos. Um dos focos de atuação é a melhoria da disponibilidade do equipamento, por via da diminuição de tempos de troca de ferramenta e pela diminuição da taxa de avarias do equipamento (temas relacionados com a operação direta do equipamento). Outro vetor de atuação remete para a melhoria da produtividade e para a reação da equipa do Dep. Técnico na resolução de paragens não programadas (avarias), através de um processo eficaz de resolução estruturada de problemas de performance ou quebra de equipamento.

Perante um equipamento de elevado custo e uma indústria de capital intensivo, pretende-se a melhoria da performance, de modo a assegurar maior retorno financeiro, através do aumento da taxa horária de produção, e também da rentabilização do equipamento através do prolongamento da sua vida útil.

## 1.2 O Instituto Kaizen

O Instituto *Kaizen* é uma empresa de consultoria multinacional, fundada em 1985 por Masaaki Imai. Pouco tempo depois, Imai publica o livro “*Kaizen: The Key to Japan’s Competitive Success*”, onde é descrito o *Toyota Production System*, método de gestão que deu origem ao *Kaizen*. Do japonês “mudar para melhor”, é uma filosofia de gestão assente na melhoria contínua e redução de desperdício através do envolvimento de todos os colaboradores da organização. A atividade do *Kaizen Institute* tem como bases o desenho e implementação de soluções apoiadas nesta filosofia de melhoria contínua.

Em Portugal, o Instituto *Kaizen* está presente desde 1999 e conta já com algumas das maiores empresas portuguesas na sua carteira de clientes, tendo vindo a crescer expressivamente a nível de presença no mercado, contando com projetos nos mais variados setores de atividade.

## 1.3 Objetivos e questões de investigação

Devido à baixa eficiência das linhas de produção, a empresa necessita de um plano de melhoria, implementação e esforço dos intervenientes no sentido de melhorar a sua atuação.

As paragens de máquina prolongadas e evitáveis correspondem a um encargo para a empresa devido aos custos de oportunidade de paragem, bem como baixa rentabilização dos elevados investimentos em equipamentos.

Neste sentido foi estabelecida uma parceria entre a empresa e o *Kaizen Institute*. Numa primeira fase deu-se o planeamento do projeto em que foram definidos os equipamentos-alvo, bem como as melhorias a introduzir. Estas melhorias foram desenhadas através da aplicação de metodologias *Kaizen* e *Total Productive Maintenance*. Seguiu-se a definição de objetivos para o projeto. O objetivo definido para o projeto foi a melhoria da eficiência de linha de tubo, via disponibilidade, em 10 pontos percentuais.

#### 1.4 Metodologia

Com vista à obtenção do objetivo de melhoria definido para o projeto, foram acordadas as seguintes resoluções:

- Reorganização dos locais de trabalho;
- Implementação de SMED com vista à redução de tempos de troca de ferramenta;
- Implementação de plano de manutenção autónoma;
- Reorganização das equipas de manutenção;
- Implementação de metodologia para a resolução estruturada de avarias.

	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Reorganização espaços trabalho					
SMED					
Plano Manutenção autónoma					
Reorganização equipas manutenção					
Metodologia resolução de avarias					

Tabela 1: Cronograma de Implementação do projeto

#### 1.5 Estrutura da dissertação

O documento encontra-se dividido em seis secções. A secção atual é constituída por um breve enquadramento ao projeto desenvolvido, sendo enunciados os objetivos propostos bem como a metodologia seguida.

Na segunda secção é feito um enquadramento teórico que aborda a metodologia *Kaizen*, o conceito de SMED, o cálculo do OEE e alguns pontos relevantes relativos à filosofia TPM, De seguida, apresenta-se a situação inicial da empresa estudada, a atuação da equipa de produção quanto às trocas de ferramenta, a atuação da equipa de manutenção sobre a ocorrência de avarias e o seu processo produtivo com algum detalhe.

A quarta secção incide sobre a definição das soluções para a melhoria do indicador objetivo, bem como a implementação das soluções desenhadas no terreno.

A análise dos resultados obtidos é o tópico abordado na quinta secção. A avaliação destes resultados tem por base a análise de indicadores relevantes para o projeto.

Por último, na sexta secção do documento, conclui-se sobre o desenvolvimento do projeto e resultados, e apresentam-se propostas de seguimento ao trabalho desenvolvido.

## 2 Enquadramento Teórico

De modo a apoiar a definição e implementação das ações estipuladas, é apresentado um capítulo teórico que aborda temas que foram relevantes para a resolução do problema em questão. Efetuou-se uma pesquisa sobre a metodologia *Kaizen*, de modo a introduzir os pilares fundamentais desta filosofia, objetivos e conceitos mais relevantes.

Seguidamente, procede-se a uma descrição das ferramentas *Lean* relevantes para a abordagem ao problema. São estas o SMED - *Single Minute Exchange of Die*, fundamental para o objetivo de redução do tempo de *changeover*, bem como a metodologia e princípios subjacentes a esta ferramenta, o Sistema *Kanban*, aplicado ao controlo do nível de inventário, e o Método *Kamishibai*, aplicado como suporte visual de auditoria.

Introduz-se o conceito de OEE - *Overall Equipment Efficiency* como indicador da eficiência de equipamentos e a respetiva forma de cálculo, já que é no aumento de uma das componentes deste indicador que reside o objetivo desta dissertação. Por último, procede-se a uma revisão do TPM - *Total Productive Maintenance*, filosofia que incide no aumento de produtividade industrial. Refere-se o contexto em que surgiu, a sua definição formal, objetivos e pilares de implementação bem como os modos de aplicação das atividades abordadas por esta filosofia.

### 2.1 Filosofia Kaizen

O *Kaizen Business System*, ilustrado na Figura 1, engloba um conjunto de metodologias que visa a criação de valor a longo prazo. O paradigma dos modelos tradicionais consiste na crença de que o investimento em inovação é a principal via para a resolução dos problemas da empresa. Por outro lado, a filosofia *Kaizen* defende o progresso incremental dos processos, visando assim o benefício a longo prazo com menores custos associados.

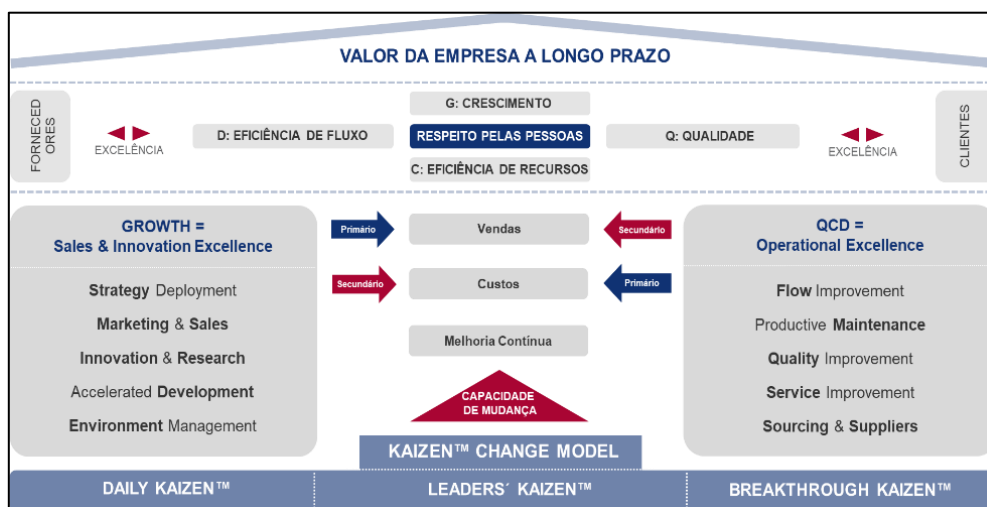


Figura 1: *Kaizen* Change Model

### 2.2 Princípios Kaizen

A implementação de projetos inseridos no âmbito *Kaizen* estão alicerçados em 5 princípios fundamentais:

#### 2.2.1 Foco na criação de valor para o cliente

O cliente apenas está disposto a pagar por atividades que transformam o produto ou geram o serviço. Estas atividades, de valor acrescentado, deverão ser o foco principal e todas as restantes (sem valor acrescentado) deverão ser progressivamente reduzidas até serem finalmente eliminadas (se possível). Este princípio permite obter vantagens competitivas face à concorrência, já que as operações da organização estão alinhadas com as necessidades do cliente.

### 2.2.2 Eliminação do desperdício

(Ohno 1988) categoriza o desperdício em sete tipos:

- espera de pessoas;
- espera de material e informação;
- movimento de pessoas;
- movimento de material e informação;
- excesso de produção;
- sobre processamento e retrabalho.

O efeito de eliminação do desperdício é a redução de custos desnecessários e o aumento da produtividade.

### 2.2.3 Gestão Visual

O objetivo é simplificar a comunicação entre as equipas de modo a tornar os processos e o desempenho visíveis e perceptíveis, através de normas visuais.

A fácil perceção da informação permite um maior envolvimento dos colaboradores na deteção e discussão de problemas, o que se traduzirá num maior desempenho das equipas e numa maior integração e motivação de todos.

### 2.2.4 Ir ao *Gemba*

*Gemba* tem origem no japonês e significa local da ação. É, portanto, utilizado para indicar o local onde se cria valor. É aqui que devem ser observados os processos e atividades que geram valor, com o objetivo de detetar desperdícios e oportunidades de melhoria.

As ações encontradas deverão ser discutidas e definidas pelas equipas responsáveis, mas sempre com a gestão de topo envolvida, de modo a criar o sentido de urgência para as ações mais importantes e relevantes para a organização e deste modo facilitar a execução do plano de ações.

### 2.2.5 Envolvimento Ativo dos Colaboradores

O alinhamento da estrutura como um todo com a visão proposta é o que potencia a mudança, já que é na mudança cultural da organização, ou seja, nos hábitos praticados por todos, que se obtém a melhoria contínua. A adoção de novas práticas é mais facilmente aceite se for abandonada a culpabilização individual dos problemas, e adotado o esforço colaborativo para a sua resolução. É assim importante que quem lidera dê o exemplo e que existam programas não apenas para o desenvolvimento de equipas, mas também de líderes.

## 2.3 Ferramentas *Kaizen* Lean

Nesta secção serão abordadas algumas ferramentas inerentes à filosofia *Kaizen* e que se relacionam com o problema abordado na presente tese. São estas a ferramenta SMED - *Single Minute Exchange of Die*, o sistema *Kanban* e o método *Kamishibai*.

### 2.3.1 SMED

Shigeo Shingo, engenheiro japonês que ajudou a definir o *Toyota Production System*, define o SMED como uma abordagem científica para redução de *setup*, que pode ser aplicada em qualquer fábrica ou equipamento (Shingo 1985).

*Setup* é definido como o tempo despendido em paragem de máquina para troca de ferramenta, onde não há adição de valor. Neste tempo estão incluídas tarefas como preparação, ajustes e afinações, limpezas e o tempo efetivamente utilizado em troca de ferramenta.

Em contextos onde há grande variedade de produtos e tempos de *setup* altos, o tempo despendido em trocas de ferramenta pode ser a principal causa de perda de eficiência (Coimbra 2013).

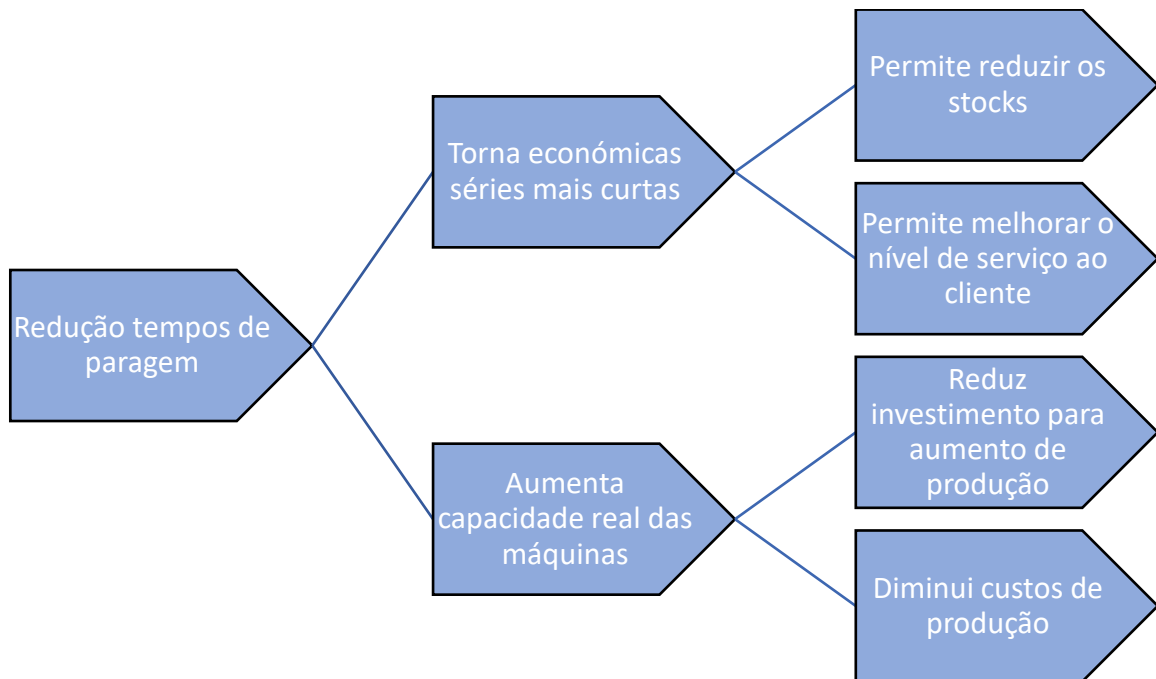


Figura 2: Vantagens da metodologia SMED

O método de implementação consiste em 5 passos (Coimbra 2013):

1. **Estudo da situação atual**, através da observação, mapeamento e análise de toda a sequência de atividades realizada atualmente;
2. **Separação entre trabalho externo e trabalho interno**, correspondendo a trabalho interno o conjunto de tarefas realizadas somente com equipamento parado e a trabalho externo as atividades passíveis de serem realizadas com equipamento em funcionamento;
3. **Conversão de trabalho interno em trabalho externo**, através da identificação de oportunidades de melhoria que permitam a sua execução em modo externo;
4. **Redução trabalho interno;**
5. **Redução trabalho externo.**

Para os passos 4 e 5, de modo a reduzir o tempo despendido em operações, quer externas quer internas, é necessária a implementação de medidas com base nos seguintes princípios (Hirano and Furuya 2006):

- Minimização de deslocações por parte do operador;
- Redução do número de apertos, diversidade de componentes e ferramentas que permitam reduzir tempos de ajustes/apertos e uniformizar as ferramentas;
- Realização de atividades em paralelo;
- Eliminação de ajustes através de afinações corretas.

