



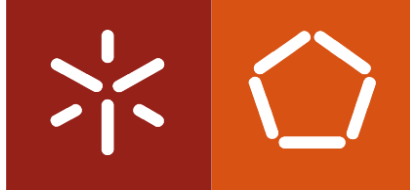
Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Diogo Nuno Barbeitos Reis

**Simulação de célula robotizada numa linha
de produção de veios para aumentar o OEE
dos equipamentos**

Outubro de 2023



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Diogo Nuno Barbeitos Reis

**Simulação de célula robotizada numa linha
de produção de veios para aumentar o OEE
dos equipamentos**

Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão de
Operações – Ramo de Especialização em Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor José Dinis Araújo Carvalho

Outubro de 2023

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



**Atribuição
CC BY**

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação de mestrado não seria possível sem o apoio profissional e acima de tudo pessoal, de algumas pessoas que diretamente, ou indiretamente, contribuíram para que a sua elaboração se tornasse uma realidade. Deste modo, demonstro a minha profunda gratidão e reconhecimento pelo enorme contributo que me foi prestado pelas pessoas em questão.

Ao Professor Doutor Dinis Carvalho, pelo apoio prestado durante o desenvolvimento do projeto, enaltecendo a disponibilidade demonstrada ao longo da elaboração da dissertação.

À WEGeuro - Indústria Elétrica, S.A, especialmente aos meus orientadores Eng.^a Sandra Sousa e Eng.^o João Pereira, pela oportunidade de desenvolver o meu projeto de dissertação nesta empresa e pelo modo como me acolheram, prestando o apoio e disponibilidade necessários para a realização desta dissertação.

Ao meu grupo de amigos, pela paciência, pelo apoio e por estarem sempre comigo em todos os momentos da minha vida.

À minha família, em especial aos meus pais e avós, que representaram um papel determinante nesta jornada da minha vida, demonstrando sempre apoio incondicional nos momentos mais críticos e me motivando para enfrentar e superar os desafios.

Por último, a todos os que, de algum modo, contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional durante o meu percurso académico.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Simulação de célula robotizada numa linha de produção de veios para aumentar o OEE dos equipamentos

RESUMO

A presente dissertação foi realizada no âmbito de um projeto individual em contexto industrial, inserido no 2º ano do Mestrado em Engenharia e Gestão de Operações da Universidade do Minho. O objetivo principal centrou-se em aumentar os índices de Overall Equipment Effectiveness (OEE) de uma linha dedicada á produção de veios, na unidade fabril da WEGeuro - Indústria Elétrica, S.A. em Santo Tirso, aplicando ferramentas Lean Manufacturing.

Em primeira instância, foi elaborada uma fundamentação teórica detalhada, estabelecendo uma base teórica dos temas a aplicar na prática ao longo do projeto, relacionadas principalmente com o Lean Production.

De seguida, foi apresentada a história da empresa a onde decorreu o estágio, bem com a sua notoriedade, a nível global e nacional e, a sua unidade produtiva em Santo Tirso.

A metodologia de investigação utilizada foi a Action-Research, que tem como primeira etapa diagnosticar a situação atual. Para tal, foram efetuadas diversas visitas ao chão de fábrica e utilizadas ferramentas como estudo de tempos, diagrama de Spaghetti e análise ABC, tendo por base os dados do sistema WEG Shop Floor Management (WSFM), uma ferramenta que recolhe os dados dos equipamentos em tempo real e calcula o respetivo OEE.

Posteriormente, após a verificação de desperdícios e de oportunidades de melhoria, foram propostas ações de melhoria, em específico, uma célula robotizada que teve como base um software de simulação industrial para estimar a atualização no OEE dos equipamentos, conjugadas com ferramentas como o Standard Work e o diagrama de Gantt.

Como resultado da simulação, verificou-se um aumento geral do OEE dos equipamentos gargalo em 2,74%.

PALAVRAS-CHAVE

Desperdícios, Lean Manufacturing, OEE, Simulação, Standard Work

Simulation of a robotic cell in a production line for shafts to increase equipment OEE

ABSTRACT

This dissertation was conducted as part of an individual project in an industrial context, integrated into the 2nd year of the Master's degree in Engineering and Operations Management at the University of Minho.

The main objective was focused on increasing the Overall Equipment Effectiveness (OEE) indices of a dedicated shaft production line at the manufacturing facility of WEGeuro - Electrical Industry, S.A. in Santo Tirso, through the application of Lean Manufacturing tools.

Initially, a comprehensive theoretical framework was developed, establishing a theoretical foundation for the concepts to be applied in practice throughout the project, primarily related to Lean Production.

Afterwards, the history of the company where the internship took place was presented, along with its global and national prominence, and its production unit in Santo Tirso.

The research methodology employed was Action-Research, with the initial step being the diagnosis of the current situation. To achieve this, numerous visits to the factory floor were conducted, and tools such as time studies, spaghetti diagrams, ABC analysis, and data from the WEG Shop Floor Management (WSFM) system were utilized. The WSFM tool collects real-time equipment data and calculates the Overall Equipment Effectiveness (OEE) by multiplying the three indices.

Afterwards, following the identification of waste and improvement opportunities, improvement actions were proposed, specifically a robotic cell. This was based on industrial simulation software to estimate the enhancement in OEE of the equipment, in conjunction with tools such as Standard Work and a Gantt chart.

As a result of the simulation, an overall increase of 2.74% in OEE of the bottleneck equipment was observed.

KEYWORDS

Lean Manufacturing, OEE, Simulation, Standard Work, Waste

ÍNDICE

Agradecimentos	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice.....	vii
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tabelas.....	xiv
Índice de Equações.....	xv
Lista de Abreviaturas e Acrónimos	xvi
1. Introdução	1
1.1 Contextualização	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Metodologia de Investigação.....	3
1.4 Estrutura da Dissertação	4
2. Fundamentação Teórica	6
2.1 Lean Manufacturing e Toyota Production Systems (TPS)	6
2.1.1 Os 7 Desperdícios Lean e os 3M	7
2.1.2 Princípios do Lean	9
2.1.3 Implementação do Lean Production – benefícios e desafios.....	10
2.2 Metodologias Lean e outras ferramentas.....	11
2.2.1 Kaizen	11
2.2.2 Standard Work.....	12
2.2.3 Análise ABC	13
2.2.4 Diagrama de Spaghetti	14
2.2.5 Diagrama de Gantt	14

2.2.6 TPM (Total Productive Maintenance)	15
2.2.7 Overall Equipment Effectiveness	16
3. Apresentação da Empresa WegEuro	19
3.1 História da Empresa.....	19
3.2 Missão Visão e Valores	21
3.3 WEG Manufacturing System	22
3.4 A WEG em Portugal	23
3.5 Unidade Produtiva de Santo Tirso.....	24
3.5.1 Estrutura Organizacional.....	24
3.5.2 Principal Gama de Produtos	25
3.5.3 Organização da Unidade Industrial	28
3.5.4 Processo Produtivo Geral.....	29
4. Descrição do Estado Atual e Análise Crítica	32
4.1 Descrição da linha de produção de veios.....	32
4.1.1 Operações dos Equipamentos	33
4.1.2 Descrição do processo produtivo	41
4.1.3 Setup Interno e Setup Externo	44
4.2 Recolha e tratamento de dados	49
4.2.1 Tempos de Ciclo e Tempos de Setup	50
4.2.2 WEG Shop Floor Management WSFM	59
4.2.3 Índices do OEE	61
4.3 Análise Crítica e Identificação de Problemas	63
4.3.1 Índice de Disponibilidade.....	63
4.3.2 Índice de Eficiência.....	66
4.3.3 Índice de Qualidade.....	67
4.4 Eficiência Global do Equipamento (OEE) e Capacidade Produtiva	67

4.4.1	Preparação	72
4.4.2	Paragem Não Justificada	72
4.4.3	Carga e Descarga de Materiais	73
4.4.4	Aguardando Próximas Operações	75
4.4.5	Aguardando Operações Anteriores	75
4.4.6	Troca de Turno/Limpeza	75
4.4.7	Reunião/Treinamento	76
5.	Apresentação da Proposta de Melhoria	77
5.1	Descrição da célula robotizada	77
5.2	Atualização dos Tempos de Ciclo	81
5.3	Standard Work	83
5.3.1	Deslocações efetuadas pela célula robotizada e pelo operador	84
5.3.2	Cenário com maior incidência de ineficiências	86
5.4	OEE Estimado	90
5.5	Produtividade	92
6.	Análise e Discussão dos Resultados	95
6.1	Aumento do OEE dos equipamentos da linha de veios	95
6.2	Redução do número de Operadores	96
6.3	Retorno do Investimento (ROI)	96
7.	Conclusão	98
7.1	Considerações Finais	98
	Referências bibliográficas	100
	Apêndices	104
	Apêndice 1. Esquema simplificado do processo produtivo de um motor	105
	Apêndice 2. Tabelas de Cronometragens dos materiais SS da Masted	107
	Apêndice 3. Tabelas de Cronometragens dos materiais SS dos Tornos	108