Abraham realizou um caso de estudo que demonstra o potencial que o SMED tem na produtividade da máquina (Abraham, Ganapathi et al. 2012). Ao aplicar a metodologia numa linha de estampagem, Abraham começou por mapear o processo de modo a poder identificar as diferentes tarefas do *changeover*. Deste mapeamento, concluiu-se que dos 400 minutos totais de troca de ferramenta, cerca de 38% eram dedicados a tarefas que poderiam ser efetuadas com máquina funcional. Após normalização de tarefas externas e introdução de melhorias técnicas

de componentes tais como sistemas de fixação e simplificação dos sistemas de montagem, foi obtido uma melhoria de 70% relativamente ao tempo inicial de *setup*, passando de 400 para 120 minutos. Esta diminuição de tempo de *setup* teve um impacto de 75% no output da máquina, que passou de uma taxa produção de 60000 para 105000 produtos por dia.

### 2.3.2 Sistema Kanban

O Kanban é um subsistema do *Toyota Production System*, utilizado no controlo do nível de inventário, bem como da produção (Sugimori, Kusunoki et al. 1977), sendo uma estratégia para a minimização do inventário e redução de custos (Rahman 2013)

*Kanban* é uma palavra de origem Japonesa, que significa parte visível. Uma descrição ilustrativa do propósito deste sistema seria a de um cliente de um determinado produto “puxar” apenas aquilo que necessita ao fornecedor desse produto. O objetivo consiste no fornecedor apenas produzir quando o cliente pede (Gupta 1999).

### 2.3.3 Método Kamishibai

*Kamishibai* tem origem no Japonês e significa teatro de sombras. Surge no início do século XIX como meio de comunicação. Consiste na representação de uma imagem que serve como base a uma história.

A aplicação deste princípio de comunicação à indústria surge na Toyota, com o intuito de auditar procedimentos adotados. O objetivo passa por apoiar o processo de auditoria através de quadros e cartões, de forma a gerir a informação obtida (Koch 2012).

## 2.4 OEE

É composto pelo produto de Disponibilidade, Performance e Qualidade da produção. Este indicador está correlacionado com o output da organização industrial (Hansen 2005), sendo por isso utilizado como representação do desempenho industrial.

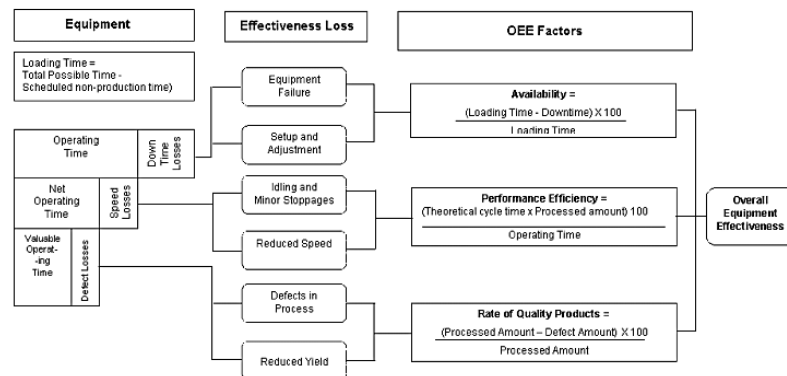


Figura 3: Esquema de cálculo do indicador OEE

Alguns tipo de perdas comuns associadas ao OEE são (Suzuki 1992):

- paragens forçadas para manutenção planeada;
- avarias de máquina, que forçam a intervenção, por vezes demorada, dos técnicos de manutenção;
- perdas de produção devido a trocas de referência e velocidades abaixo da velocidade *standard*;
- perdas de qualidade, que implicam retrabalho ou até a perda total dos produtos não conformes.

## 2.5 Total Productive Maintenance

Em meados do século XX, a indústria Japonesa registou elevados investimentos em máquinas de modo a reduzir a dependência em mão-de-obra. Esta tendência, associada ao surgimento da

filosofia *Just-In-Time*, estimularam a melhoria da gestão da manutenção (Suzuki 1992). Este fenómeno deu origem ao *Total Productive Maintenance* (TPM).

De acordo com a definição revista em 1989 pelo *Japan Institute of Plant Maintenance*, o TPM é um sistema de envolvimento de toda a organização, desde o chão de fábrica ao *board* executivo, e transversal a todos os departamentos, que visa a maximização da eficácia do sistema produtivo (JIPM 2019).

O TPM tem como estratégias para o aumento de produtividade (Kaizen 2018):

- **a maximização do indicador OEE**, através do estabelecimento de um plano de manutenção produtiva;
- **o aumento da eficiência dos agentes envolvidos**, através do envolvimento de toda a equipa na discussão e tomada de decisão..

Ireland e Dale estudaram os critérios necessários para o sucesso da implementação de um plano de TPM. O estudo, conduzido em quatro unidades de negócios de duas fábricas envolvidas no processamento de produtos de alta integridade, concluiu que o nível de envolvimento das chefias é fundamental para o sucesso do TPM e que o líder da implementação deve ser motivado e proativo para maximizar as reuniões com a gerência, promover o TPM e implementar o treino recebido (Ireland and Dale 2006).

De forma a avaliar o impacto da implementação de um plano TPM, Kodali e Chandra realizaram um estudo onde, através de uma análise AHP (*Analytical Hierarchy Process*) se pretende relacionar a implementação do TPM com os seguintes benefícios: produtividade, qualidade, custo, nível de serviço, segurança, motivação, ambiente de trabalho e vantagem competitiva. O resultado obtido permitiu ao autor concluir que a implementação de um plano TPM tem como vantagens a melhoria da eficiência dos equipamentos envolvidos, melhoria da qualidade do produto, melhoria do nível de serviço e por último a melhoria do ambiente de trabalho (Kodali and Chandra 2001).

### 2.5.1 5S como base do TPM

A metodologia dos 5S surgiu no Japão, com vista à organização do local de trabalho. O nome 5S deve-se à terminologia japonesa dos 5 princípios utilizados nesta metodologia, representados na tabela 2.

O sistema TPM como um todo é suportado por uma correta organização do local de trabalho, através da aplicação de 5S (Sharma 2012).

De modo a eliminar as perdas associadas ao OEE, é necessário promover a motivação das equipas de *Gemba*, bem como aumentar as suas competências para a criação de um local de trabalho seguro e organizado, que suporte e potencie a implementação do TPM. Em contexto industrial, espaços de trabalho desorganizados, onde ferramentas e componentes de máquina são de difícil localização, levam a perdas que conduzem ao aumento do tempo de reparação de componentes e também ao aumento dos tempos de mudança de ferramenta (Pomorski 2004, Sharma and Singh 2015).

Um estudo conduzido numa empresa do setor automóvel na Roménia, com o objetivo de analisar a relação estatística entre a aplicação de 5S e o aumento de produtividade, revelou que há evidência estatística que corrobora uma relação positiva entre as duas variáveis. O autor conclui que a implementação e sustentação dos 5S conduz a um ganho direto de performance, e que os 5S são um ponto de partida para qualquer empresa que queira atingir objetivos ambiciosos (Veres, Marian et al. 2017).

	<b>Termo em Japonês</b>	<b>Termo em Português</b>	<b>Descrição</b>
<b>1</b>	<i>Seiri</i>	Triar	Separar os elementos necessários dos desnecessários e descartar os últimos
<b>2</b>	<i>Seiton</i>	Arrumar	Separar e organizar os itens selecionados
<b>3</b>	<i>Seiso</i>	Limpar	Arrumar e limpar o ambiente de trabalho
<b>4</b>	<i>Sekitsu</i>	Normalizar	Criar normas de limpeza e utilização, de forma a manter a organização no local de trabalho
<b>5</b>	<i>Shitsuke</i>	Disciplina	Incutir espírito de disciplina e hábito da metodologia nos colaboradores

Tabela 2: Metodologia 5S

### 2.5.2 Pilares da implementação do TPM

A filosofia TPM indica seis medidas que devem ser implementadas de forma exaustiva, de modo a eliminar avarias de um dado equipamento (Suzuki 1992):

- Estabelecer as condições básicas de funcionamento do equipamento;
- Cumprir as corretas condições de uso do equipamento,;
- Reverter a deterioração natural;
- Eliminar fatores que catalisem a deterioração;
- Corrigir falhas técnicas na conceção do equipamento;
- Elevar o nível de habilitações técnicas das equipas de produção e manutenção.

### 2.5.3 Definição e implementação de um plano TPM

Algumas das principais atividades abordadas pela filosofia TPM são (Nakajima 1988):

- *Kobetsu Kaizen*;
- Manutenção Autónoma;
- Manutenção Planeada.

Thun analisou as vantagens da implementação de tecnologia de comunicação, nomeadamente o uso dos telemóveis, como suporte às atividades do TPM. Neste estudo, o autor refere as potencialidades do recurso ao telemóvel no registo e consulta de informação acerca das falhas de máquina, com recurso a uma base de dados conectada ao dispositivo, onde se inserem e registam as falhas, causas e contramedidas. O autor também aborda outras aplicações deste conceito, como o rápido planeamento de manutenção planeada, a introdução de fotos e vídeos na base de dados para consulta pelo técnico de manutenção e treino dos operadores na manutenção autónoma, entre outros. O autor conclui que o suporte dado por esta tecnologia permite uma atuação mais eficaz dos técnicos, libertando assim os recursos para a realização de maior número de manutenções especializadas. O principal benefício desta libertação é o impacto positivo no OEE (Thun 2008).

### **Kobetsu Kaizen**

*Kobetsu Kaizen*, melhoria focalizada, em japonês, é uma ferramenta que visa a resolução estruturada de problemas, através do foco nas perdas de performance com maior impacto no OEE e a respetiva eliminação (Raj, Swaroop et al. 2017).

Esta ferramenta visa a melhoria incremental, através da análise às atividades que interferem com a eficiência dos equipamentos e processos. O procedimento visa a envolvência de todos os agentes implicados no processo (tais como operadores, líderes de equipa, técnicos e diretores), de forma a discutir o estado atual e implementar ações de melhoria, seguindo um procedimento normalizado, de 9 passos:

#### **1. Seleção do problema**

Seleciona-se o problema com base em análise de dados relativos a paragens e outros fatores que influenciam negativamente o OEE.

#### **2. Observação do Estado Inicial**

Nesta fase procura-se uma compreensão detalhada do problema selecionado anteriormente. É utilizada a técnica dos 5W e 2H de modo a tornar esta tarefa eficaz:

- *What?* – O quê? - Distinguir o que é problema do que não constitui problema e verificar a relação com o tipo de produto ou material utilizado;
- *When?* – Quando? – Avaliar a tendência temporal das ocorrências;
- *Where?* – Onde? - Identificar a localização física do problema;
- *Who?* – Quem? – Avaliar a relação do problema com a capacidade do operador;
- *Which?* – Qual? – Avaliar aumentos ou diminuições do problema;
- *How much?* – Quanto? - Caracterizar o problema de modo quantificável;
- *How?* – Como? – Em que condições ocorre o problema (estado de máquina, condições de lubrificação, folgas etc.).

#### **3. Definição do Objetivo**

Uma maneira eficaz de estabelecer objetivos é a mnemónica SMART proposta por (Doran 1981).

O objetivo a definir deverá conter as seguintes características:

- *Specific* - de fácil compreensão para os operadores
- *Measurable* - quantificável
- *Assignable* - deve existir um responsável ou responsáveis pela sua realização
- *Realistic*- deve ter em consideração as especificidades que envolvem o problema
- *Time-related* - sujeito ao estabelecimento de datas limite para a sua conclusão.

Deste exercício deverão resultar métricas, um limite temporal e um valor exato do objetivo a atingir.

#### **4. Identificação de causas-raiz**

Formulada por Sakichi Toyoda para a *Toyota Industries Corporation*, a análise 5 porquês promove um pensamento profundo através da prática de questionar e pode ser adaptado e aplicado à maioria dos problemas (Serrat 2009). Consiste em enumerar possíveis causas e aplicar 5 porquês sequenciados de forma a ser encontrada a fonte que deu origem ao problema.

#### **5. Definição de Soluções**

#### **6. Teste das soluções**

#### **7. Definição do plano de ações**

## 8. Confirmação de resultados e normalização

A normalização dos processos afetados pela mudança é fundamental, assegurando a sustentabilidade da melhoria a longo prazo. Desta forma, deverá incutir-se o treino dos novos procedimentos nas equipas envolvidas.

## 9. Lições Aprendidas

Etapa onde se deverá refletir sobre os pontos positivos e negativos, de forma a melhorar em futuras utilizações da ferramenta, decidir se vale a pena atacar outro problema e estudar a possibilidade de aplicar a melhoria a outros equipamentos.

Num caso de estudo que aborda a aplicação da ferramenta *Kobetsu Kaizen* em dois equipamentos de impressão, mais concretamente rolos de pressão e tambores de arrefecimento, após análise relativa a dois meses de produção, foi aplicada a resolução estruturada de problemas com o suporte da análise dos 5 porquês. Os resultados traduziram-se na redução de perdas temporais por avaria em 78% e 84% para cada uma das máquinas (Sutoova, Markulik et al. 2012).

### Manutenção Autônoma

Programa de capacitação de operadores, de forma a realizarem tarefas básicas de manutenção, garantir a deteção rápida de anomalias e a deteção de anormalidades que permitam prever avarias.

Os objetivos deste tipo de manutenção são (Suzuki 1992):

- Prevenir a deterioração dos equipamentos, através da sua correta utilização e verificação diária;
- Restaurar os equipamentos ao seu estado original;
- Estabelecer as condições básicas para manter os equipamentos no seu estado ideal.

A sua eficaz implementação permite ainda libertar as equipas técnicas para atividades de maior especialização, como práticas de manutenção mais especializadas e a introdução de melhorias técnicas nos equipamentos, visando assim o aumento de fiabilidade dos equipamentos a longo prazo (Kaizen 2018).

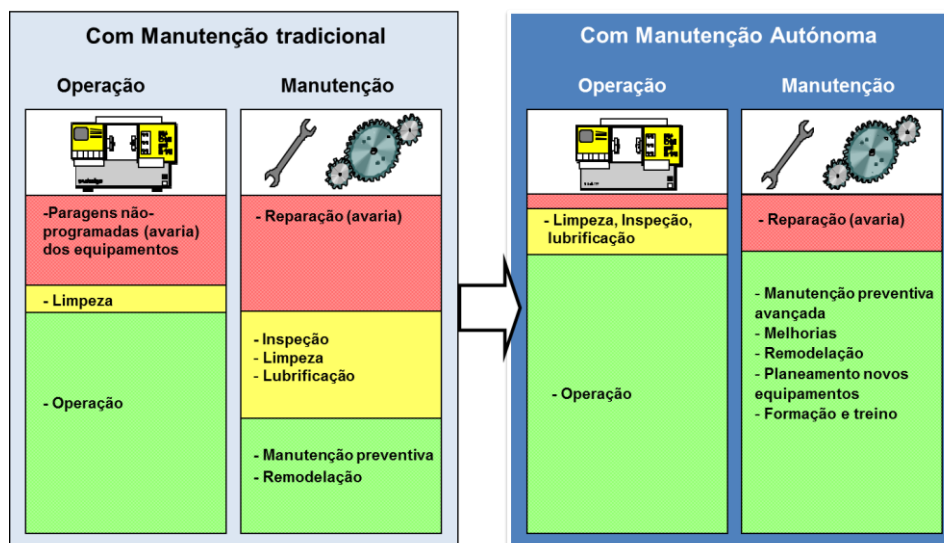


Figura 4: Esquema dos benefícios associados à manutenção autônoma

Num caso de estudo conduzido na Etiópia numa fábrica de produção de malte (Workineh and Iyengar 2014), foi escolhida a caldeira da fábrica como alvo de melhoria através da aplicação de um plano de manutenção autónoma. A implementação da manutenção autónoma foi feita em quatro níveis, começando pela consciencialização do problema aos operadores, seguida de formação na rotina de manutenção autónoma, formação na deteção de causas de problemas de qualidade e por último, elaboração de normas para o cumprimento da rotina de manutenção autónoma por parte dos operadores. As ações desempenhadas tiveram como resultado uma diminuição de 46% no tempo de paragem por avaria, que se traduziu numa diminuição de 64% nos custos de manutenção e num aumento de 9 % na disponibilidade da máquina. Este aumento de disponibilidade teve um impacto de 9% na capacidade produtiva do equipamento.