Apêndice 3. Tabelas de Cronometragens dos materiais SS da Eumach.....	109
Apêndice 4. Análise ABC dos eventos que motivaram as Paragens Não Planeadas.....	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - As cinco fases da metodologia investigação-ação.....	4
Figura 2 - Casa TPS	7
Figura 3 - Forças que suportam e que resistem ao Lean (Adaptado de Melton, 2005)	10
Figura 4 - Diagrama de Spaghetti.....	14
Figura 5 - Oito pilares do TPM.....	16
Figura 6 - As seis grandes perdas: Disponibilidade, Velocidade e Qualidade	17
Figura 7 - Logo WEG	19
Figura 8 - Werner Voigt, Eggon Silva e Geraldo Werninghaus	20
Figura 9 - Distribuição das fábricas e escritórios comerciais da WEG.....	20
Figura 10 - Áreas de negócio da WEG	21
Figura 11 - Valores da WEG.....	22
Figura 12 - Os 20 pilares WMS	23
Figura 13 - Unidade da Maia (à esquerda) e unidade de Santo Tirso (à direita)	24
Figura 14 - Organograma da estrutura organizacional da unidade de Santo Tirso.....	25
Figura 15 - Motores Produzidos em Santo Tirso.....	26
Figura 16 - Descrição componentes do Motor	27
Figura 17 - Layout Unidade Industrial de Santo Tirso.....	28
Figura 18 - Layout dos equipamentos que constituem a linha de veios.....	33
Figura 19 - Centro de Trabalho Serrote	34
Figura 20 - Barão de aço bruto convertido em barão de aço cortado	34
Figura 21 - AGV.....	35
Figura 22 - Centro de Trabalho Masted.....	35

Figura 23 - Barão de aço cortado convertido em barão de aço faceado e com furos	36
Figura 24 - Centro de Trabalho Danobat	37
Figura 25 - Centro de Trabalho Hwacheon.....	37
Figura 26 - Barão de aço faceado e com furos convertido em veio torneado	38
Figura 27 - Centro de Trabalho Eumach	38
Figura 28 - Veio torneado convertido em veio escatelado.....	39
Figura 29 - Equipamento Ger	39
Figura 30 - Veio escatelado convertido em veio finalizado.....	39
Figura 31 - Controlador CNC.....	40
Figura 32 - Sequência Produtiva, Incluindo Atividades Padrão e Setup, na Masted	45
Figura 33. Sequência Produtiva, Incluindo Atividades Padrão e Setup, nos Tornos.....	47
Figura 34 - Ecrã Touch WSFM.....	60
Figura 35 - Painel de Eventos do WSFM.....	61
Figura 36 - Distribuição do Tempo	62
Figura 37 - Distribuição do Tempo Disponível (Masted)	64
Figura 38 - Distribuição do Tempo Disponível (Danobat).....	64
Figura 39 - Distribuição do Tempo Disponível (Hwacheon)	65
Figura 40. Distribuição do Tempo Disponível (Eumach).....	65
Figura 41 - Análise ABC Paragens Não Planeadas Masted.....	69
Figura 42 - Análise ABC Paragens Não Planeadas Danobat	70
Figura 43 - Análise ABC Paragens Não Planeadas Hwacheon.....	70
Figura 44 - Análise ABC Paragens Não Planeadas Eumach	70
Figura 45 - Motivos Paragens Não Planeadas	71

Figura 46 - Diagrama de Spaghetti.....	74
Figura 47 - Layout Célula Robotizada.....	78
Figura 48 - Deslocações efetuadas pela célula robotizada e pelo operador	85
Figura 49 - Diagrama de Gantt do cenário com maior incidência de ineficiências	88
Figura 50 - Esquema simplificado do processo produtivo geral de um motor.....	106
Figura 51 - Tabelas de Cronometragens dos materiais SS da Masted.....	107
Figura 52 - Tabelas de Cronometragens dos materiais SS dos Tornos.....	108
Figura 53 - Tabelas de Cronometragens dos materiais SS da Eumach	109
Figura 54 - Análise ABC dos eventos que motivaram as Paragens Não Planeadas na Masted	110
Figura 55 - Análise ABC dos eventos que motivaram as Paragens Não Planeadas na Danobat	116
Figura 56 - Análise ABC dos eventos que motivaram as Paragens Não Planeadas na Hwacheon	112
Figura 57 - Análise ABC dos eventos que motivaram as Paragens Não Planeadas na Hwacheon	113
Figura 58 – “Garras”	114
Figura 59 - Buffer dependente do Robô.....	114
Figura 60 - Realização de Setup.....	114

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição das atividades realizadas em cada secção	29
Tabela 2 -Veios Stock de Segurança.....	49
Tabela 3 - Tempos de Ciclo (Duração de Atividades dos Veios SS)	51
Tabela 4 - Tempos de Ciclo Veios SS	52
Tabela 5 - Tempos de Setup (Duração de Atividades Veios SS).....	54
Tabela 6 - Continuação Tempos de Setup (Duração de Atividades Veios SS)	55
Tabela 7 - Tempo de Setup Médio na Masted	56
Tabela 8 - Tempo de Setup Médio dos Tornos	57
Tabela 9 - Tempo de Setup Médio na Eumach.....	58
Tabela 10 - Distribuição do Tempo Eficiente	67
Tabela 11 - Percentagem de Peças Conformes.....	67
Tabela 12 - OEE e Capacidade Produtiva da Linha	68
Tabela 13 - Atualização Atividades Tempos de Ciclo	82
Tabela 14 - Tempos de Ciclo Atualizados.....	83
Tabela 15 - Sequência de Operações Standardizada.....	86
Tabela 16 - Resultados Diagrama de Gantt	89
Tabela 17 - Resultados após Simulação Industrial	90
Tabela 18 - Alterações no OEE do Bottleneck.....	91
Tabela 19 - Melhorias Estimadas Após Implementação da Célula.....	94
Tabela 20 - Ganhos Estimados no aumento da Quantidade Produzida	96
Tabela 21 - Ganhos estimados na redução do número de Operadores	96

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Índice de Disponibilidade.....	62
Equação 2 - Índice de Eficiência.....	63
Equação 3 - Índice de Qualidade.....	63
Equação 4 - Capacidade Linha Produtiva Estado Futuro	93
Equação 5 - Unidades Estimadas Produzidas Danobat	93
Equação 6 - Unidades Estimadas Produzidas Hwacheon	93
Equação 7 - Produtividade da Linha por Operador	93
Equação 8 - ROI Anual	97
Equação 9 - Payback Mensal	97

LISTA DE ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS

CNC – Computerized Numerical Control

ID – Índice de Disponibilidade

IE – Índice de Eficiência

IQ – Índice de Qualidade

OEE – Overall Equipment Effectiveness

OP – Ordem de Produção

PCP – Planeamento e Controlo da Produção

TPM – Total Productive Maintenance

TPS – Toyota Production System

WSFM – WEG Shop Floor Management

KPI – Key Performance Indicator

SS – Stock de Segurança

1. INTRODUÇÃO

A presente dissertação resulta de um projeto concebido, na sequência do Mestrado em Engenharia e Gestão de Operações, com o propósito de aprimorar o desempenho da linha de veios na WEGeuro - Indústria Elétrica, S.A., referida doravante como WEG, aplicando princípios associados ao Lean Thinking.

O primeiro capítulo tem como intuito contextualizar acerca do tema analisado, apresentando os objetivos a serem alcançados com o desenvolvimento do projeto e, descrevendo a metodologia de investigação utilizada. De seguida, a estrutura da dissertação é apresentada, a par de uma breve visão geral dos capítulos que a compõem.

1.1 Contextualização

A indústria está em constante evolução e, por conseguinte, o mercado cada vez mais competitivo, fruto das exigências incitadas pelos clientes que pretendem produtos personalizados, entregues rapidamente, com qualidade e baixo custo. Face a este cenário, as empresas precisam de encarar uma atitude pró-ativa para se afirmarem com sucesso no exigente mundo empresarial e se tornarem mais flexíveis e adaptáveis às constantes variações da procura, de forma a manterem-se competitivas e inovadoras (Garre et al., 2017).

A filosofia Lean Production (Womack, Jones, & Roos, 1990) é uma das abordagens de produção encontradas para as empresas subsistirem no mercado e resistirem à concorrência. O conceito surgiu na Toyota Motor Company após a II Guerra Mundial, procurando a eliminação dos diferentes desperdícios que existem dentro de uma organização, através de melhorias que aumentam a capacidade do sistema produtivo (Monden, 1998; Ohno, 1988).

Associado ao conceito de Lean Production, tem-se a metodologia de gestão denominada de Lean Thinking (Womack & Jones, 1996), que se baseia em cinco princípios: valor, cadeia de valor, fluxo contínuo, produção puxada ou pull e procura pela perfeição. Deste modo, a base do Lean Thinking define-se como um paradigma de gestão centrado no cliente, assentado no aumento da produtividade e redução dos custos através da eliminação dos desperdícios, tendo em conta a melhoria contínua e o respeito pelas pessoas.

Assim, é necessário recorrer a Key Performance Indicators (KPI), por forma a tomar decisões mensuráveis e assentes em factos concretos. De acordo com (Haddad et al., 2021), o indicador mais utilizado é o Overall Equipment Effectiveness (OEE). Derivadamente, como forma de aumentar o OEE e

com o propósito de combater os desperdícios detetados, recorre-se a diversas ferramentas Lean, de entre as quais se pode destacar os 5S, a Gestão Visual, o Standard Work e o Single Minute Exchange of Dies (SMED) (Melton, 2005).

A WEGeuro - Indústria Elétrica, S.A., empresa onde decorreu esta dissertação, tem vindo a adotar o modelo Lean Production, por isso, surge o presente projeto, visando a melhoria contínua dos seus processos produtivos.

Na presente dissertação, os resultados obtidos através da implementação do Lean são provenientes de um software de simulação industrial providenciada pela KUKA.sim.

A simulação industrial é uma ferramenta eficaz na facilitação da tomada de decisão, pois permite criar e testar experiências em vários modelos, podendo posteriormente ser decidido qual o modelo a ser utilizado. Através da mesma, é possível prever os resultados, sem a necessidade de aplicar um investimento ou alterar o sistema produtivo.

1.2 Objetivos

O presente projeto de dissertação foca-se no objetivo de melhorar o desempenho da linha produtiva de veios da WEG, sendo que irá incidir na análise do indicador do OEE dos equipamentos pertencentes á linha produtiva e, na aplicação das metodologias Lean Thinking, com o intuito de eliminar desperdícios.

Deste modo, torna-se imperativo estabelecer as bases do projeto, identificando os assuntos primordiais que devem ser tomados em conta, como:

- A situação do estado atual e os OEE´s dos equipamentos;
- Os desperdícios e oportunidades de melhoria existentes;

Com o intuito de recolher a informação relevante aos assuntos mencionados, foram estabelecidas etapas para o estudo:

- 1º. Analisar o estado atual no chão de fábrica, recorrendo a observações e a cronometragens;
- 2º. Recolher e analisar os dados provenientes do WSFM acerca das ineficiências mais impactantes;
- 3º. Identificar oportunidades de melhoria, por forma a eliminar as ineficiências e consequentemente aumentar o OEE;

- 4°. Em junção com a equipa, definir a ação de melhoria, recorrendo a ferramentas Lean Manufacturing;
- 5°. Analisar software de simulação industrial;
- 6°. Avaliar o impacto dos resultados estimados.

Neste sentido, os principais resultados esperados são:

- Redução de Paragens Não Planeadas e custos associados;
- Aumento do Índice de Disponibilidade e consequentemente do OEE;
- Aumento da produtividade.

1.3 Metodologia de Investigação

O desenvolvimento desta dissertação teve como base uma fundamentação teórica detalhada, por forma a recolher informação acerca dos conceitos mais relevantes associados ao tema em estudo. Neste sentido, foi realizada uma pesquisa em várias fontes literárias, nomeadamente, fontes primárias, secundárias e terciárias, incluindo livros, artigos científicos e de jornal e, dissertações onde foram realizadas investigações anteriores.

De modo a atingir todos os objetivos desta dissertação, aplicou-se a metodologia de Investigação Action Research. Esta metodologia é caracterizada por ser uma investigação ativa onde há o envolvimento, não só do investigador, como de todas as pessoas envolvidas no projeto (O'Brien, 1998). Esta metodologia de investigação envolve um ciclo de cinco fases:

- 1) Diagnóstico: consiste na identificação do(s) problema(s) inerente(s) ao sistema produtivo em análise e recolha dos dados necessários para elaborar um diagnóstico mais detalhado. Neste caso de estudo, o problema central relaciona-se com o excesso de Paragens Não Planeadas em determinados eventos, que contribuem para a estagnação do OEE dos equipamentos.
- 2) Planeamento das ações: consideram-se ações de melhoria de modo a colmatar os problemas identificados na fase anterior. Neste caso em específico tenciona-se implementar medidas, por forma a eliminar ou mitigar as ineficiências que contribuem para o aumento do tempo improdutivo.
- 3) Implementação das ações: são colocadas em prática as ações previstas na fase anterior.
- 4) Avaliação: avaliam-se as consequências das medidas implementadas, tendo em consideração os indicadores de desempenho definidos;

5) Aprendizagem: analisam-se as propostas e as conclusões retiradas através dos resultados obtidos.

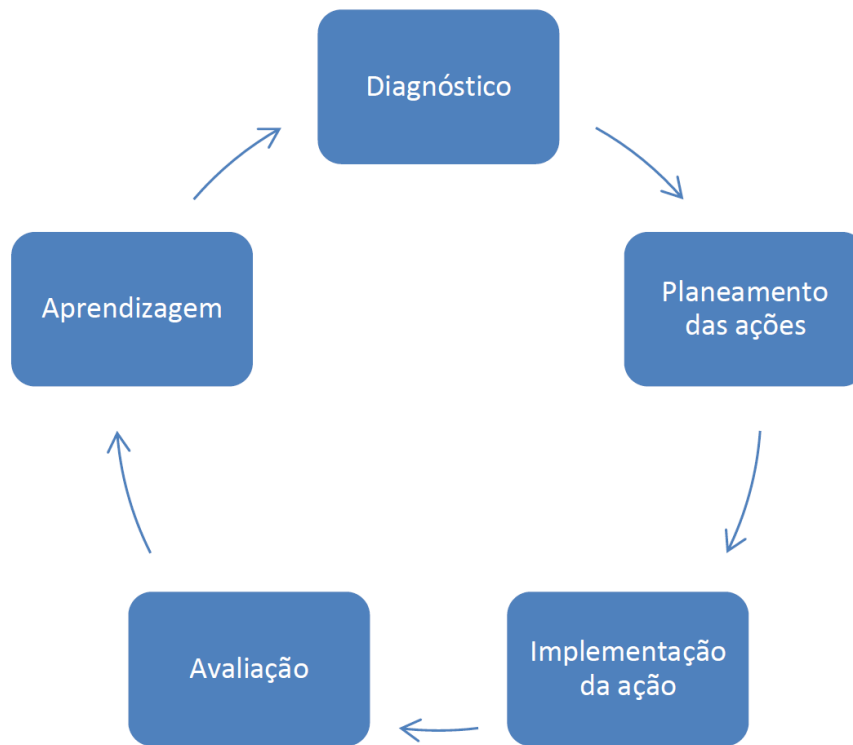


Figura 1 - As cinco fases da metodologia investigação-ação

1.4 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em 7 capítulos principais. O primeiro serve como introdução ao projeto desenvolvido, incidindo na contextualização do projeto e descrevendo resumidamente qual o seu tema, sendo definidos os objetivos e os respetivos resultados esperados, bem como a metodologia de investigação utilizada ao longo do projeto.

No segundo capítulo é apresentada a fundamentação teórica dos temas fundamentais abordados ao longo do projeto, bem como algumas ferramentas relacionadas ao Lean Thinking.

O terceiro capítulo tem como função apresentar a empresa onde o estágio curricular foi realizado, através do contexto histórico da mesma, a principal gama de produtos, o atual layout e o processo produtivo geral.

O quarto capítulo apresenta uma análise crítica do estado atual da linha produtiva dos veios, seguindo-se da identificação das principais ineficiências.

Em continuidade com o capítulo quatro, surge o quinto capítulo, que retrata a proposta de melhoria concebida para reduzir, ou eliminar, essas mesmas ineficiências.

No sexto capítulo, são analisados e discutidos os resultados obtidos após a implementação da ação de melhoria, bem como justificar financeiramente o hipotético investimento aplicado.

Por fim, no sétimo capítulo são apresentadas as conclusões resultantes da elaboração do projeto.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é apresentada a fundamentação teórica relacionada aos temas essenciais para estabelecer a base teórica dos conceitos aplicados na prática, durante o decorrer do projeto da dissertação. Deste modo, inicia-se com uma abordagem do conceito de Lean Manufacturing, abordando o Toyota Production System, os 7 desperdícios e os 3M, a filosofia Lean Thinking e os seus princípios, bem como os benefícios e desafios associados à sua implementação.

Em seguida, são apresentadas algumas das metodologias e ferramentas comumente empregues na implementação dos princípios Lean.

2.1 Lean Manufacturing e Toyota Production Systems (TPS)

A segunda Guerra Mundial foi um período difícil para a indústria automóvel japonesa, que colocou mesmo em causa a sua sustentabilidade. Um dos principais problemas resultantes foi a escassez de recursos, pessoas, espaços, materiais, entre outros (Ohno, 1988). A indústria era, maioritariamente, dominada pelos Estados Unidos da América, que se focavam no aumento da produtividade (Hu, 2013).

Face a este cenário, a empresa japonesa Toyota Motor Company tinha uma grande quantidade de stock de produtos acabados que, acrescentando a graves problemas financeiros, fez com que a Toyota se visse obrigada a criar formas de produção. Foi assim que Taiichi Ohno, na Toyota desde 1943, começou a estudar esta produção em massa da indústria americana, identificando dois grandes problemas:

1. Grandes tamanhos de lote originam grandes quantidades de stock, o que resulta em elevados custos;
2. Produção não centrada na satisfação do cliente (Holweg, 2007; Hunter, 2008).