### **Manutenção Planeada**

A vida útil dos equipamentos é frequentemente ditada pela diminuição da performance económica do processo, para a qual o desempenho do equipamento contribui (Suzuki 1992).

A manutenção planeada desempenha um papel importante na extensão da vida dos equipamentos, já que tem como objetivos a otimização dos custos de ciclo de vida e o aumento da fiabilidade.

Segundo Suzuki, a implementação de um plano de manutenção planeada passa por:

- Clarificação das prioridades da Manutenção Planeada;
- Foco na manutenção autónoma;
- Construção de um sistema de informação;
- Estruturação de um sistema de Manutenção Planeada periódico;
- Estruturação de um sistema de Manutenção Planeada preditivo.

A implementação de um projeto de manutenção planeada foi realizado numa fábrica de produção de gás na Índia, com o objetivo de reduzir a taxa média de avarias de forma a aumentar a disponibilidade da fábrica (Raj 2018). Definiram-se quais os equipamentos a intervencionar de modo a restaurar as condições básicas, através da manutenção autónoma, e elaborou-se um sistema de informação que facilitasse a obtenção de dados detalhados. Após análise a estes dados, implementaram-se planos de manutenção periódica e preditiva. Os resultados indicaram um aumento do tempo médio entre avarias (MTBF) de 211 para 433 horas e uma diminuição do tempo médio de reparação de avarias (MTTR) de 3.45 para 1.46 horas, que se traduziram na obtenção de um nível de disponibilidade da ordem dos 99.64%.

### 3 Análise da situação inicial

No sentido de obter melhorias no processo produtivo, ao nível da disponibilidade de máquina, a empresa x estabeleceu uma parceria com o *Kaizen Institute* de modo a que fosse desenvolvido um projeto para o efeito.

#### 3.1 Definição de projeto piloto

Numa fase inicial, foi dedicado tempo à compilação e análise de dados, de modo a definir a abordagem a seguir. Desta forma, obtiveram-se dados relativos à disponibilidade do ano de 2018 por linha de produção, representados na tabela 3.

Peso Ton Prod.	Máquina	Tempo disponível	Paragens	Tempo útil	Disponibilidade
6%	MTM 50	5.268,0	1.050,9	4.217,1	80,05%
12%	MTM 70	5.294,0	1.038,9	4.255,1	80,38%
17%	MTM 80	5.304,0	1.245,1	4.058,9	76,53%
20%	MTM 130	5.458,0	1.499,2	3.958,8	72,53%
34%	Nakata	5.430,0	1.873,8	3.556,2	65,49%
12%	MTM 75	5.226,0	928,2	4.297,8	82,24%

Tabela 3: Disponibilidade por linha de tubo

A linha de produção designada por *Nakata*, que representa cerca de 34% do volume de produção total, constitui o equipamento com pior desempenho de disponibilidade, cerca de 65,5%. Sendo marginal a variação do tempo de abertura ou tempo disponível entre equipamentos, o impacto de variação positiva na disponibilidade da *Nakata* é muito superior a qualquer outra linha de produção no universo da empresa X.

O comparativo de disponibilidade com as restantes linhas de produção reforça a necessidade de melhoria e potencia a oportunidade para um maior e melhor resultado final.

Complementando a análise de disponibilidade, procedeu-se à análise da estrutura de custos operacionais de fabrico entre as diferentes máquinas.

Os dados representados na tabela 4 reforçam a necessidade de melhoria para a linha *Nakata*, pois sendo o equipamento mais representativo de volume de produção, é também o equipamento com maiores custos operacionais associados. Melhorias na Linha *Nakata* traduzem-se diretamente numa melhoria do resultado operacional da empresa.

Este exercício lógico de identificação do desperdício foi preponderante na escolha desta linha como foco do projeto de melhoria.

Definidos o âmbito e local de atuação, seguiu-se a identificação das principais causas de perda de disponibilidade do equipamento. Como se pode observar na figura 6, as mudanças de ferramenta e avarias representam o maior encargo de perda de disponibilidade.

	€/h/homem	# homens / máquina	% Custo MOD	GGF €/h	% Custo GGF	Potencial Custo Hora Trabalho
MTM 50	12 €	3	2%	120	6%	156 €
MTM 70	14 €	4	1%	140	4%	196 €
MTM 80	14 €	4	1%	175	3%	231 €
MTM 130	14 €	6	1%	285	4%	369 €
Nakata	14 €	8	1%	450	4%	562 €

Tabela 4: Custos Operacionais por linha de tubo

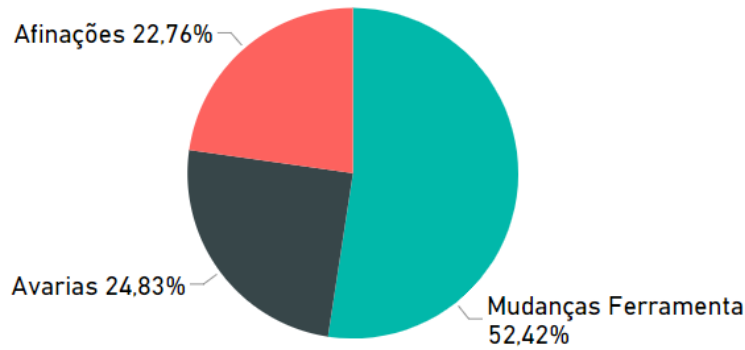


Figura 5: Distribuição de perdas de disponibilidade para o ano de 2018

### 3.2 Mudanças de Ferramenta

De modo a compreender quais as oportunidades de melhoria com maior impacto na disponibilidade, estudaram-se os tipos de trocas de ferramenta existentes, a rotatividade das ferramentas e os tempos de *setup* associados a cada tipo de troca.

Existem 2 tipos de trocas de ferramenta: troca total e troca parcial. A troca total é caracterizada pela troca de 4 módulos de máquina e a troca parcial por apenas 2 módulos. Os dados fornecidos pelo sistema de informação da empresa vêm sob a forma de listagem e com vários erros de conceção. A existência de eventos duplicados enviesava a análise pretendida. A listagem para um ano de produção é demasiado extensa para uma correção manual dos dados, pelo que se optou pela conceção de um programa *Excel* em código *vba* que tem como função detetar e corrigir os erros. Após o tratamento dos dados, verificou-se que, para o ano de 2018, foram utilizadas:

- 800 horas em 312 trocas de ferramenta (média de 153 minutos por troca);
- 330 horas em 87 trocas de ferramenta total (média de 228 minutos por troca completa);
- 470 horas em 225 trocas parciais (média de 125 minutos por troca parcial).

Observaram-se ambos os processos de troca de ferramenta. A partir desta observação foram mapeados os processos, estando o processo de troca de ferramenta completa ilustrado na tabela 5.

Atividades internas
  Atividades externas
  Caminho crítico

min	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
Máq			Posicionar FP's e abrir						Posicionar FP's e BD's				Posicionar SZ			
Op1	Deslig. água	Retirar bloco superior	Retirar bloco lateral	Limpar solda	Retirar FP's	Colocar FP1	Colocar Fp2		Trocar e posicionar SZ's			Posic. THS		Posicionar Rodas		
Op2		Posicionar FP's			Retirar Ferrite	Retirar rodas	Colocar rodas		Colocar bloco superior soldadura					Montar Indutora + ferrite +	Puxar chapa	
Op3	Passar mang.				Retirar Ferrite	Retira rodas				Coloc bloco S. Sol				Montar Indutora + ferrite		

min	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	...	160
Op.1	Posic. Rodas				Puxar chapa							
Op.2	Retirar chapa				Puxar chapa						Cortar tubo junto à solda	

Tabela 5: Modo operativo Troca ferramenta total

Para os dois tipos de troca, o mapeamento permitiu identificar a execução de tarefas de preparação durante a troca, bem como desnivelamento da carga de trabalho dos 3 operadores. Como se pode observar na figura 7, o tempo dedicado a trocas de ferramenta completas para o 2ª semestre do ano de 2018 revela variabilidades consideráveis. A ausência de procedimento normalizado poderá explicar parte desta variabilidade, já que cada equipa da linha de produção aborda o problema de maneira distinta. A redução do tamanho de lote é também um fator que contribui para esta variabilidade, já que o fabrico de lotes reduzidos implica um intervalo curto

entre mudanças de ferramenta, que poderá não ser suficiente para assegurar a preparação do *changeover*.

A ida ao *Gemba* para observação das trocas de ferramenta permitiu ainda observar a desorganização do local de trabalho, evidenciada nas figuras 8 e 9. A desorganização constitui outro fator a ter em conta para a variabilidade do processo, já que poderá haver perdas de tempo na procura de consumíveis e ferramentas, necessários ao *setup*.

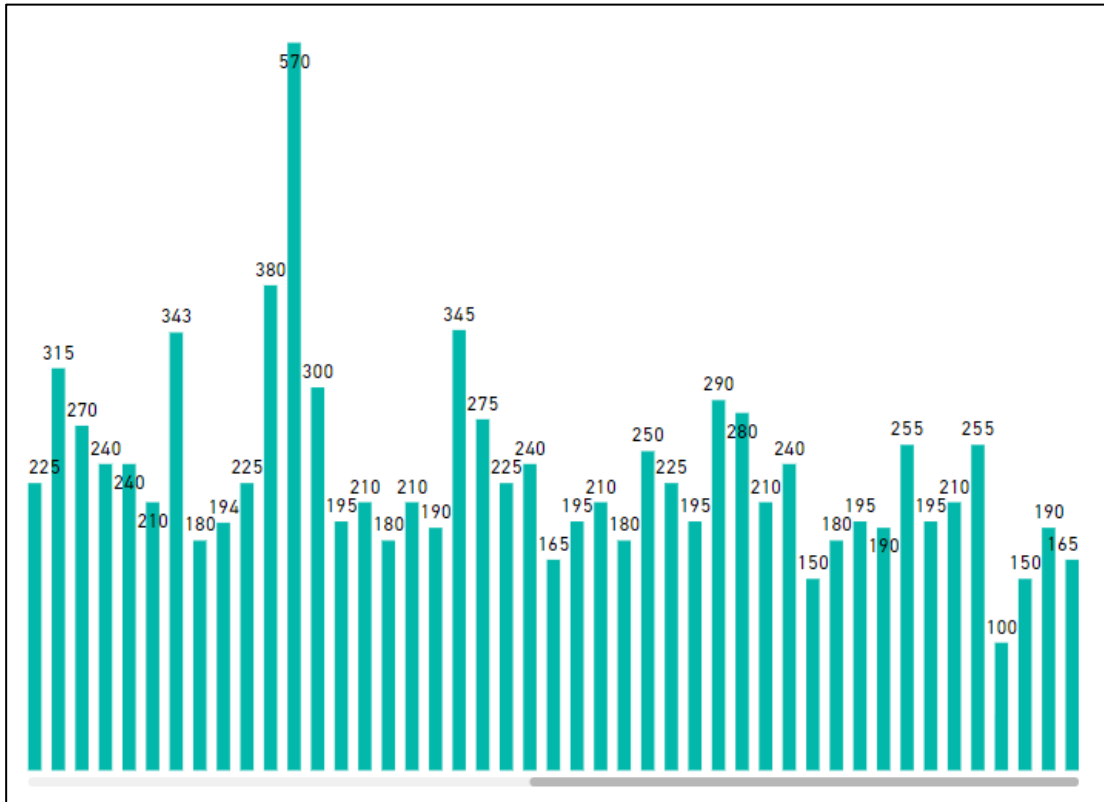


Figura 6: Tempo, em minutos, dedicado a trocas de ferramenta (2º semestre 2018)



Figura 7: Armário Rolamentos



Figura 8: Ferramentas diversas

### 3.3 Avarias

#### 3.3.1 Tipos de manutenção

A atuação das equipas de manutenção pode dividir-se nas seguintes categorias:

**Manutenção corretiva:** Atividades de correção aos equipamentos após falha por avaria ou as atividades de correção de equipamento após paragem planeada do equipamento (corretivas planeadas).

**Manutenção Preventiva:** Engloba as atividades que visam adiar ou eliminar as paragens por avaria. É definido um plano por equipamento, que contém as intervenções deste tipo e a sua periodicidade.

**Melhoria de equipamento:** Oportunidades detetadas pelos intervenientes do processo produtivo. Visam aumentar a fiabilidade, através de alterações técnicas ao equipamento.

#### 3.3.2 Estruturação do departamento de manutenção

O departamento de manutenção da empresa x é constituído por cerca de 70 elementos. Engloba nas suas atividades diversas áreas de suporte ao funcionamento dos equipamentos, tais como: equipas de serralharia, de apoio informático aos equipamentos, de obras e investimentos, de engenharia civil e estruturas, entre outras. As equipas mais envolvidas com as avarias de máquina são as de:

- Manutenção Industrial e de Redes. Esta é subdividida em manutenção corretiva/preventiva e manutenção de redes e infraestruturas.
- Engenharia e Desenvolvimento de Equipamentos, responsável por projetos de melhoria técnica.

Dentro da subequipa de manutenção corretiva/preventiva, há uma especialização de operador por área técnica (eletricistas, mecânicos e eletromecânicos).

#### 3.3.3 *Shadowing*

De modo a identificar os principais desperdícios no dia-a-dia da equipa de manutenção corretiva/preventiva, foi realizado um exercício de *shadowing*, isto é, observar, durante um determinado período, a atividade dos membros da equipa. O registo de tempos durante a observação, e a categorização de tarefas em Valor Acrescentado ou Desperdício, permite quantificar o desperdício associado à atividade dos técnicos de manutenção.

Após o *shadowing*, realizou-se o mapeamento do processo.