Consequentemente, foi desenvolvido o sistema de produção focado no processo, conhecido por “Toyota Production System” (TPS), introduzindo um novo paradigma de produção, ao produzir automóveis com menores níveis de stock, esforço humano, investimento e defeitos, e, em simultâneo, com maior qualidade, melhor produtividade, maior variedade e melhor utilização dos recursos (Liker, 2004; Womack et al., 1990).

O maior destaque do TPS surgiu na década de 1980, quando indicadores como a qualidade e a eficiência foram superiores aos dos automóveis americanos, uma vez que apresentavam uma maior longevidade e uma menor necessidade de reparações. Na década seguinte as vantagens continuaram a ser notadas,

nomeadamente quanto à forma como se projetavam e produziam os automóveis com este processo produtivo, revelando numa elevada consistência (Liker & Morgan, 2006).

Ao longo dos anos, foram várias as empresas a implementar o sistema TPS e em 1990 o termo “Lean” foi generalizado entre os gestores industriais. O conceito lean consiste fundamentalmente na unificação de várias práticas de gestão, como é o caso do Kaizen, JIT, MRP, de forma a criar um sistema de alta qualidade que produza ao ritmo das necessidades do cliente com o mínimo desperdício possível no processo (Lewis, 2000).

A filosofia TPS foi representada na famosa casa TPS, tonando-se num ícone cultural e servindo de base para grande parte das empresas industriais em todo o mundo. Estando esta representada na Figura 2.

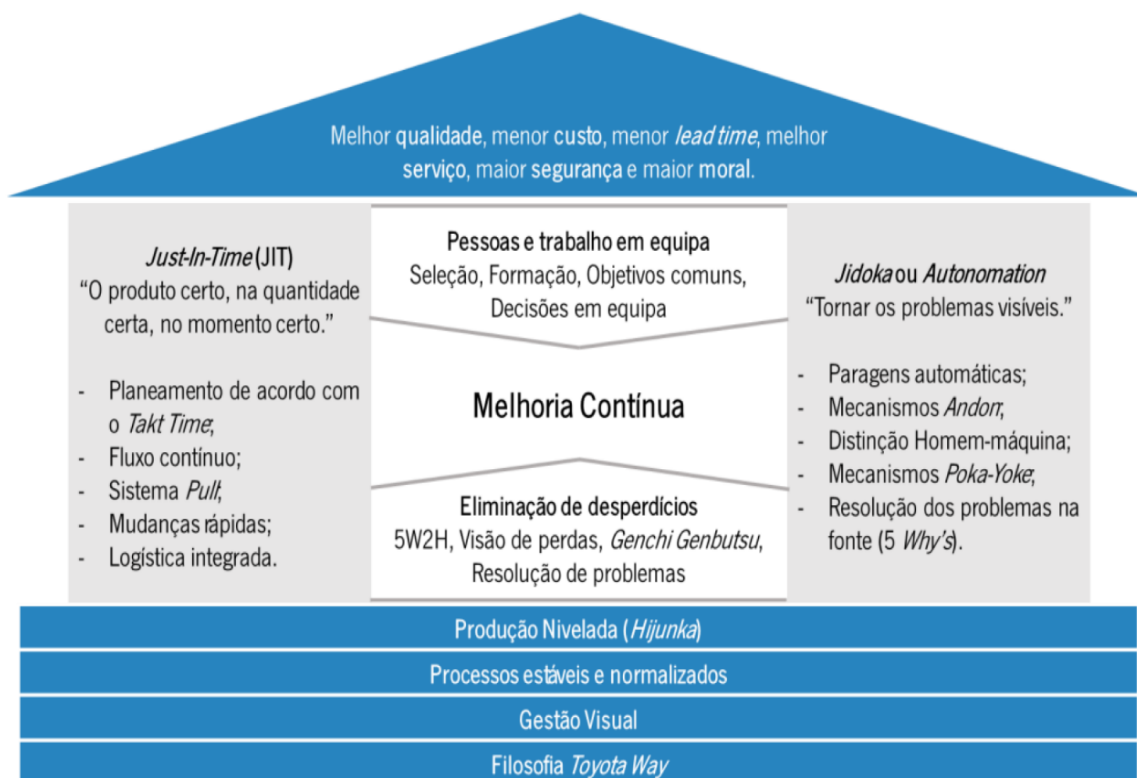


Figura 2 - Casa TPS (Adaptado de Liker, 2004)

2.1.1 Os 7 Desperdícios Lean e os 3M

Desperdício é considerado por (Womack & Jones, 2003) como toda a atividade que consome recursos e não acrescenta valor ao cliente. Existem vários tipos e causas de desperdícios, tanto no processo de criação de produtos como na prestação de serviços. Os autores referem a existência de sete tipos de desperdício, categorizados do seguinte modo:

1. **Stock:** refere-se ao armazenamento desnecessário e excessivo de produtos finais, matérias-primas ou produtos em vias de fabrico.
O excesso de stock implica uma maior área disponível para armazenamento, movimentações e ainda pode provocar sobreprocessamento (Hicks, 2007). É considerado uma falha a nível operacional, resultante de gargalos da produção, ou problemas de qualidade dos produtos.
2. **Produção excessiva:** excesso de produção sucede quando esta vai para além do que é necessário. Segundo (Shingō, 2007) existem dois tipos de excessos:
 - o Excesso de produção por quantidade: quando é produzido em quantidade superior ao pedido;
 - o Excesso de produção por antecipação: quando é produzido antes da data devida, que pode trazer consequências indesejáveis, tais como a ocupação desnecessária dos recursos ou mesmo do espaço físico.
3. **Esperas:** ocorrem quando os equipamentos e/ou operadores ficam parados á espera da próxima fase do processo, á espera de ferramentas, abastecimento de materiais, ou simplesmente não terem trabalho por causa de ruturas de stock, atrasos no processamento de lotes e gargalos de capacidade (Vijverberg et al., 2023).
4. **Movimentações:** refere-se a todas as atividades do operário em que este se movimenta desnecessariamente, sem adicionar valor ao produto final e, o consumidor final não está disposto a pagar por elas. São exemplos destas movimentações a procura de materiais, documentos, ferramentas, equipamentos, entre outras (Hines et al., 2002).
5. **Transporte:** Movimentações de materiais, peças ou produto acabado de/para armazéns ou entre processos, não acrescentando valor ao produto/serviço (Sternberg et al., 2013).
6. **Processamento impróprio:** Diz respeito a todos os processos e atividades que o cliente não está disposto a pagar. A presença deste desperdício ocorre devido à falta de formação dos operadores, à inexistência de normalização de procedimentos e ao uso de ferramentas e/ou equipamentos inadequados, entre outras (Bell, 2005).
7. **Defeitos:** consiste na produção de peças defeituosas, na inspeção e no retrabalho das mesmas (Sternberg et al., 2013).

Os desperdícios, ou Muda, referidos são parte de um conceito apresentado por (Ohno, 1988), designado por 3M: Muda, Muri e Mura.

O Muda relaciona-se com os desperdícios existentes numa empresa. Por outro lado, o Muri refere-se á sobrecarga colocada nos operadores e a utilização excessiva das máquinas, resultando em perdas de tempo e energia e, ainda, problemas de qualidade e segurança. Por fim, Mura significa variação e relaciona-se com as irregularidades, inconsistências e variabilidades no fluxo produtivo que, conseqüentemente, conduzem a inventários excessivos (Liker, 2004).

Sintetizando, Muda refere-se aos desperdícios, Muri às sobrecargas e Mura á variabilidade. Em conjunto, representam os três tipos de desperdícios a minimizar numa abordagem Lean (Berrahal & Marghoubi, 2016).

2.1.2 Princípios do Lean

Uma empresa comprometida com os princípios do Lean deverá ter a capacidade de eliminar todas as atividades improdutivas e custos desnecessários associados às mesmas. Nesta filosofia, atribui-se extrema relevância ao papel desempenhado pelos colaboradores, sendo fundamental serem qualificados e estarem motivados para desempenharem as suas atividades.

Neste sentido, (Womack & Jones, 2003) definiram cinco princípios que servem de base ao Lean e que quando aplicados corretamente são considerados como o “antídoto dos desperdícios”. Existem alguns autores que consideram a inclusão de mais dois princípios, no entanto, só serão descritos os cinco princípios mais relevantes:

- **Valor:** o ponto de partida da filosofia Lean, segundo (Womack & Jones, 1996) , consiste na identificação e criação da de valor, ou seja, distinguir o que acrescenta valor ao produto na perspectiva do cliente final, sendo aquilo que ele está disposto a pagar. Tudo aquilo que não corresponde aos requisitos e às necessidades do cliente deve ser **eliminado ou mitigado**.
- **Definição do fluxo de Valor:** definir o fluxo de valor exige a divisão de todas as atividades num sistema de produção, distinguindo as que realmente acrescentam valor ao produto final, as que não acrescentam valor ao produto final, mas são indispensáveis e, as que não acrescentam valor ao produto final nem acrescentam qualquer valor ao produto. Estas últimas devem ser eliminadas de imediato, visto que são consideradas desperdícios (Kamauff, 2009).
- **Fluxo Contínuo:** nesta fase, o foco passa a ser executar as atividades que acrescentam valor através de um fluxo contínuo e fluido, sem desperdícios. Ou seja, adotar uma metodologia one piece flow desde a chegada da matéria-prima até ao produto acabado, eliminando as atividades que não acrescentam valor.