Supervisor Produção	Solicita intervenção												
Responsável equipa corretiva		Planeia Intervenção					Abertura OS						
Equipa corretiva			Dirige-se à máquina	Comunica c/ supervisor ou produção	Diagnóstico equipamento	Regresso à oficina		Recolhe peças e ferramentas	Organiza transporte	Dirige-se à máquina	Realiza intervenção	Espera por especialista elétrico	Intervenção final
Lead Time (minutos)	20	5	15	5	5	10	10	15	25	5	20	90	20

Tabela 6: *Shadowing* da atuação de equipa de intervenção corretiva

Como se pode observar na tabela 6, o supervisor da produção é quem despoleta o processo, ao comunicar com o responsável da equipa corretiva. De seguida, este delega tarefas de intervenção ao técnico de manutenção, que posteriormente se dirige à máquina para diagnosticar a avaria. Posteriormente, o técnico regressa à oficina de manutenção para obter os materiais necessários à reparação, efetua parte da reparação, volta à oficina para solicitar a intervenção de outro técnico, e este último dirige-se novamente à máquina de modo a finalizar o processo.

Após a categorização das tarefas, representada no gráfico da figura 10, foi possível concluir que o tempo útil das atividades de valor acrescentado (reparação e diagnóstico) foi de 16,33%. A

espera pelo técnico especializado em eletricidade (36.73%) e o transporte ao local (28,57%) constituem as maiores causas de desperdício.

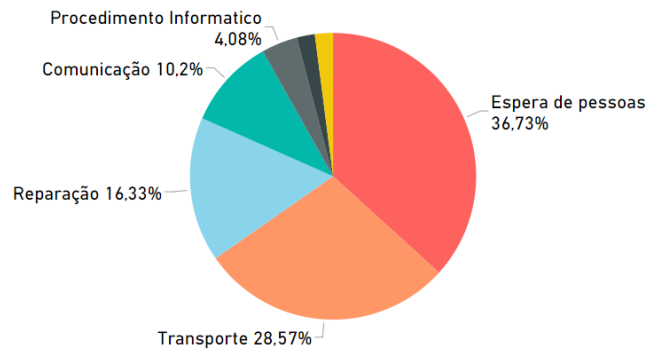


Figura 9: Tipo de tarefas realizadas durante avaria

O tempo utilizado em transporte é justificado pela configuração da fábrica, caracterizada por linhas de fabrico de elevadas extensões, e áreas de stock consideráveis devido às dimensões de tubo fabricado (os modelos de stock são de 6 ou 12 metros de comprimento).

### 3.3.4 Análise de Avarias

O tempo dedicado à intervenção corretiva na máquina *Nakata* para o ano de 2018, representada na figura 11, demonstra grande variabilidade. Devido às demoradas atuações por parte dos técnicos de manutenção, ausência de manutenção autónoma por parte dos operadores de máquina e de manutenção preventiva, há maior suscetibilidade de falhas de máquina, devido ao desgaste e deterioração dos componentes.

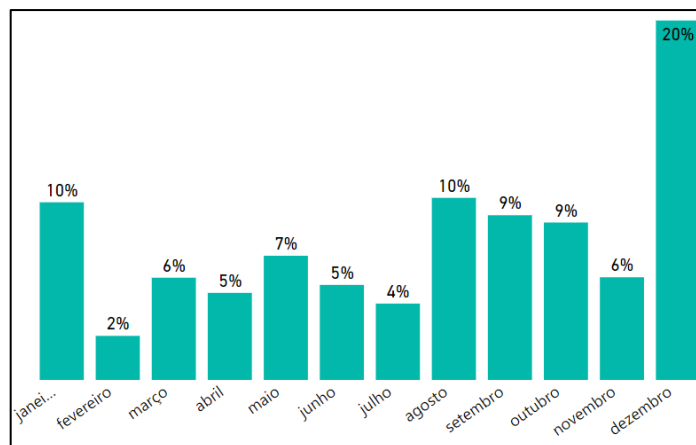


Figura 10: Percentagem de tempo de abertura de máquina dedicado a intervenção corretiva

### 3.4 Definição de Objetivos

Perante o cenário traçado anteriormente, onde as mudanças de ferramenta representam 52% das perdas de disponibilidade e as avarias 25%, definiu-se o objetivo de melhoria de disponibilidade da linha de produção *Nakata* em 10 pontos percentuais, passando de 65% para 75%.

Este objetivo de 10 pontos percentuais subdivide-se em dois objetivos parciais: objetivo de redução de tempo de troca de ferramenta e objetivo de redução de rácios de avarias.

Para as trocas de ferramenta, o objetivo foi definido tendo por base o valor médio das restantes linhas de tubo da empresa. A redução do tempo de troca de ferramenta total para os 131 minutos e de troca de ferramenta parcial para os 86 minutos permite obter, para o mesmo número de trocas médias realizadas no ano de 2018, uma melhoria de 5 pontos na disponibilidade de máquina.

O objetivo para as avarias foi estabelecido de forma a estar alinhado com a ambição já existente na empresa para esta causa de perda de disponibilidade nas diferentes linhas de tubo. Este valor foi obtido tendo em conta valores de fiabilidade de máquina indicados pelo fornecedor. Assim, a máquina *Nakata* passaria de 10% de perdas de disponibilidade provenientes de avarias (média do ano de 2018) para um valor de 5%, uma redução de 50%.

O indicador horas x homem corretivas foi também analisado ao longo do projeto, como forma de avaliar a capacidade das ações que visam libertar as equipas para a realização de manutenção preventiva. Apesar de poder não ter um efeito a curto prazo na disponibilidade de máquina, a maior realização de manutenções preventivas permite elevar a fiabilidade da máquina, prevenindo avarias no decurso do tempo. O objetivo definido para este indicador consiste em atingir um resultado inferior a 65 horas x homem corretivas.

### 3.5 Descrição do Processo Produtivo

A empresa em questão dedica-se à produção de tubos de aço. As linhas de produção estão separadas por tipo de referência. O processo produtivo é comum a todas as linhas, sendo que há operações especiais específicas de certas linhas.

Uma linha é constituída por 7 etapas distintas, distribuídas por 2 máquinas. Uma máquina de corte inicial da matéria prima e outra de conformação da chapa desde bobine até tubo acabado. A descrição que se segue é referente à linha *Nakata*, do projeto em questão:

1. **Corte da bobine.** A compra de bobines é feita em dimensões fixas. É necessária esta operação, já que a linha produz várias dimensões de perfil de tubo. Esta operação é feita anteriormente à entrada da chapa na máquina de conformação, gerando assim stocks intermédios, conforme representado na figura 12.
2. **Desenrolamento da bobine.** Nesta etapa tem início a atuação do *bottleneck* da linha, a máquina *Nakata*, responsável pela conformação do material. Devido ao elevado peso das bobines, o transporte da mesma desde a etapa anterior até esta etapa é feito com recurso a pontes rolantes. Após colocação na máquina, um veio mecânico atravessa o orifício da bobine que ao girar força o avanço da chapa na máquina. Existe um buffer no fim desta etapa, em que a chapa desenrolada é acumulada de forma giratória, de modo a absorver as paragens para colocação da próxima bobina na máquina desenroladora, sincronizando assim a parte posterior do processo com esta inicial de desenrolar da chapa. De referir que a partir desta etapa, inclusive, todo o processo é feito em fluxo de forma continuada.



Figura 11: Stock intermédio bobines após corte



Figura 12: Desbobinador

3. **Conformação em tubo redondo.** A chapa, ao sair do buffer giratório, entra numa etapa de conformação inicial de chapa. Diversas rodas metálicas fixas estão posicionadas sequencialmente na máquina. Devido à velocidade conferida à chapa, há um contacto físico entre esta e as rodas da máquina, o que resulta na sua conformação em tubo metálico redondo.
4. **Soldadura.** Após sucessivas passagens pelas zonas de disco, o produto adquire o formato de tubo redondo ficando a faltar o fecho das duas extremidades da chapa. Este processo é feito com recurso a um componente de soldar automático posicionado fixamente por cima da trajetória do tubo, efetuando o ponto de soldadura à medida que o tubo avança. Posteriormente, o tubo é arrefecido em duas câmaras de arrefecimento consecutivas.



Figura 13: Conformação em tubo redondo



Figura 14: Aplicação do ponto de soldadura

5. **Conformação em tubo retangular.** Tem início após passagem do tubo pelas zonas de arrefecimento. O método de conformação aqui utilizado é igual ao da terceira etapa. Esta etapa pode não ser necessária, caso a referência a produzir seja de perfil redondo.
6. **Corte do tubo.** Este corte é feito por uma máquina sincronizada com a velocidade de passagem do tubo, que corta, recua e avança de modo a efetuar o corte em movimento.
7. **Embalamento.** Aqui são agrupados os tubos já cortados em atados presos por fita metálica. Desta forma facilita-se o transporte do tubo para o armazém de produto acabado e para expedição para o cliente.



Figura 15: máquina de corte



Figura 16: Stock de produto acabado

## 4 Implementação de Soluções

Tendo em conta as oportunidades levantadas e descritas no capítulo 3, procedeu-se ao planeamento e implementação de soluções. Foi definido em conjunto com a administração da empresa o cronograma de implementação do projeto, tendo por base a disponibilidade dos recursos da empresa. Neste capítulo, é descrita a definição dos indicadores a acompanhar ao longo do projeto, a definição das soluções encontradas, o cronograma de implementação e, por último, a implementação das soluções definidas.

### 4.1 Definição e acompanhamento dos indicadores

Os indicadores monitorizados ao longo do projeto foram a disponibilidade de máquina, objetivo final do projeto, o tempo de troca de ferramenta (indicador da aplicação do SMED na linha de produção), e o quociente do tempo de avarias e tempo de abertura da linha (indicador da aplicação do TPM na linha de produção). Dentro das avarias, monitorizou-se ainda a eficiência da equipa de manutenção (Horas x Homem corretivas) como indutor da diminuição do tempo de paragem de máquina por avarias, já que a maior disponibilidade da equipa de manutenção para a realização mais frequente de manutenção preventiva constitui parte da estratégia para a diminuição do tempo de paragem por avarias.

O acompanhamento destes indicadores é da maior relevância já que serve não apenas como fator motivacional aos membros da equipa do projeto, mas também como base para a análise detalhada da evolução e do impacto das ações de melhoria.

De modo a concretizar este acompanhamento dos indicadores relevantes, foi desenvolvida uma interface no programa informático *Microsoft Power BI*. Esta interface permite visualizar os indicadores relevantes ao projeto de uma forma simples e iterativa, e acompanhar a evolução dos indicadores ao longo do tempo.

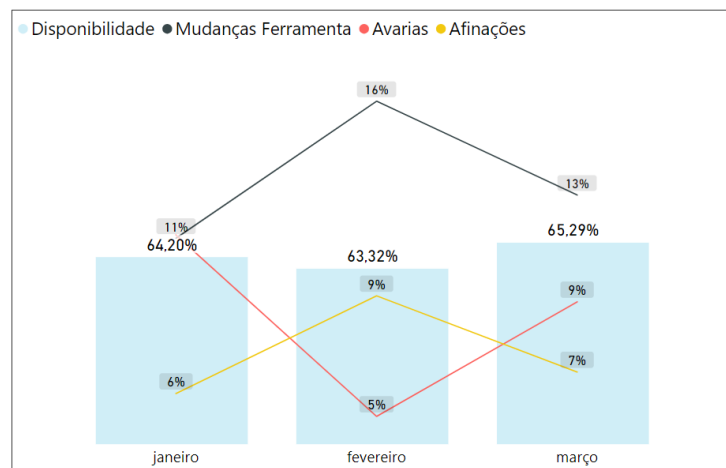


Figura 17 Exemplo de aplicação do Power BI

### 4.2 Desenho de soluções

Observação	Desperdício	Solução
Falta de organização na produção	Perda de consumíveis necessários ao <i>setup</i>	Supermercado avançado
Falta de organização na manutenção	Desperdício na atuação das equipas	Supermercado avançado; Reestruturação departamento manutenção
Baixa eficiência de <i>setup</i>	Elevado tempo de máquina parada	SMED- <i>Single Minute Exchange of Die</i>
Elevada taxa de avarias	Sucessivas paragens de máquina devido a avarias	Manutenção Autónoma; <i>Kobetsu Kaizen</i>

Tabela 7: Soluções definidas

### 4.3 Cronograma de implementação

Após definição das soluções a implementar - 5S na produção e manutenção, metodologia SMED, plano de manutenção autónoma, reestruturação das equipas de intervenção e implementação de *Kobetsu Kaizen* – foi definido um cronograma para a sua implementação. Este cronograma, representado na tabela 1 da secção 1.4, incide sobre o intervalo entre os meses de fevereiro e junho de 2019.

### 4.4 Organização do local de trabalho

Com vista à organização do local de trabalho, foi definido que a solução a implementar passaria pela criação de um supermercado de consumíveis para a área da produção e a criação de um supermercado avançado para os componentes da manutenção, localizado junto à máquina e não no departamento de manutenção como até então. A mudança de localização do supermercado da manutenção leva à redução de transportes entre máquina e departamento de manutenção, medida importante para a redução do *Mean Time to Repair*, isto é o tempo médio de reparação da avaria.

Desta forma, e devido à necessidade de abastecimento em fluxo dos supermercados, de modo a evitar ruturas de stock que levam, em último caso, à paragem prolongada de máquina, foi definida a implementação de uma rota de abastecimento aos supermercados.

Foi escolhido o sistema *kanban* de dupla caixa como forma de abastecimento aos supermercados. Neste sistema, a caixa vazia é colocada numa zona sinalizada e serve como sinal de reposição ao repositores que, na mesma rota entrega os materiais nas respetivas caixas retiradas anteriormente, coloca-as no espaço designado e recolhe as caixas vazias para posterior reposição. A vantagem deste sistema é a simplicidade de comunicação, quer para o operador quer para o repositores.

O cronograma de implementação foi o apresentado na seguinte tabela:

	S1	S2	S3	S4
Etapa 1: Limpeza do local de trabalho				
Etapa 2: Triagem dos consumíveis necessários				
Etapa 3: Identificação das caixas				
Etapa 4: Implementação dos supermercados				
Etapa 5: Definição de rotas de abastecimento aos supermercados				
Etapa 6: Normalização supermercados				

Tabela 8: Cronograma de implementação dos supermercados de consumíveis

#### Etapa 1: Limpeza do local de trabalho (Produção)

Para esta etapa, foi realizada uma limpeza nos armários de apoio aos operadores, e no espaço destinado ao supermercado da manutenção.

Inicialmente, garantiram-se os materiais necessários à limpeza, como panos, diluentes, detergentes, luvas, batas. Ao longo de dois dias, e com a colaboração de três operadores de máquina, realizou-se a retirada de todos os elementos do armário seguida da sua triagem e, finalmente, procedeu-se à limpeza no segundo dia.

#### Etapa 2: Triagem dos consumíveis necessários

Esta triagem teve como base uma listagem retirada do sistema de informação do armazém relativa às ordens de serviço à produção e manutenção. Com o apoio dos supervisores e operadores da produção e técnicos de manutenção, foram selecionados os elementos da lista que pelo seu consumo e tipologia deveriam ter espaço nos supermercados. Para cada componente, definiram-se quantidades de reposição, tendo por base o seu consumo. Foi

também definido o tamanho de caixa para cada componente, sendo que alguns componentes, pelas suas dimensões, não tiveram caixa atribuída.