- **Sistema Puxado (*Pull*):** um sistema pull pressupõe que a produção é apenas iniciada quando é efetuada uma encomenda por parte do cliente. Deste modo, está presente o conceito JIT, que permite produzir apenas o necessário, reduzindo a acumulação de stock e a existência de produtos obsoletos (Womack & Jones, 1996).
- **Procura contínua pela perfeição:** consiste na procura incessante pela perfeição e, exige que deva ser mantido um esforço diário para manter os níveis de excelência, removendo continuamente os desperdícios, identificando as causas.

2.1.3 Implementação do Lean Production – benefícios e desafios

Segundo (Melton, 2005), a implementação do modelo organizacional Lean Production é considerado revolucionário e os benefícios associados à sua implementação são imensos, valiosos e transversais a todas as indústrias e organizações. Porém, apesar das vantagens associadas à implementação do Lean, existem certos desafios que dificultam a sua aplicação.

Na Figura 3 está inserido um esquema resumido das forças que suportam a filosofia Lean e das forças que resistem à filosofia Lean.

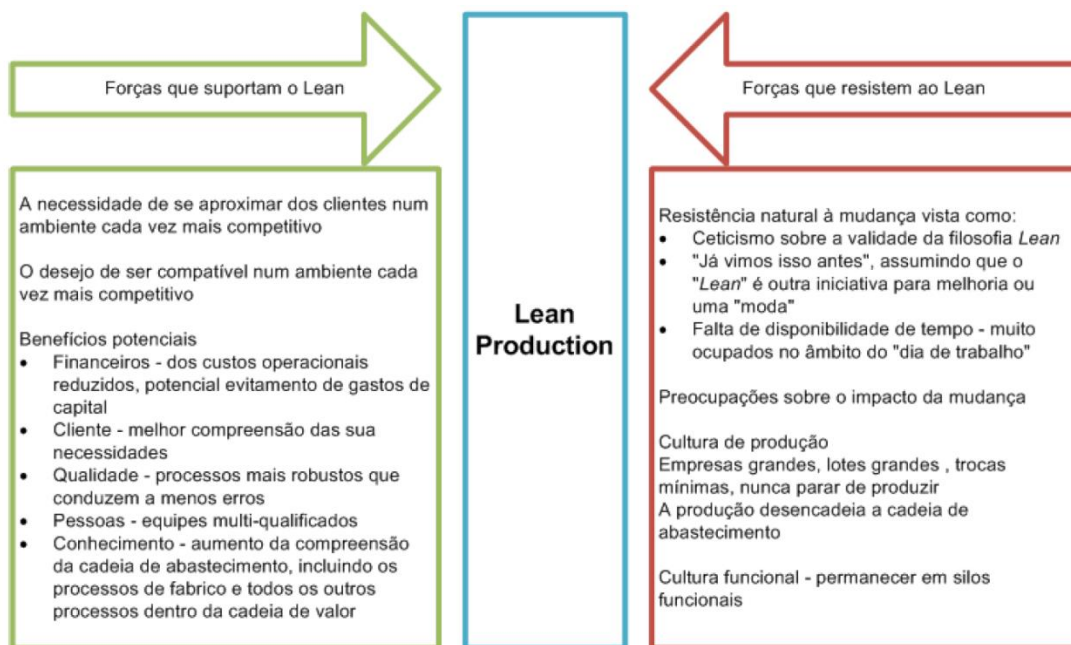


Figura 3 - Forças que suportam e que resistem ao Lean (Adaptado de Melton, 2005)

De acordo com o autor, os benefícios na implementação da filosofia Lean Production são:

1. redução do inventário;
2. redução do lead time;
3. redução do retrabalho;
4. aumento do entendimento do processo;
5. redução dos desperdícios;
6. redução dos custos.

Todavia, estes benefícios apenas são atingidos se o modelo Lean for bem aplicado, existindo muitas dificuldades nesta implementação porque, a adoção de uma nova cultura e prática de produção está dependente de várias circunstâncias empresariais específicas que, por sua vez, impedem os ganhos destacados previamente.

Seguindo a opinião do autor, (Melton, 2005), uma das dificuldades em implementar o Lean é o facto de muitas empresas ainda terem uma atitude de resistência à mudança e uma ideia de que se devem produzir lotes grandes e com poucas variações. Adicionalmente, (Narang, 2008), menciona que as empresas muitas vezes não implementam o Lean porque, para além da aclamada falta de tempo, as empresas não compreendem as metodologias e ferramentas, pelo que dificulta a aplicação das mesmas.

2.2 Metodologias Lean e outras ferramentas

Existem diversas metodologias disponíveis que incorporam a filosofia Lean numa empresa, visando a redução de desperdícios e o aumento da eficiência do sistema produtivo. Neste contexto, neste subcapítulo, são descritas algumas dessas ferramentas e técnicas que se revelaram valiosas para o desenvolvimento do projeto, bem como outras ferramentas de relevância no diagnóstico e na formulação de ações de melhoria.

2.2.1 Kaizen

Kaizen é uma metodologia criada por Masaaki Imai, tendo este conceito surgido pela primeira vez em 1986, período em que o autor publicou o livro “Kaizen: The Key to Japan’s Competitive Success”. A palavra japonesa Kaizen significa melhoria contínua. De acordo com (Imai, 1997), esta melhoria envolve toda a estrutura organizacional, desde os operadores até aos gestores.

Esta metodologia assenta em três regras fundamentais: a limpeza, o standar work e a eliminação dos desperdícios (Rawabdeh, 2005). Porém, o objetivo principal desta filosofia centra-se, essencialmente, na eliminação dos desperdícios e de todas as atividades sem valor acrescentado para o cliente (Imai, 1986).

Neste contexto, do ponto de vista de (Ortiz, 2006), a ferramenta Kaizen deve estar incluída nas atividades realizadas diariamente, com o intuito de eliminar desperdícios e ter um ambiente de trabalho limpo e organizado.

Segundo (Imai, 1986), esta metodologia é descrita como uma estratégia competitiva e está assente em três princípios:

- O não julgamento – que se baseia na causa do problema e não no culpado;
- O foco nos processos e resultados;
- Os sistemas globais – onde há intervenção geral da empresa.

Além dos princípios mencionados, a ida para o gembu (chão de fábrica) é fulcral, sendo neste que é criado valor e podem ser melhorados hábitos e aperfeiçoados processos (Imai, 1986).

A metodologia Kaizen é suportada por várias ferramentas capazes de garantir a sua continuidade. Uma dessas ferramentas é o ciclo PDCA, tendo sido divulgada por Deming e, inicialmente, concebida por Shewhart. O ciclo PDCA é uma metodologia cíclica e promove sempre a melhoria contínua (Scyoc, 2008), sendo constituída pelas seguintes fases (Imai, 1997):

- Plan (Planear): definem-se os objetivos, estabelecem-se as metas a alcançar e determina-se quais os planos de ação a executar;
- Do (Fazer): colocam-se em prática as atividades conforme o plano de melhoria;
- Check: (Verificar): verificam-se os resultados obtidos e estabelecem-se termos de comparação com o que estava definido, avaliando se estão de acordo com o expectável;
- Act (Atuar): padroniza-se o processo melhorado e inicia-se um novo ciclo PDCA, sem recair nos mesmos erros.

2.2.2 Standard Work

O Standard Work, ou Trabalho Normalizado, corresponde a uma instrução de trabalho que define detalhadamente qual o melhor método e sequência a serem realizados numa determinada tarefa, da forma mais eficiente e segura (Womack & Jones, 1996).

O principal objetivo, segundo (Acharya, 2011) , é a padronização do trabalho, isto é, a eliminação das inúmeras formas que os colaboradores praticam na execução das tarefas associadas ao seu posto de trabalho. Permitindo isto que os operadores desempenhem as suas funções de forma coordenada e consistente, possibilitando que todas as pessoas realizem as mesmas operações do mesmo modo. Além

de que, na ótica de (Losonci et al., 2011), ao estarem padronizadas as operações a realizar, os operadores acabam por se tornar polivalentes, tendo acesso a toda a informação e podendo aprender a executar novas tarefas, o que resulta em maior flexibilidade do sistema de produção.

De acordo com (Mariz & Picchi, 2013) destacam-se como principais vantagens do *standard work* o melhor controlo e redução da variabilidade dos processos de produção, a diminuição da carga de trabalho, risco de acidentes dos operadores, o aumento da produtividade e a redução de desperdícios.