### **Etapa 3: Identificação das caixas**

A identificação das caixas foi feita através de um cartão que contém: código de barras, onde o repositor pode ler o código com recurso a um leitor de código de barras, de forma a dar saída de armazém do produto, nome do componente e quantidade de reposição. Inicialmente, realizaram-se 300 cartões para os 150 elementos dos supermercados. Seguidamente, imprimiram-se e plastificaram-se estes cartões, bem como etiquetas com o nome dos consumíveis para a sua identificação. Após colagem destes elementos nas caixas, o resultado foi o representado na figura 19.



Figura 18: Caixas SUC utilizadas nos supermercados avançados de consumíveis

### **Etapa 4: Implementação dos supermercados**

Após a Etapa 2, foram tiradas medidas dos 3 tipos de caixa, de modo a calcular o espaço necessário a cada supermercado. Definiu-se que:

- O supermercado de apoio à manutenção seria separado do supermercado de apoio à produção devido aos elevados valores dos componentes da manutenção. Este iria localizar-se junto ao gabinete da supervisão;
- Os antigos armários de apoio à produção, limpos na etapa 1, seriam o local de destino do supermercado de apoio à produção.

Foi solicitado à área de serralharia da empresa que procedesse à alteração aos armários da produção, e à construção de estantes para os componentes da manutenção. A alteração aos armários originais consistiu na introdução de calhas que permitisse a introdução de prateleiras onde se localizariam as caixas.

Garantidos os armários alterados e as caixas com o material, foi necessário proceder à definição do layout do supermercado. O aumento da disponibilidade, objetivo final do projeto, foi tido em conta nesta definição. O layout foi por isso definido de forma a facilitar a procura de material por parte do operador, já que em situações de *setup* ou avaria, há necessidade do operador consumir material dos supermercados. Assim, estudaram-se várias alternativas à disposição dos componentes. Algumas das hipóteses abordadas foram:

- agrupar por tipologia;
- agrupar por nome;
- agrupar por tamanho da caixa;
- agrupar por utilização em zona de máquina.

De todas estas hipóteses, a que se revelou mais útil no objetivo de facilitar a procura do consumível, foi a de agrupar por utilização em zona de máquina. Como os operadores do equipamento têm zonas de responsabilidade definidas por área do equipamento e uma elevada percentagem dos consumíveis apenas apresenta consumo numa determinada zona, torna-se mais imediata a identificação de determinado material através desta organização proposta.

### **Etapa 5: Definição de rotas de abastecimento aos supermercados**

Implementados os supermercados de consumíveis, houve necessidade de estabelecer um mecanismo para a sua reposição. Este mecanismo teria de repor os materiais a uma frequência tal, que a rutura de material fosse altamente improvável. Os supermercados e outros pontos da máquina foram definidos como pontos de abastecimento, e inseridos na rota estabelecida para o repositor. A reposição teria de ser feita com recurso a meios que permitissem o transporte dos materiais e das caixas em apenas uma viagem. Para o efeito, definiu-se que o repositor faria a reposição uma vez a cada turno de 8 horas, com recurso a:

- viatura automóvel para facilitar o transporte entre unidades industriais evitando recurso a equipamentos logísticos desaproprados (empilhador);
- trolley, de forma a facilitar o transporte do material desde o automóvel até ao ponto de abastecimento.

### **Etapa 5: Normalização de supermercados**

De forma a sustentar as melhorias introduzidas, foi necessário normalizar a utilização dos supermercados, bem como a posição de cada caixa, de forma a garantir a correta colocação da caixa na zona respetiva durante o processo de reposição. Para tal, foram elaboradas normas de utilização dos supermercados, que garantam o correto procedimento de colocação de caixa vazia na zona respetiva, bem como a numeração de cada espaço de caixa e da caixa respetiva, de forma a que não haja margem para dúvidas na colocação da caixa por parte do repositor.



Figura 19: Supermercado de consumíveis de apoio à produção

## **4.5 Aplicação da metodologia SMED**

### **4.5.1 Estudo do trabalho**

Numa fase inicial, foram observadas as mudanças de ferramenta para a máquina *Nakata*. Estas mudanças foram gravadas em vídeo, de forma a serem posteriormente analisadas e detalhadas. Houve uma categorização das tarefas em externas e internas para a visão futura. Detetaram-se vários desperdícios, em particular o transporte para montagem de ferramentas à máquina, e ficou evidenciada a falta de normalização do processo. De forma a evitar redundâncias na apresentação de melhorias, apenas se irá referir o caso da aplicação da metodologia nas trocas completas.

#### 4.5.2 Separação entre trabalho interno e externo

Compreendido o processo de *setup*, procedeu-se ao mapeamento da situação inicial para as trocas de ferramenta totais, representado na tabela 3 da subsecção 3.2. Com o recurso a vídeo e ao apoio de operadores de máquina experientes, foi possível identificar as etapas e os tempos inerentes ao processo.

Foram identificadas tarefas externas, tais como limpezas, que deverão ser realizadas com a máquina parada. De referir que, embora na troca observada não se tenha verificado, durante o processo de troca de ferramenta nem sempre é assegurada a preparação prévia da ferramenta a entrar na máquina, o que compromete a eficiência da troca.

#### 4.5.3 Transformação de trabalho interno em trabalho externo

Não foi detetada viabilidade de transformação de trabalho interno em trabalho externo. Tal deve-se ao facto de as operações que constituem a troca de ferramenta exigirem, com a tecnologia disponível, a paragem de máquina. Algumas destas tarefas são: percorrer chapa ao longo do equipamento, abrir módulos de máquina, retirar componentes da máquina, colocar novos componentes de máquina e puxar chapa para fabrico de nova referência. Sendo o posicionamento automático do equipamento a tarefa que compreende a grande maioria do caminho crítico, a transformação de trabalho interno feito pelos operadores em trabalho externo teria impacto reduzido no tempo de *setup*, o que acaba por não justificar o investimento em alterações técnicas para o efeito.

Contactou-se o fornecedor da máquina de forma a avaliar possíveis alterações às velocidades de posicionamento das ferramentas, de modo a reduzir o caminho crítico. As respostas obtidas traduzir-se-iam num retorno financeiro a longo prazo, pelo que não se considerou como prioritário.

#### 4.5.4 Redução de trabalho interno

O caminho crítico da troca de ferramenta é constituído pelas etapas de retirar o bloco superior da soldadura, seguida da abertura automática da zona de ferramentas, troca de ferramentas, posicionamento automático das ferramentas, e finalmente a etapa de puxar chapa.

Desta forma, o foco está em reduzir o tempo necessário às tarefas do caminho crítico realizadas pelos operadores, ou seja, retirar bloco superior da soldadura, trocar ferramentas e puxar chapa. As melhorias técnicas com vista à redução do trabalho interno foram:

##### **Instalação de suporte de montagem do bloco superior de soldadura**

De forma a reduzir o tempo necessário à troca destas estruturas, foi concebido pelo departamento de melhorias técnicas da empresa, uma estrutura que permite uma fácil montagem dos blocos à ponte rolante. O desenho de conceção desta estrutura está representado na figura 21. Eliminou-se o procedimento de rodar o bloco com recurso à ponte rolante, diminuindo assim o tempo de montagem do bloco à ponte rolante.

##### **Introdução de suporte para transporte simultâneo de ferramentas à máquina**

De modo a minimizar os transportes de ferramentas à máquina, foi concebido um suporte que permite o transporte e montagem simultânea de 2 ferramentas, representado na figura 22. Este suporte permite a retirada em paralelo das ferramentas a sair, bem como a entrada simultânea das ferramentas a entrar.

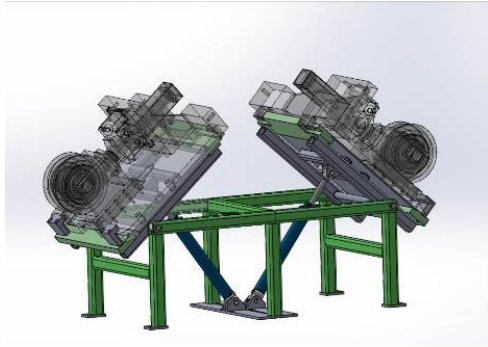


Figura 20: Suporte de montagem do bloco superior da zona de soldadura



Figura 21: Suporte para transporte simultâneo de ferramentas

### **Instalação de comando elétrico para facilitar ajuste de máquina**

A afinação de uma das ferramentas da máquina era efetuada com recurso a manivelas. Além de demorada, esta tarefa constitui parte do caminho crítico, pelo que se procedeu à sua alteração por uma de maior eficiência, com recurso a um comando elétrico para movimentação do componente a calibrar. Também a ergonomia do operador foi melhorada, já que deixa de ser obrigado a subir à máquina para efetuar o ajuste. Esta alteração pode ser observada na figura 23.

### **Alteração ao layout de forma a facilitar a passagem na zona da soldadura**

Durante a observação de troca de ferramenta, verificou-se que não existia passagem direta à zona de soldadura, onde são montadas as ferramentas, já que esta se encontrava obstruída pelo posto de controlo observado na figura 24. Com vista à redução de transporte por parte do operador, procedeu-se à colocação deste posto numa zona que permita a passagem direta do operador para esta zona da máquina.

### **Colocação de plataforma para apoio do operador na zona da soldadura**

De forma a melhorar a segurança e ergonomia dos operadores, foi introduzida uma plataforma na zona de soldadura. Verificou-se que a plataforma existente era instável, o que representa um risco para a segurança dos operadores. Assim, procedeu-se à elaboração de uma nova plataforma fixa com possibilidade de colocação em duas posições, representada na figura 25.



Figura 22: Comando para ajuste automático de máquina



Figura 23: Alteração layout da zona de passagem



Figura 24: Plataforma de apoio ao operador

## **4.5.5 Redução de trabalho externo**

A preparação das ferramentas a entrar constitui o maior encargo para a equipa no período entre trocas.

Durante a troca de ferramenta total, existe troca de ferramentas previamente preparadas em 2 zonas de máquina. Esta preparação é feita numa estrutura metálica deslizante em cada zona de máquina, facilitando assim a retirada da ferramenta anterior, e a entrada da ferramenta posterior.

A montagem das ferramentas a entrar na máquina exige a utilização de ponte rolante no seu transporte, devido às elevadas cargas associadas. Após observação do processo de preparação das ferramentas, identificaram-se constrangimentos na redução de tarefas externas. São eles:

- total dependência da ponte no transporte de ferramentas;
- impossibilidade de adicionar uma nova ponte para transporte.

Assim, e como não é viável a nível de segurança uma solução que permita reduzir dependência da ponte rolante, a solução passaria por remodelar o layout da fábrica, de forma a:

- separar a zona de pré-montagem em duas, uma por ferramenta, e
- aproximar a zona de pré-montagem da zona de máquina associada, encurtando as distâncias a percorrer.

No entanto, esta remodelação teria de estar associada a uma aproximação do armazém de ferramentas à própria máquina, sob pena de encurtar uma distância a percorrer, aumentando outra.

Este novo modelo implicaria uma redefinição completa da disposição da linha de tubo, já que a configuração atual impede a alteração da localização do armazém de ferramentas.

A remodelação do layout total da linha de produção exigiria elevados custos de paragem de máquina, transporte de máquinas e desenho de novas soluções técnicas, o que ultrapassa o prazo de implementação do projeto. Assim, apesar de identificado o problema, não houve ações no sentido de reduzir o trabalho externo. O tempo de *setup* fica, portanto, comprometido se a duração da série de fabrico for inferior ao tempo de preparação.



Figura 25: Estrutura deslizante



Figura 26: Zona de pré-montagem da ferramenta

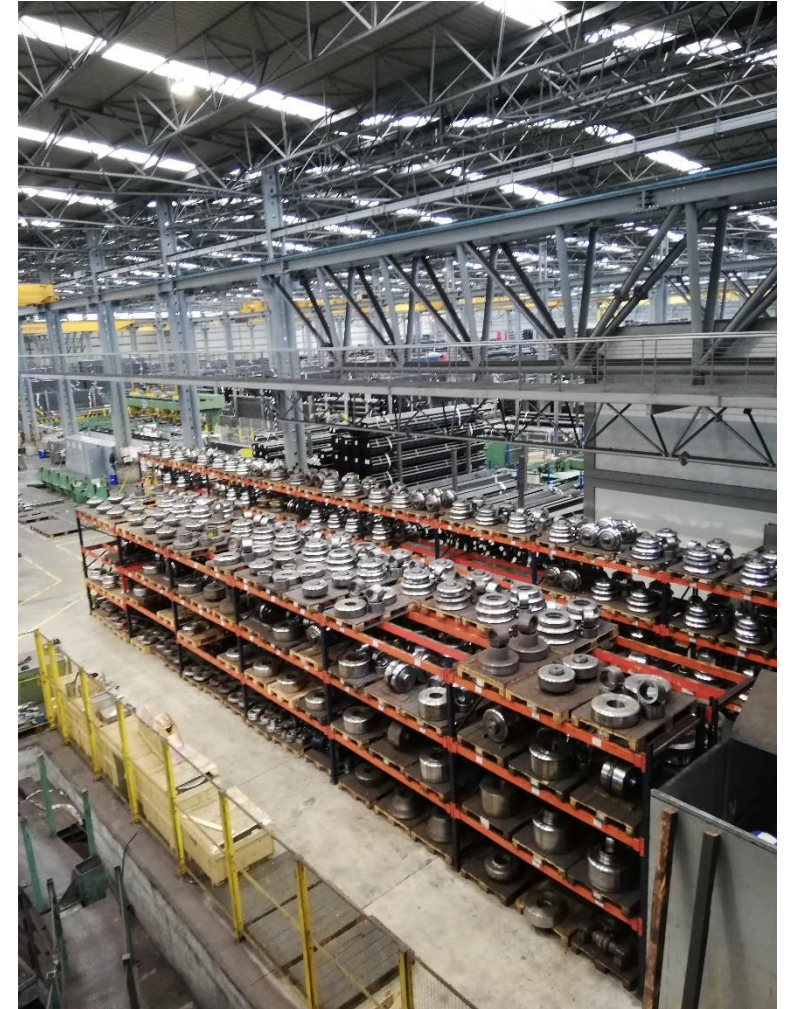


Figura 27: Armazém de ferramentas

#### 4.5.6 Normalização do processo

Após aplicação de melhorias técnicas na máquina, definiu-se o modo operatório para as trocas de ferramenta. A distribuição de carga pelos 3 operadores de máquina foi importante no sentido de encurtar o tempo dedicado à troca de ferramenta. O tempo de uma das tarefas críticas, puxar chapa, foi reduzido através desta distribuição. O resultado obtido para as trocas de ferramenta totais encontra-se representado na seguinte tabela:

Atividades internas    
  Caminho crítico

	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	130	
Máq						Abrir FP's							Posicionar Formação					
Máq						Abrir SZ's							Posicionar SZ's e RB's					
Máq														Posicionar UTH				
Op1.	Corte chapa	Abrir FP's			Retirar bloco sup. solda	Retir. rodas	Colocar rodas	Colocar bloco superior soldadura	Colocar indutora	Colocar ferrite			Puxar chapa					
Op2.	Afinar bloco soldadura	Abrir SZ's			Retirar sistema aparamento					Retirar e colocar FP's,								
Op3.			Desap. e retirar ferrite	Retir. bloco sup. solda	Retir. rodas	Colocar rodas	Colocar bloco superior soldadura	Colocar indutora	Colocar ferrite			Puxar chapa						

Tabela 9: Novo procedimento para troca de ferramenta completa

Como se pode observar, a aplicação da ferramenta SMED permitiu uma redução na troca de ferramenta total de 160 minutos, observados inicialmente, para 131 minutos. Da mesma forma, para as trocas parciais, foi obtida a redução de 100 minutos iniciais para 86.

Com recurso à Gestão visual, elaborou-se um quadro de apoio à gestão das trocas de ferramenta, onde estão disponíveis as diferentes *checklists* de apoio à execução standard do modo operatório. Também estão presentes sistemas de registo de anomalias ou eventos pontuais que penalizam a execução da mudança de fabrico.

#### 4.5.7 Kamishibai para confirmação do processo

A alteração de procedimentos e modos operatórios tipicamente resultam numa resistência natural à mudança por parte das equipas operacionais. Apesar do envolvimento no desenho de solução, as rotinas diárias originam por vezes o regresso a hábitos e comportamentos anteriores às melhorias desenvolvidas. O incumprimento dos modos operatórios e registos despoletou a necessidade de criar um processo positivo de auditoria. Assim, de forma a avaliar de forma constante e ágil o processo de mudança, desenvolveu-se o conceito *Kamishibai*. Os auditores definidos para o efeito foram os supervisores, e as chefias do departamento de produção. Desta forma, garantiu-se o envolvimento da estrutura hierárquica em prol da implementação da melhoria no *gemba*.



Figura 28: Quadro Confirmação Processo

## 4.6 Manutenção Autônoma

Tendo por base as etapas da manutenção autónoma e o cronograma definido para implementação do projeto, foi definido o seguinte cronograma para a Manutenção autónoma.

	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S10	S11	S12	S13
Sessão 1: Introdução à MA	■										
Sessão 2: Recolha histórico de avarias	■	■	■	■	■						
Sessão 3: Definição de tarefas da MA					■	■					
Sessão 4: Criação de normas							■				
Sessão 5: Gestão Visual MA								■			
Sessão 6: Construção do quadro de MA									■		
Sessão 7: Formação aos operadores									■	■	■

Tabela 10: Cronograma implementação Manutenção Autônoma

### Sessão 1: Introdução à manutenção autónoma

Foi dada uma formação onde participaram supervisores da máquina, técnicos de manutenção, responsáveis de secção e membros do departamento de sistemas de melhoria. Inicialmente, foram apresentados os modelos e conceitos da manutenção autónoma, os agentes envolvidos e as melhorias expectáveis. Numa fase posterior, foram apresentados o cronograma de implementação e a descrição do que seria expectável para cada sessão.

### Sessão 2: Recolha do histórico de avarias

Como o registo de avarias que existia à data não era suficientemente pormenorizado para poder retirar conclusões de quais os subequipamentos críticos da linha de produção *Nakata*, foram recolhidos dados diariamente durante um mês. Para cada avaria ocorrida, registaram-se os equipamentos afetados e os componentes envolvidos na avaria.

### Sessão 3- Definição de tarefas de MA

Após recolha de dados, foi feita uma análise de dados e ida ao terreno com o suporte de técnicos de manutenção e elementos da melhoria contínua. O objetivo desta análise foi perceber quais os equipamentos críticos, isto é, os equipamentos mais penalizados por avarias, e quais as possíveis tarefas de manutenção básicas que deveriam passar para o departamento da produção. O output das sessões consistiu em:

- listagem de todas as tarefas a realizar pela Manutenção autónoma, detalhadas por zona de máquina, periodicidade, ferramentas a utilizar, tipo de tarefa e se a tarefa requiritava paragem de máquina;
- após a conclusão desta listagem, agruparam-se as tarefas por periodicidade e zona de máquina de modo a construir as rotas de manutenção autónoma.

### Sessão 4- Criação de normas

Durante uma semana, foi definida a simbologia que identifica a periodicidade e o tipo de tarefa.



Figura 29: Norma visual para tipo de intervenção

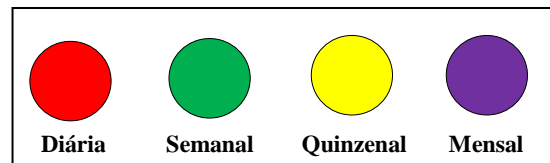


Figura 30: Norma visual para periodicidade tarefa

Cada ponto de manutenção autónoma tem uma periodicidade de realização associada, representada pela cor, um tipo de intervenção associado, representado pelo símbolo, e uma numeração associada, de forma a que o operador possa consultar facilmente as instruções de

trabalho relativas à tarefa em questão. No símbolo a colocar na zona de máquina está representada toda esta informação relevante como demonstrado na figura 32.

Definida a simbologia para a periodicidade e tipo de tarefa, procedeu-se à execução de um manual constituído pelas instruções de trabalho para consulta. Este documento serve como suporte para a realização das tarefas, estando especificada a informação relevante.

De seguida, de modo a consolidar as instruções de trabalho com a posição relativa do ponto de intervenção na máquina e com a periodicidade a realizar, definiram-se rotas de manutenção autónoma. Foi definida uma rota de manutenção autónoma para cada zona de máquina, periodicidade e estado da máquina.

Por fim, foi definido o horário em que cada rota de manutenção autónoma deveria realizar-se ao longo da semana e do mês, tendo em conta a disponibilidade dos operadores. Sendo necessária uma representação visual desta agenda de manutenção, optou-se pelo esquema representado na figura 33.

Como a melhoria de disponibilidade é o principal objetivo do projeto, definiu-se que todas as rotas que implicam paragem de máquina seriam realizadas à segunda-feira antes do primeiro turno, de forma a não parar a máquina e comprometer o objetivo.

As restantes rotas, de máquina funcional, foram divididas ao longo da semana. O operador trabalha numa zona específica da máquina, pelo que se decidiu manter este esquema e atribuir a cada operador as rotas associadas à zona de máquina que lhe corresponde, de forma a que estes desenvolvam um maior sentido de compromisso e responsabilidade pela conservação e monitorização constante do equipamento. Assim, todas as segundas feiras, o operador 1 terá de realizar a rota E1 com máquina parada e a rota A1 com máquina funcional. O operador 2, a cada terça-feira, realizará a rota B2 e assim sucessivamente.



Figura 31: Símbolo de Manutenção Autónoma

Dia/Semana				
Máquina Parada	E	F	G	F
Rotas	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8
2ª Feira	A	A	A	A
Rotas	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8
3ª Feira	B	B	B	B
Rotas	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8
4ª Feira	C	B	C	B
Rotas	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8
5ª Feira	D	A	A	A
Rotas	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8
6ª Feira	A	A	A	A
Rotas	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8

Figura 32: Quadro de rotas e histórico de realização de manutenção autónoma

### Sessão 5: Gestão Visual da Manutenção Autónoma

Após a definição de norma para simbologia, realizou-se uma sessão dedicada à colocação dos símbolos em cada ponto do equipamento. Sendo a máquina constituída por estruturas metálicas, recorreu-se à utilização de identificações magnéticas para a colocação dos símbolos. 72 símbolos foram colocados pelas zonas críticas da máquina.

Durante esta sessão, testaram-se as rotas de manutenção autónoma, de forma a verificar se a informação representada pelos símbolos estava coerente com as instruções de trabalho e com o documento de rotas de manutenção.

### Sessão 6: Construção do quadro de manutenção autónoma

O plano de manutenção autónoma a implementar na máquina *Nakata* contém 8 zonas de máquina associadas a 24 operadores distintos (8 por turno) com 72 tarefas distintas. A complexidade do plano criado exigiu a criação de uma interface de comunicação de toda esta informação, de forma a que a compreensão por parte dos operadores das tarefas que lhes competem fosse o mais facilitada possível. Uma débil compreensão do plano a implementar poderia levar à sua rejeição por parte dos intervenientes, pelo que esta sessão foi crítica para o sucesso do plano de manutenção autónoma.

Discutiram-se possíveis configurações para o quadro de manutenção autónoma. Com o apoio de um técnico de manutenção, houve particular preocupação de como seria feita a leitura do quadro por parte dos intervenientes. A elaboração do quadro foi feita de forma a criar uma lógica de fluxo na visualização da informação.

A instrução do processo de leitura do quadro permite ao operador saber quais os passos a executar de cada vez que realiza a manutenção autónoma. Foram elaboradas etiquetas de não conformidade que o operador deverá utilizar de modo a registar anomalias detetadas. Após a realização da rota, o operador deverá colocar a etiqueta de não conformidade no lugar correspondente à zona de máquina e registar a realização da rota no respetivo quadro.



Figura 33: Ponto de Manutenção Autónoma

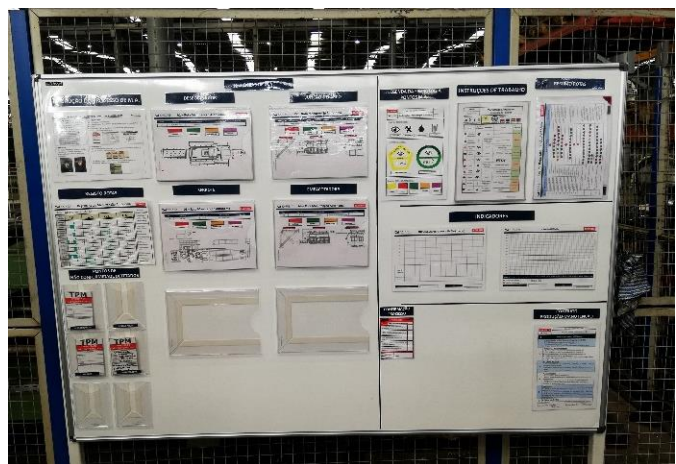


Figura 34: Quadro de apoio à manutenção autónoma

### Sessão 7: Formação aos operadores

De modo a iniciar o plano de manutenção autónoma, foram realizadas formações teórico-práticas aos operadores de máquina durante 3 semanas. Em cada semana, com o apoio e presença dos responsáveis do departamento de manutenção e produção, realizou-se uma sessão de formação para cada turno. Nestas sessões, executaram-se simulações e demonstrações de execução de tarefas mais técnicas como lubrificações e o esclarecimento de dúvidas por parte dos operadores.

### Acompanhamento

Após conclusão das sessões delineadas, deu-se o arranque da manutenção autónoma. Uma vez que uma mudança desta dimensão requer habituação por parte dos operadores, é necessário acompanhamento numa fase inicial. Para o efeito foi definido que a equipa de manutenção acompanharia o arranque das atividades de manutenção autónoma, de forma a garantir a correta realização das tarefas e a identificar possíveis falhas no plano implementado, de forma a proceder à sua correção. O envolvimento dos supervisores e das chefias do departamento de produção na realização da manutenção autónoma nesta fase revelou-se um fator importante na eficaz implementação do plano.

#### 4.7 Reestruturação da Equipe de Intervenção Corretiva

Durante a sessão de *shadowing* ao departamento de manutenção, foi evidenciado que a espera pelo elemento especializado em eletricidade foi a maior causa de desperdício da intervenção. Também a centralização de todas as equipas de intervenção corretiva no mesmo espaço geográfico impede uma eficiente atuação em zonas da fábrica distantes. Por estas razões, foi definido que o modelo de atuação das equipas de intervenção corretiva seria redefinido.



Figura 35: Novo Modelo de Atuação

A atuação, de forma isolada por parte do membro da equipa, foi alterada para uma intervenção em equipa por zona de máquina. Os recursos disponíveis foram organizados em equipas de atuação, sendo que cada equipa contém um especialista de cada área (elétrico, mecânico e eletromecânico). Desta forma, assegura-se a presença de técnicos de diferentes especialidades em cada setor da fábrica reduzindo o risco de indisponibilidade e conseqüente espera.

De forma a complementar esta alteração, as equipas de trabalho foram distribuídas por zonas de máquina. Nesta visão, cada equipa fica responsável pelas máquinas que lhe são afetas, o que proporciona uma maior especialização e responsabilização dos técnicos por máquina, e uma partilha de conhecimento dentro da equipa, de forma a desenvolver técnicos mais polivalentes. Principais vantagens desta reestruturação:

- maior polivalência dos técnicos, via partilha conhecimentos;
- atuação mais eficiente, via distribuição por zona de máquina e por equipa;
- atuação mais eficaz, via maior conhecimento sobre o equipamento;
- promoção de interação com as equipas de produção e maior proximidade no acompanhamento dos processos de manutenção autónoma.

#### 4.8 *Kobetsu Kaizen*

Com o objetivo de estudar e resolver as principais causas de avaria da máquina, foi aplicada a metodologia *Kobetsu Kaizen*. Neste sentido, definiu-se como âmbito da aplicação desta ferramenta a melhoria de eficiência do equipamento pela diminuição do número de avarias. O estado inicial foi observado através dos dados relativos às avarias para o ano de 2018 e o objetivo definido foi ao encontro do objetivo previamente definido no âmbito do projeto:

- redução do tempo despendido em avarias corretivas para 5% de tempo de abertura.

##### 4.8.1 Obtenção de dados

Os dados existentes relativos a avarias da máquina *Nakata* carecem de detalhe. Este detalhe é fundamental para entender quais os equipamentos críticos, quais as zonas críticas de cada equipamento e quais os componentes críticos de cada zona. De forma a obter estes dados, implementou-se uma nova metodologia na sua obtenção. Foi criado um esquema da máquina, realizando-se um desdobramento por setor de máquina, equipamento e subgrupo.

O técnico de manutenção, ao realizar a reparação, terá de registar quais os equipamentos, subgrupos e componente afetados, o que proporciona o nível de detalhe desejado para posterior análise e discussão.

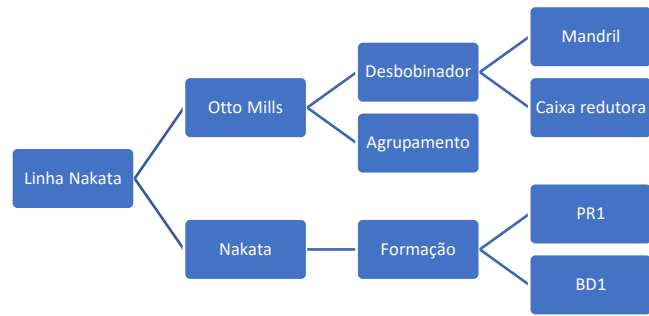


Figura 36: Excerto de árvore de máquina para a linha Nakata

#### 4.8.2 Dinâmica da Reunião

De forma a assegurar a sustentabilidade da implementação da metodologia *Kobetsu Kaizen*, foram definidas sessões quinzenais de abordagem estruturada dos principais detetores de disponibilidade da máquina. Participaram supervisores e operadores da máquina, técnicos de manutenção, as chefias de cada departamento e membros da administração da empresa. A estrutura da reunião consistia em:

1. **Definir avarias a discutir.** De forma a estruturar a discussão, para cada reunião eram abordadas as zonas de máquina responsáveis por 80% das avarias da quinzena anterior e, dentro de cada zona de máquina, os componentes envolvidos em 80% das avarias dessa zona. Esta regra permitiu focar a discussão no essencial, ou seja, nos problemas com maior impacto na disponibilidade.