Deste modo, (Ohno, 1988) defende que devem ser especificados três elementos essenciais no *standard work*:

- Takt Time – Representa a taxa de produção sincronizada com o ritmo das encomendas dos clientes;
- Sequência de Standard Work – Consiste na melhor ordem e método pelo qual os operadores devem executar as tarefas;
- Work in Process (WIP) normalizado – Indica o nível mínimo de inventário para manter o sistema de produção com um fluxo contínuo.

O Standard Work consiste então num método que procura alcançar a melhor forma de trabalhar, sendo um ponto de partida para obter, com qualquer outra implementação de melhoria, os efeitos desejados.

2.2.3 Análise ABC

A análise ABC é uma metodologia que permite abordar estrategicamente a gestão de recursos e resolver problemas em ambientes industriais. Baseando-se na premissa de que nem todas as causas têm o mesmo impacto. Neste sentido, a análise ABC é frequentemente empregue na identificação e priorização das causas mais impactantes que estão na origem de desperdícios, ineficiências ou problemas de qualidade. Os resultados desta análise são normalmente representados num diagrama de Pareto, sendo este utilizado, segundo (Ramos, 2000), quando é necessário dar atenção aos problemas de uma maneira sistemática e quando se tem um grande número de problemas e recursos limitados para resolvê-los. Sendo agrupadas as causas em três categorias (A, B ou C), dependendo do seu valor de percentagem acumulada comparativamente ao total.

A categoria A engloba cerca de 20% das causas que resultam em 80% do valor total, a B cerca de 30% das razões que se traduzem em 15% do valor total, e, finalmente, a categoria C abrange os restantes 50% que são responsáveis por 5% do valor total.

A análise ABC não ajuda apenas as empresas a priorizar os seus esforços de melhoria, mas também a alocar recursos, como tempo e dinheiro, de modo mais eficiente. Isso evita a dispersão de esforços em causas de baixa relevância, concentrando-se naquelas que realmente farão a diferença.

2.2.4 Diagrama de Spaghetti

O diagrama de Spaghetti consiste numa ferramenta simples que permite identificar o percurso percorrido por um operador ou material durante a execução de um processo (Plenert, 2010). O objetivo desta ferramenta Lean é expor no layout, utilizando uma linha contínua para desenhar o caminho, processos ineficientes, distâncias e deslocamentos excessivos entre as fases do processo, de modo a compreender melhor o circuito dos materiais ou operadores e torná-lo mais prático, eliminando ao máximo o desperdício identificado.

Para avaliar o impacto das ações de melhoria, deve elaborar-se um diagrama que represente o estado atual e, mais tarde, um diagrama com o estado após a implementação das melhorias (Dennis, 2017).

Na Figura 4 é possível observar um esquema exemplificativo de um Diagrama de Spaghetti.



Figura 4 - Diagrama de Spaghetti (Adaptado de (Roser, 2015))

2.2.5 Diagrama de Gantt

O diagrama de Gantt é das técnicas mais utilizadas no planeamento de tarefas e na gestão de projetos, consistindo numa representação gráfica temporal, por meio de barras horizontais. Segundo (Seppänen, 2009), refere-se a um gráfico de barras com informações do cronograma, onde as atividades são listadas

do lado direito e as durações apresentam-se como barras horizontais de acordo com as datas de início e de fim. Essa metodologia é consideravelmente simples e de fácil interpretação quando aplicada a pequenos projetos. Porém, respectivamente a projetos mais ambiciosos, a visualização e interpretação acaba por não ser simplificada, devido á quantidade de tarefas que frequentemente decorrem paralelamente.

2.2.6 TPM (Total Productive Maintenance)

O TPM nasceu no Japão, após as empresas japonesas perceberem que só um sistema integrado lhes permitiria ter qualidade total nos seus produtos, já que não poderiam produzir com qualidade e dentro das exigências pretendidas, se os equipamentos apresentassem deficiências (Wireman, 2004). Assim, esta filosofia tem como objetivo eliminar todos os desperdícios, com uma abordagem inovadora à manutenção, que permite a otimização dos equipamentos, eliminando falhas e possíveis causas de falha (Gosavi, 2006). Deste modo, a metodologia distingue-se por atribuir a responsabilidade pela limpeza, inspeção e manutenção geral do equipamento a todos os funcionários que nele trabalhem, com o intuito de manter o sistema estável e evitar paragens inesperadas (Liker, 2004).

Nakajima (1988), afirma que a palavra “total” da filosofia TPM assume três significados:

- Eficácia Total: consiste na procura contínua pela melhoria da qualidade e da produtividade, com a redução de custos e aumento da segurança resultante da manutenção dos equipamentos;
- Manutenção Total: significa estabelecer um plano de manutenção para toda a vida útil dos equipamentos, reduzindo o número de manutenções necessárias. Deste modo, a disponibilidade do equipamento é aumentada;
- Participação Total: pretende-se o envolvimento de todos os colaboradores da empresa na realização de atividades de Manutenção Autônoma.

Em síntese, o que é pretendido é a diminuição ou eliminação da manutenção corretiva, incentivando o operador dedicado ao equipamento a realizar a sua manutenção, aumentando a eficiência e diminuindo o número de paragens.

O modelo apresentado por (Nakajima, 1988), contempla oito pilares como elementos básicos que permitem alcançar os objetivos do TPM, como pode-se constatar na Figura 5.

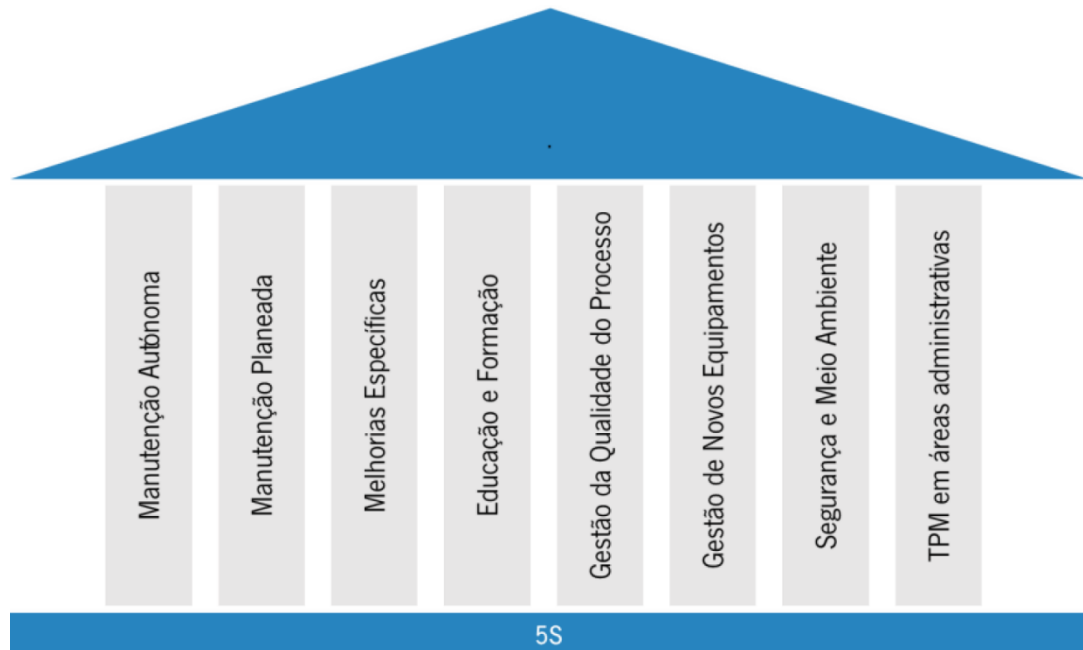


Figura 5 - Oito pilares do TPM (Adaptado de (Nakajima, 1988))

De seguida será descrito o Overall Equipment Effectiveness (OEE), um conceito associado à filosofia TPM.

2.2.7 Overall Equipment Effectiveness

A eficiência e a eficácia são palavras de ordem no mercado atual, cada vez mais competitivo, o que significa que quanto maior a eficiência e a eficácia de uma organização, maior será a sua produtividade (Relkar & Nandurkar, 2012).

O OEE é uma ferramenta de medição quantitativa que avalia o desempenho dos equipamentos. Este indicador foi desenvolvido por (Nakajima, 1988) ,a partir do conceito de TPM e, define-se como uma medida do desempenho total do equipamento, ou seja, o grau com o qual o equipamento trabalha, em relação ao suposto. Posteriormente à sua análise permite aferir as perdas de eficiência e verificar o efeito originado pela eventual realização de atividades de melhoria. “Se não consegue medir não consegue controlar” (Wauters & Mathot,2002).

Neste sentido, (Nakajima, 1988) compreende as denominadas “Seis Grandes Perdas” em três fatores: Disponibilidade, Velocidade e Qualidade, destacando a influência que estes terão no tempo disponível para a produção. Essas perdas são resumidas na Figura 6.