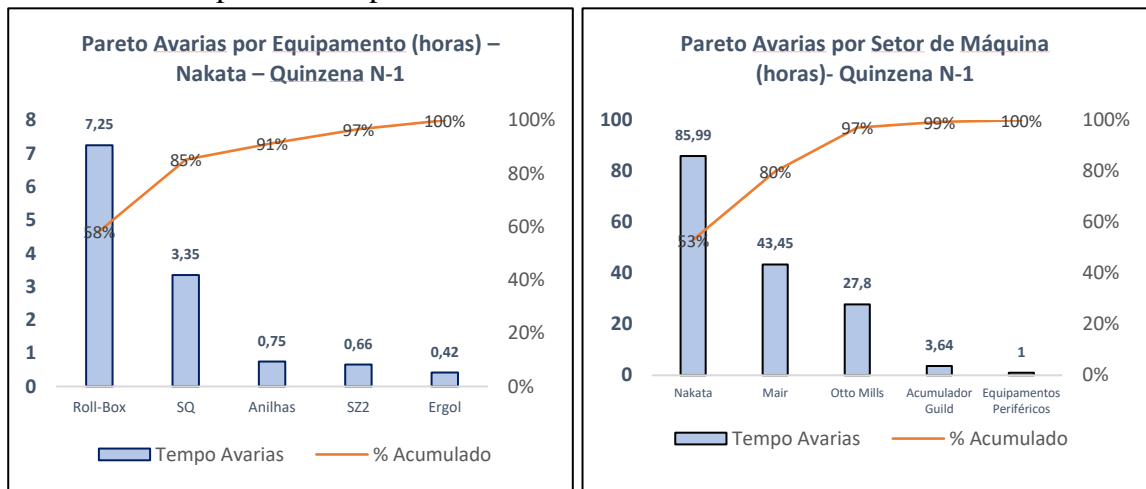


Figura 37: Paretos por zona de máquina e subgrupo

2. **Identificação da causa-raiz.** Para cada componente analisado, foi feita uma análise 5 *porquês* como forma de identificar a causa raiz. A causa raiz ficava identificada quando estava claro para os intervenientes que a aplicação de mais um porquê resultava na resposta anterior.

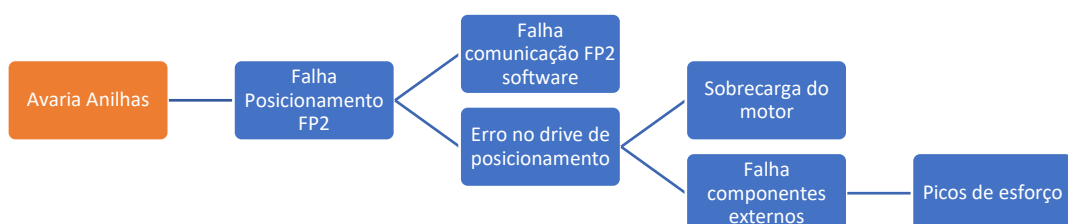


Figura 38: Exemplo aplicação 5 porquês utilizado numa das sessões



## 5 Resultados Obtidos

### 5.1 SMED

Os resultados obtidos ao longo do projeto de melhoria, para as trocas de ferramenta completas, estão ilustrados na figura 41. Como se pode observar, as trocas de ferramenta localizam-se tendencialmente próximo do objetivo, com um tempo record de 110 minutos. No entanto, é notória uma variabilidade dos resultados, verificando-se tempos de *setup* elevados, particularmente para o intervalo compreendido entre o fim do mês de maio e o início do mês de junho.

De referir que os resultados a vermelho estão associados a um curto intervalo entre a sua ocorrência e a ocorrência da troca anterior. Os dados são ilustrativos daquilo que foram os constrangimentos verificados ao longo da implementação do SMED já que, em fabricos de lote reduzidos com tempos entre mudanças curtos, nem sempre era assegurada a preparação da ferramenta, o que implica a elaboração de tarefas externas durante a troca, comprometendo o resultado do *setup*.

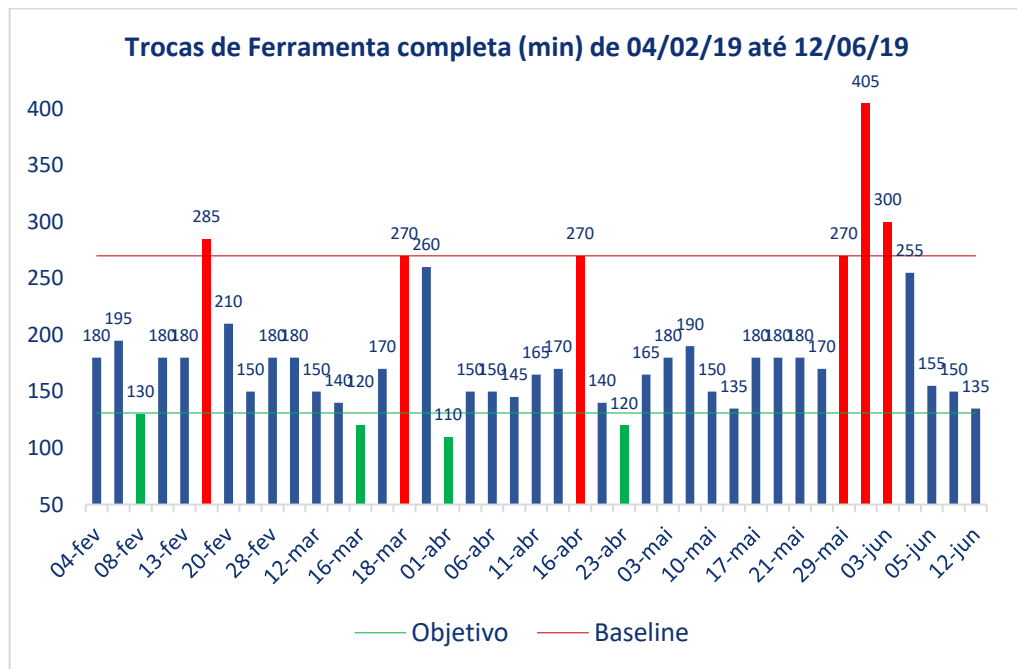


Figura 40: Evolução das trocas de ferramenta ao longo do projeto

A imagem 42 da página seguinte demonstra o impacto negativo da maior rotatividade de ferramenta na performance das equipas, que se traduz num aumento de indisponibilidade de máquina. A relação entre perdas de disponibilidade e rotatividade de ferramenta, para o presente caso, não é linear, já que uma maior rotatividade leva a perdas pelo maior número de ocorrências e, também, pela pior performance das equipas de troca.

O aumento da rotatividade das ferramentas esteve relacionado com a alteração das condições de mercado ao longo do projeto de implementação, o que acabou por se refletir na evolução do indicador.

Face a esta necessidade de redução do tempo de preparação de *setup*, estudaram-se propostas de redução de trabalho externo, como referido na subsecção 4.5.5. A inviabilidade de alteração ao layout da fábrica constituiu assim a limitação maior do projeto de melhoria. Ainda assim, ao compararmos a média truncada à direita pelo valor médio de troca, para os anos 2018 e 2019, verifica-se que o resultado de 2019 foi de 158 minutos, inferior em 36 minutos face ao registado para o ano de 2018.

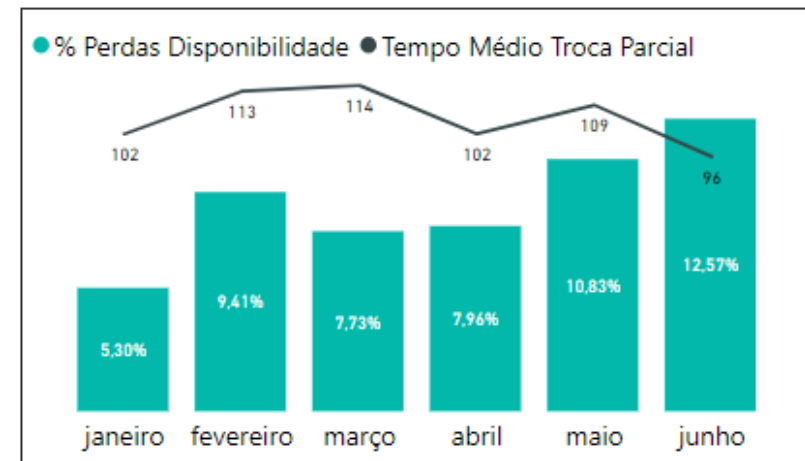
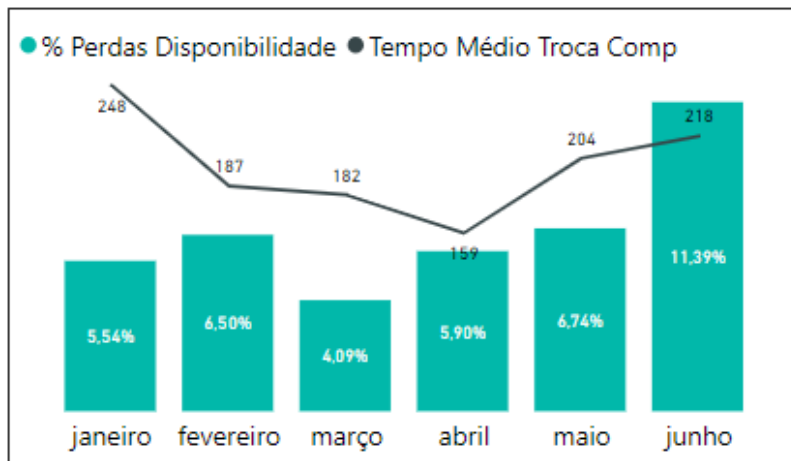
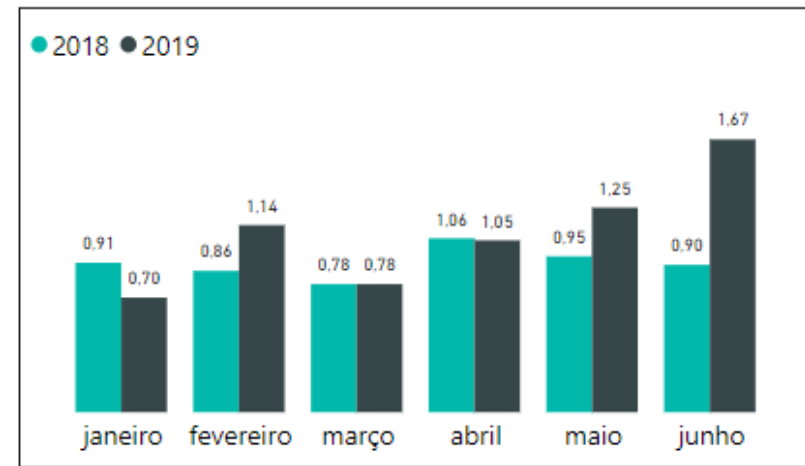
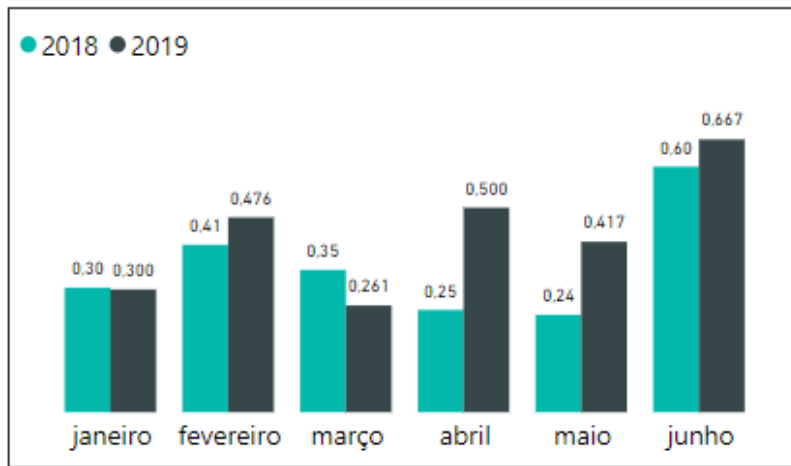


Figura 41: Análise do impacto da rotatividade da ferramenta na performance da equipe e na disponibilidade da máquina

Relativamente às trocas de ferramenta parciais, verifica-se que a tendência do tempo médio de *setup* é de descida, atingindo o valor de 96 para o mês de junho. Este tipo de trocas não é afetado de forma tão significativa pela falta de preparação de ferramentas. No entanto, como se pode constatar na figura 38, apesar de o mês de junho ter sido um mês com trocas parciais mais eficientes face aos anteriores, houve maiores perdas de disponibilidade face ao mês de maio devido a uma rotatividade de ferramenta mais elevada, o que leva a concluir que a rotatividade de ferramenta tem um impacto significativo na disponibilidade de máquina.

## 5.2 Libertação das equipas de intervenção

O indicador da carga de equipa de manutenção em tarefas corretivas foi avaliado ao longo do projeto de forma a medir:

- a capacidade de realização de manutenção preventiva, e
- a redução do desperdício associado à atuação dos técnicos de manutenção.

A reorganização do local de trabalho, implementação de um plano de manutenção autónoma e reestruturação das equipas de intervenção foram as estratégias para uma atuação mais eficiente das equipas técnicas.

Os resultados obtidos para este objetivo estão representados na figura 43.

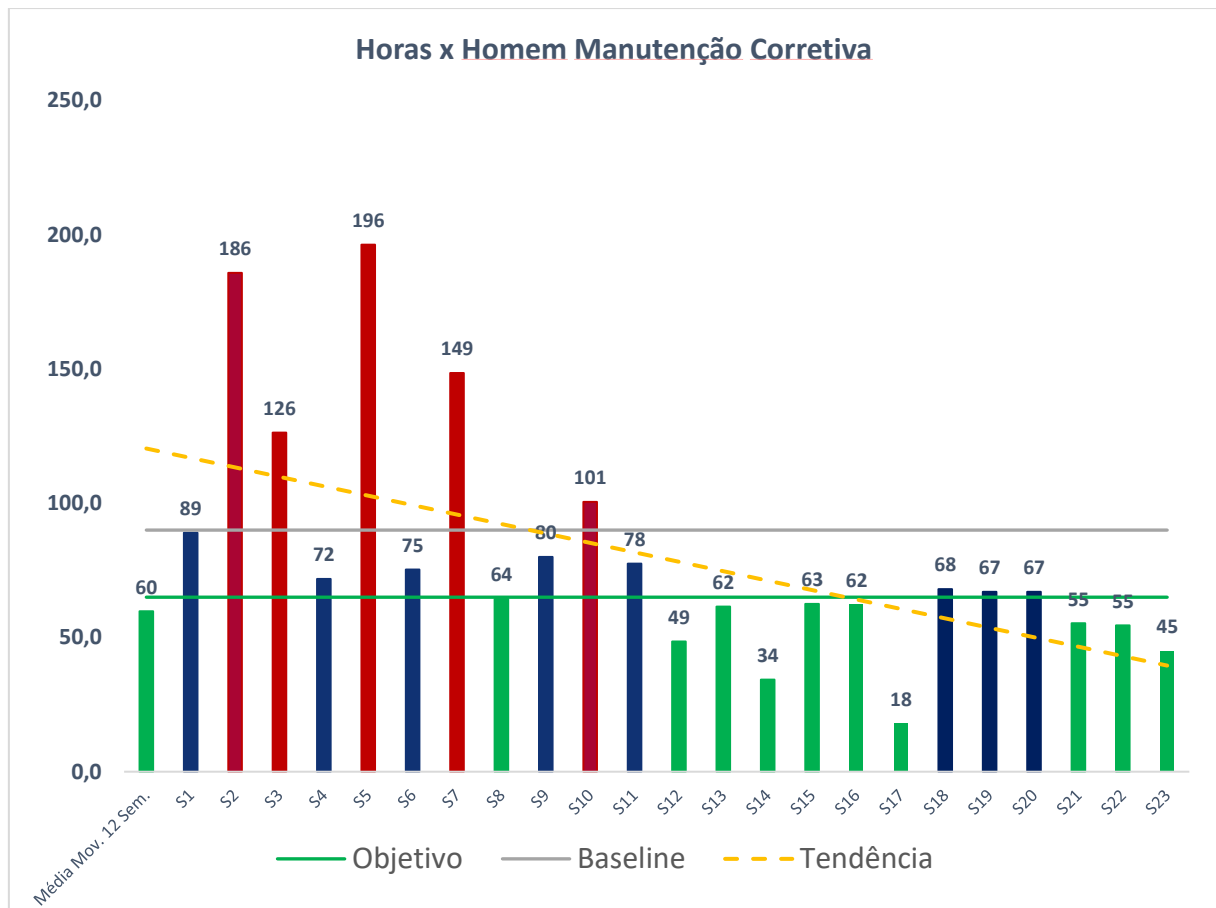


Figura 42: Evolução Horas x Homem corretivas

O objetivo foi atingido de forma inequívoca, situando-se a média móvel para as últimas 12 semanas em 60 horas x homem. O departamento de manutenção tem agora maior capacidade em planear e realizar manutenção de cariz mais especializado, estando a sua atuação associada a uma maior criação de valor.

### 5.3 Perdas de disponibilidade por avaria

Os resultados obtidos para as perdas de disponibilidade por avaria revelam uma tendência de descida. Para as últimas 6 semanas, verifica-se uma redução significativa da variabilidade e do tempo de avarias.

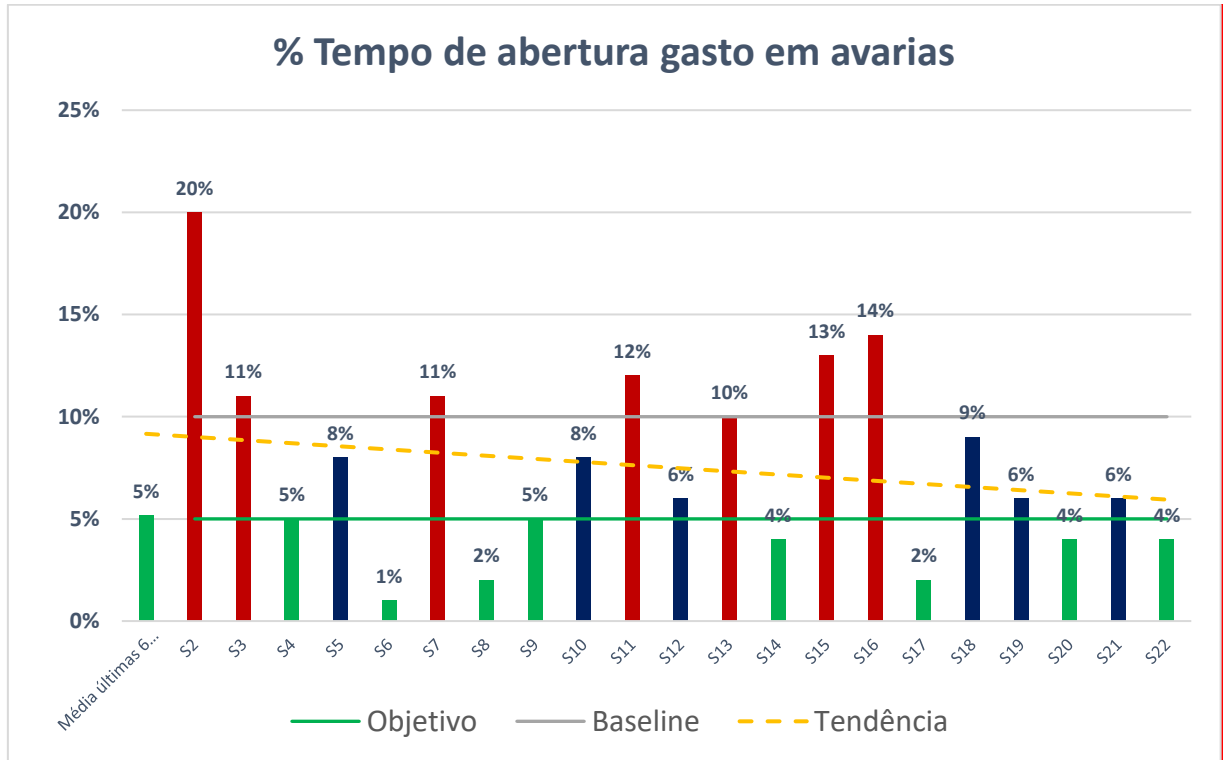


Figura 43: Evolução da indisponibilidade de máquina devido a avarias

Deste modo, é possível inferir que as ações de implementação relacionadas com as avarias tiveram impacto no indicador de disponibilidade: a manutenção autónoma, ao elevar o estado geral dos equipamentos e contribuir para uma rápida deteção de anomalias; a reorganização dos espaços e equipas de trabalho, permitindo uma atuação mais eficiente por parte dos técnicos; o *Kobetsu Kaizen*, facilitando a identificação de problemas e a sua resolução.

### 5.4 Objetivo de Projeto - Disponibilidade

Face à evolução de mercado no 2º trimestre do ano de 2019, que levou a uma redução do tamanho de lote para estes meses, o valor de disponibilidade de máquina foi afetado. No entanto, é importante referir que, apesar dos valores da disponibilidade nem sempre se aproximarem do objetivo, a linha de produção *Nakata* está hoje melhor preparada para uma redução do tamanho de lote, o que constitui um benefício para a empresa a nível da entrega ao cliente.

A disponibilidade para as últimas 6 semanas é caracterizada por alguma variabilidade, devida à instabilidade de rotação da ferramenta. Verificou-se que o planeamento da produção afetou o indicador de disponibilidade ao longo do projeto. No entanto, em semanas com uma rotação de ferramenta a par com o que foi o ano de 2018, verificou-se que o indicador de disponibilidade se aproximou do objetivo de 75%.

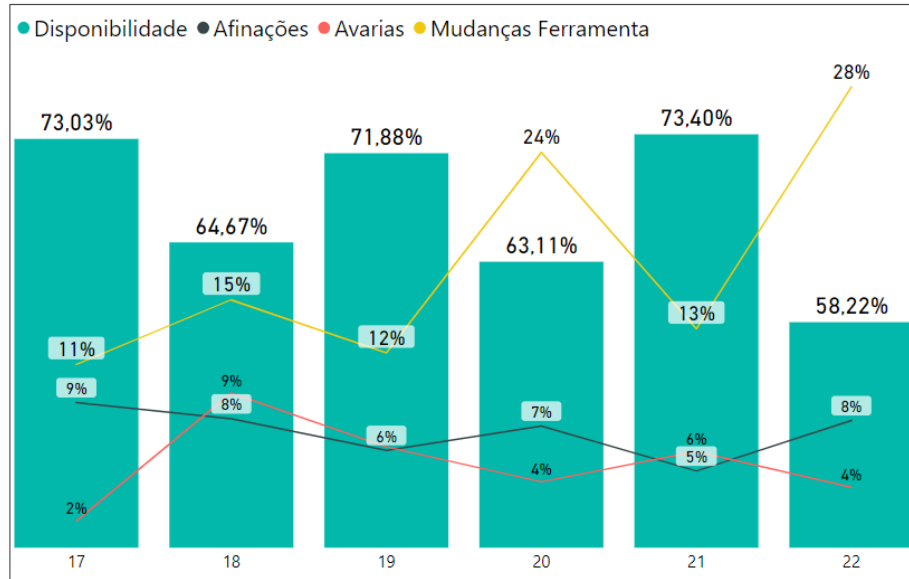


Figura 44: Evolução da disponibilidade e principais fatores associados

## 6 Conclusões

O foco da dissertação passa pelo desenho e implementação de melhorias na empresa com vista à melhoria do indicador de disponibilidade de máquina. Assim, realizou-se uma fase de planeamento do projeto, onde se definiram:

- o equipamento alvo do projeto,
- quais os tipos de perdas de disponibilidade a melhorar,
- os objetivos a alcançar.

Foi dedicado algum tempo ao estudo do processo produtivo da empresa, dada a complexidade dos processos inerentes à conformação de tubo metálico, e de modo a identificar as principais atividades associadas a perdas de disponibilidade.

De seguida, foram identificadas as melhorias a introduzir ao processo produtivo com vista à redução do tempo de *setup* (via aplicação da metodologia SMED), à redução da carga de tarefas básicas por parte dos técnicos de manutenção e aumento de capacidade de resposta perante anomalias nos equipamentos (manutenção autónoma). Relativamente ao processo de manutenção da empresa, identificaram-se oportunidades na organização do local de trabalho, bem como no modo de atuação. As soluções definidas para a área da manutenção visam a redução do tempo de máquina parada por avarias. Durante a implementação do projeto, identificou-se como constrangimento mais relevante a dificuldade em reduzir as tarefas externas dos operadores de máquina.

A possível solução para o problema não avançou para uma fase de implementação devido às reduzidas dimensões da zona operacional face às grandes dimensões dos objetos e sistemas envolvidos na mudança, o que posteriormente levantou problemas ao nível dos resultados obtidos.

Registou-se sucesso na implementação das soluções, já que foi atingido o objetivo de 5% de tempo de abertura para a resolução de avarias, e a libertação das equipas de manutenção para tarefas de teor mais especializado, o que potencia o aumento da disponibilidade via redução de avarias.

A evolução do mercado veio expor as fragilidades da linha relativamente à redução do tamanho de lote, o que constitui uma oportunidade de melhoria já que a redução de lote é uma tendência global da indústria ao longo dos últimos anos, e a empresa terá de adaptar a sua linha futuramente, de forma a ter maior rentabilidade operacional.

Face aos bons resultados obtidos nas equipas de manutenção, a empresa deverá seguir com o estudo e planeamento da manutenção planeada, como forma de garantir eficácia do trabalho de manutenção, e assim maior fiabilidade dos equipamentos, que eventualmente conduzirá a um aumento da disponibilidade de máquina.

## Referências

- Abraham, A., K. N. Ganapathi and K. Motwani (2012). "Setup Time Reduction through SMED Technique in a Stamping Production Line " *saTech Journal* **11**(2).
- Coimbra, E. A. (2013). *Kaizen in Logistics and Supply Chain*, McGraw Hill.
- Doran, G. T. (1981). "There's a S.M.A.R.T way to write management's goals and objectives." *Management Review* **70**: 35-36.
- Gupta, S. (1999). "Flexible Kanban System." *International Journal of Operations and Production Management* **15**.
- Hansen, R. C. (2005). *Overall Equipment Effectiveness (OEE)*, Industrial Press, Inc.
- Hirano, H. and M. Furuya (2006). *Jit is Flow: Practice and Principles of Lean Manufacturing*, PCS Press.
- Ireland, F. and B. G. Dale (2006). "Total Productive Maintenance: criteria for success." *International Journal of Productivity and Quality Management* **1**: 207-223.
- JIPM. (2019). "TPM Award." from <https://www.jipm.or.jp/en/activity/pm/out/pdf/ApplicationOutline2019.pdf>.
- Kaizen, I. (2018). *Manual TPM*.
- Koch, T. (2012). "10 Commandments for the Boss of a Company Implementing Lean Philosophy." *Management and Production Engineering Review* **3**.
- Kodali, R. and S. Chandra (2001). "Analytical hierarchy process for justification of total productive maintenance." *Production Planning & Control* **12**: 695-705.
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM*, Productivity Press.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*, Taylor & Francis Inc.
- Pomorski, T. R. (2004). *Total Productive Maintenance concepts and Literature Review*.
- Rahman, N. A. A. (2013). "Lean Manufacturing Case Study with Kanban System Implementation." *Elsevier B.V.*
- Raj, M. (2018). "Effective Implementation of Planned Maintenance in a Gas Producing Plant: A Case Study at JSPL, Raigarh." *International Research Journal of Engineering and Technology* **5**(12).
- Raj, M., S. Swaroop, S. Kumar, R. Bhushan, V. Kumar and M. G. Borkar (2017). "Kobetsu Kaizen Losses Analysis to Enhance the Overall Plant Effectiveness in Steel Manufacturing Industry." *International Research Journal of Engineering and Technology*.
- Serrat, O. (2009). "The Five Whys Technique." from <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/27641/five-whys-technique.pdf>.

Sharma, A. K. (2012). "Manufacturing Performance and Evolution of TPM." International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST).

Sharma, R. and J. Singh (2015). "Impact of Implementing Japanese 5S Practices on Total Productive Maintenance." International Journal of Current Engineering and Technology 5.

Shingo, S. (1985). A Revolution in Manufacturing: The SMED System, Productivity Press.

Sugimori, Y., K. Kusunoki, F. Cho and S. Uchikawa (1977). "Toyota production system and Kanban system Materialization of just-in-time and respect-for-human system." International Journal of Production Research 15.

Sutoova, A., S. Markulik and M. Solc (2012). "Kobetsu Kaizen- its value and application." Eletronic International Interdisciplinary Conference.

Suzuki, T. (1992). TPM in Process Industries, Taylor & Francis Inc.

Thun, J.-H. (2008). Potencial of Technology-Integrated Mobile Maintenance for Total Productive Maintenance. Second World Conference on POM. Cancun, Mexico.

Veres, C., L. Marian, S. Moica and K. Al-Akel (2017). "Case Study concerning 5S impact in an automotive company." Elsevier B.V.

Workineh, M. W. and A. S. Iyengar (2014). "Autonomous Maintenance: A Case Study On Assela Malt Factory." Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science 4.