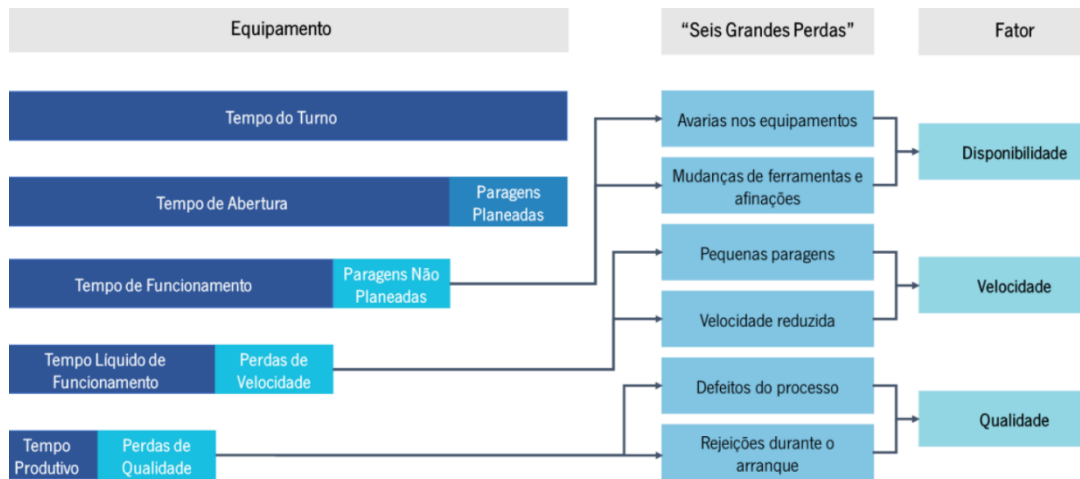


Figura 6 - As seis grandes perdas: Disponibilidade, Velocidade e Qualidade (Adaptado de(Nakajima, 1988))

O OEE é calculado através do produto dos três fatores: disponibilidade, velocidade e qualidade, conforme representado nas seguintes equações:

- **Disponibilidade:** representa-se pelo rácio entre o tempo de funcionamento e o tempo de abertura. O primeiro tempo, designado de Tempo de Funcionamento, diz respeito ao Tempo de Abertura menos as Paragens Não Planeadas. Já o tempo de Abertura diz respeito ao tempo total de turno menos as Paragens Planeadas, tais como, pausas, períodos sem nada para produzir, manutenções planeadas e os tempos de formação e reuniões.

$$1. \text{ Disponibilidade} = \frac{\text{Tempo de Funcionamento}}{\text{Tempo de Abertura}}$$

- **Velocidade:** este avalia a velocidade de produção do equipamento e compara o que a máquina produz com o que a máquina deveria produzir se o equipamento estivesse na sua capacidade máxima. Neste fator são consideradas as pequenas paragens e a redução de velocidade do equipamento.

$$2. \text{ Velocidade} = \frac{\text{Tempo de Ciclo Ideal} \times \text{Peças Produzidas}}{\text{Tempo de Funcionamento}}$$

- **Qualidade:** corresponde à relação entre o número de peças conformes produzidas e o número total de peças produzidas. Correspondendo a produtos que não vão de encontro aos standards de qualidade, incluindo peças que necessitem de retrabalho.

$$3. \text{Qualidade} = \frac{\text{Peças Com Defeito} \text{ Peças Produzidas}}{\text{Peças Produzidas}}$$

(Nakajima, 1988) definiu o OEE de Classe Mundial em 85%, afirmando que as condições ideais para os três fatores do OEE seriam disponibilidade igual ou superior a 90%, velocidade igual ou superior a 95% e qualidade igual ou superior a 99%.

3. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA WEGEURO

Neste capítulo, o objetivo é contextualizar o projeto abordado nesta dissertação, o qual foi desenvolvido na empresa denominada WEGEuro – Indústria Elétrica, S.A, doravante referida por WEG. Numa primeira instância, será efetuada uma breve introdução à empresa, destacando a sua história e as atuais unidades fabris presentes em Portugal. Em seguida, serão apresentados exemplos de produtos comercializados pela WEG, juntamente com uma abordagem geral acerca da composição de um motor elétrico. Por fim, será realizada uma breve explicação do processo de fabricação dos motores elétricos.

3.1 História da Empresa

Fundada em 1961, na cidade de Jaraguá do Sul, em Santa Catarina, por três irmãos, a WEG (com o logotipo representado na Figura 7 - Logo WEG) é uma empresa brasileira especializada essencialmente no mercado de motores elétricos.



Figura 7 - Logo WEG

A história desta empresa é o resultado da combinação de conhecimentos e experiências de um eletricitista, um gestor e um mecânico. Inicialmente, a empresa era conhecida como "Eletromotores Jaraguá", porém, os seus fundadores decidiram renomeá-la para "WEG". Werner Ricardo Voigt, Eggon João da Silva e Geraldo Werninghaus, retratados na Figura 8, tinham raízes alemãs e desejavam que o nome da empresa refletisse essa herança. Deste modo, eles combinaram as iniciais dos seus nomes para criar a palavra alemã "WEG", que significa "caminho".



Figura 8 - Werner Voigt, Eggon Silva e Geraldo Werninghaus

A mentalidade visionária dos seus fundadores, naquela que foi a procura por internacionalizar os seus produtos, transcendeu o nome da WEG para além das fronteiras nacionais, convertendo uma pequena empresa local em uma empresa multinacional.

De momento, conta com 45 fábricas distribuídas por 12 países e vende os seus produtos para mais de 100 países, como ilustra a Figura 9.



Figura 9 - Distribuição das fábricas e escritórios comerciais da WEG

À medida que foram conquistando o sucesso, os fundadores abraçaram uma visão ambiciosa e, conseguiram expandir o seu portfólio de produtos e estender a sua presença global. Neste contexto, na década de 80, a WEG optou por diversificar as suas atividades, indo além da mera produção de motores elétricos. Essa decisão estratégica consagrou a empresa não apenas como uma fabricante de motores, mas também como uma fornecedora integral de sistemas elétricos industriais.

Assim sendo, a WEG atualmente está inserida em cinco áreas de negócio. Sendo estas as áreas dos Motores Elétricos e Redutores, Tecnologia de Automação, Transmissão e Distribuição, Geração de Energia e Tintas e Vernizes. É descrita, na Figura 10, uma síntese das áreas mencionadas.

Motores Elétricos e Redutores	Oferece soluções para os mais variados tipos de aplicação, desde comerciais e residenciais até industriais, sempre com o foco na necessidade do cliente.
Tecnologia de Automação	Atua no desenvolvimento de soluções que aumentam a eficiência, produtividade e competitividade dos seus clientes, através da automatização dos seus processos, sempre com a devida segurança operacional.
Transmissão & Distribuição	Focada no mercado industrial e de geração, transmissão e distribuição de energia e oferece produtos como transformadores, equipamentos de alta tensão e soluções completas, de acordo com as necessidades específicas de cada cliente.
Geração de Energia	Oferece produtos para as mais diversas aplicações, desde as mais simples até às mais complexas, como geradores turbo, hidrogeradores, aerogeradores, alternadores e turbinas hidráulicas e a vapor. Ademais, mantém a constante preocupação com o serviço pós-venda, oferecendo suporte técnico em aplicações e instalações.
Tintas e Vernizes	Produção de uma ampla linha de produtos, abrangendo tintas industriais líquidas, tintas em pó, tintas para repintura automotiva e resinas e vernizes eletroisolantes. Estes produtos garantem um nível apropriado de proteção contra a corrosão, agentes químicos e condições ambientais adversas.

Figura 10 - Áreas de negócio da WEG

3.2 Missão Visão e Valores

A WEG abraça a missão de prosseguir o seu crescimento, adotando uma abordagem rápida e sustentável, mantendo, ao mesmo tempo, uma estrutura de negócios caracterizada pela simplicidade. Deste modo, procura harmonizar as capacidades inerentes a uma empresa de alcance global e a disponibilidade sempre que necessário. Assim sendo, a sua visão cinge-se por atingir um patamar de excelência e reconhecimento internacional no domínio das máquinas elétricas, oferecendo uma extensa gama de produtos e promovendo soluções completas e eficientes.

De modo a esclarecer a sua atividade, a WEG fundamenta-se em seis valores essenciais, os quais estão enumerados na Figura 11, acompanhados de uma breve explicação de cada um deles.

Pessoas e Meio Ambiente	Valorização das oportunidades de desenvolvimento profissional e pessoal, os direitos humanos, a diversidade e o meio ambiente.
Gestão Participativa	Foco no trabalho em equipa, com um ambiente aberto e propício ao debate e troca de ideias, por forma a partilhar conhecimentos e competências, para aprimorar o processo de decisão.
Administração	Promoção, através de um sistema administrativo estruturado em todos os níveis, a transparência, integridade, ética e segurança em tudo o que fazem, respeitando os direitos de todas as partes interessadas.
Eficiência com simplicidade	Associado ao facto de se priorizar a simplicidade nas relações e perseguirem o aumento da eficiência e competitividade, tornando os produtos e processos cada vez melhores.
Inovação e Flexibilidade	Relacionam-se com o facto de investirem em pesquisa, desenvolvimento, inovação e qualidade, em busca de forma de atender melhor aos requisitos da sociedade em constante transformação.
Liderança e Cultura	Desenvolvimento de pessoas para que exerçam com excelência o seu papel no desdobramento da estratégia e na manutenção e disseminação da cultura da empresa.

Figura 11 - Valores da WEG

3.3 WEG Manufacturing System

Os principais objetivos da WEG incluem aumentar a competitividade e a sustentabilidade, sendo que para isso, são produzidos e comercializados produtos de alta qualidade, a preços competitivos e dentro dos prazos estipulados. Com a finalidade de alcançar os objetivos referidos, a empresa visa a melhoria contínua com a participação ativa dos seus colaboradores e a redução de custos por meio da eliminação de perdas e desperdícios no seu processo de produção.

Neste contexto, a WEG implementou o programa chamado WEG Manufacturing System (WMS), que tem como finalidade aprimorar a segurança no trabalho, a qualidade dos produtos, a produtividade, a manutenção e a logística da empresa. Esse programa reflete o compromisso da WEG em alcançar os seus objetivos, através de processos eficientes e melhorias contínuas nas suas operações de fabricação.

Como tal, o WMS pode ser entendido como uma estrutura, assemelhando-se a uma casa, sustentada por 20 pilares, subdivididos em duas categorias principais: pilares técnicos e pilares gerenciais. Os pilares técnicos têm como objetivo primordial a melhoria contínua, visando a eliminação de perdas e

desperdícios presentes no processo produtivo. Em contrapartida, os pilares gerenciais refletem o comprometimento das pessoas e da empresa em apoiar e auxiliar os pilares técnicos na identificação e eliminação dos desperdícios identificados.

Estes 20 pilares que constituem o WMS, podem ser observados na Figura 12.

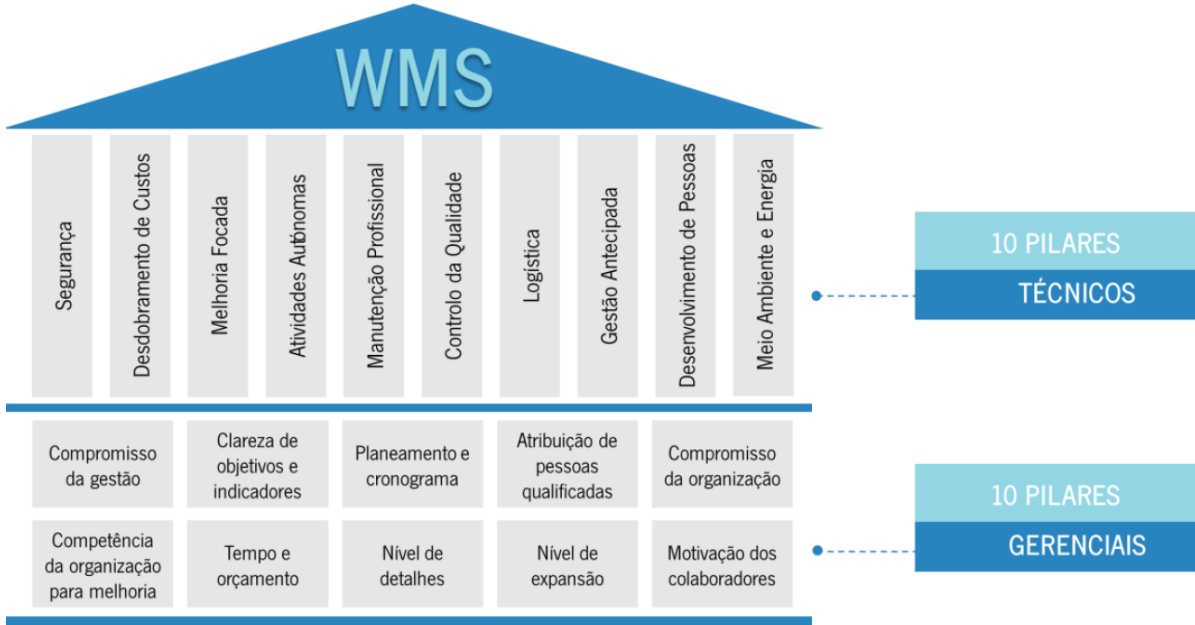


Figura 12 - Os 20 pilares WMS

3.4 A WEG em Portugal

Em maio de 2002, a WEG deu início às suas operações em Portugal por meio da aquisição da unidade da empresa Efacec Motors, localizada na Maia. Essas instalações abrangem uma área total de 19.590 metros quadrados e, foram a primeira empresa da WEG na Europa.

Posteriormente, em 2017, a WEG expandiu ainda mais as suas operações em Portugal com a abertura de uma nova unidade em Santo Tirso, que se tornou a maior unidade industrial da WEG na Europa, com uma área total de 43.364 metros quadrados. Considerando as duas instalações em Portugal, a WEG emprega atualmente mais de 750 colaboradores, fortalecendo a sua presença e capacidade de produção na região europeia.

Mais recentemente, a unidade da Maia está em processo de transferência para Santo Tirso, de modo a facilitar e centralizar as operações.

Na Figura 13 podem ver-se ambas as instalações da WEG em Portugal.



Figura 13 - Unidade da Maia (à esquerda) e unidade de Santo Tirso (à direita)

A unidade da Maia tem como foco principal a produção de motores elétricos de maiores dimensões, especificamente motores de média e alta tensão. Esses motores têm uma altura de eixo, ou seja, a distância entre a base do suporte até a ponta do veio do motor é de pelo menos 315 milímetros.

A unidade de Santo Tirso encarrega-se da produção de motores elétricos de baixa tensão, com altura de eixo de até 355 milímetros. Além disso, essa unidade também atua na revenda de produtos finais provenientes de outras fábricas do grupo WEG, funcionando como um ponto de acesso estratégico para o mercado europeu.

No que diz respeito à capacidade produtiva, atualmente, são produzidos por semana, em média, 11 motores na Maia e 250 motores em Santo Tirso.

3.5 Unidade Produtiva de Santo Tirso

No atual subcapítulo são apresentadas informações relativas à unidade industrial de Santo Tirso, uma vez que a presente dissertação foi desenvolvida nesta unidade produtiva.

3.5.1 Estrutura Organizacional

A unidade produtiva de Santo Tirso está organizada em vários departamentos, cada um com a sua respetiva chefia. Esses departamentos atuam sob a supervisão direta do Diretor Geral da WEG Portugal e/ou do Diretor Industrial. Na Figura 14, é possível verificar a estrutura organizacional da empresa, incluindo os respetivos departamentos.

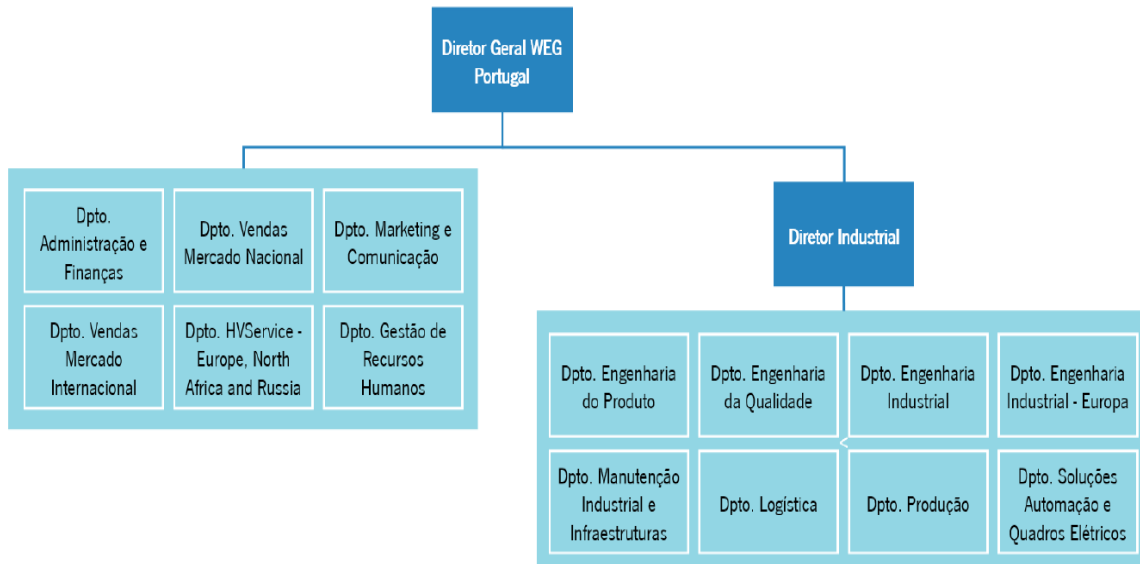


Figura 14 - Organograma da estrutura organizacional da unidade de Santo Tirso

3.5.2 Principal Gama de Produtos

Em Santo Tirso, a unidade industrial da WEG é responsável pela produção de motores elétricos de baixa tensão com alturas de eixo até 355 milímetros, conforme mencionado anteriormente.

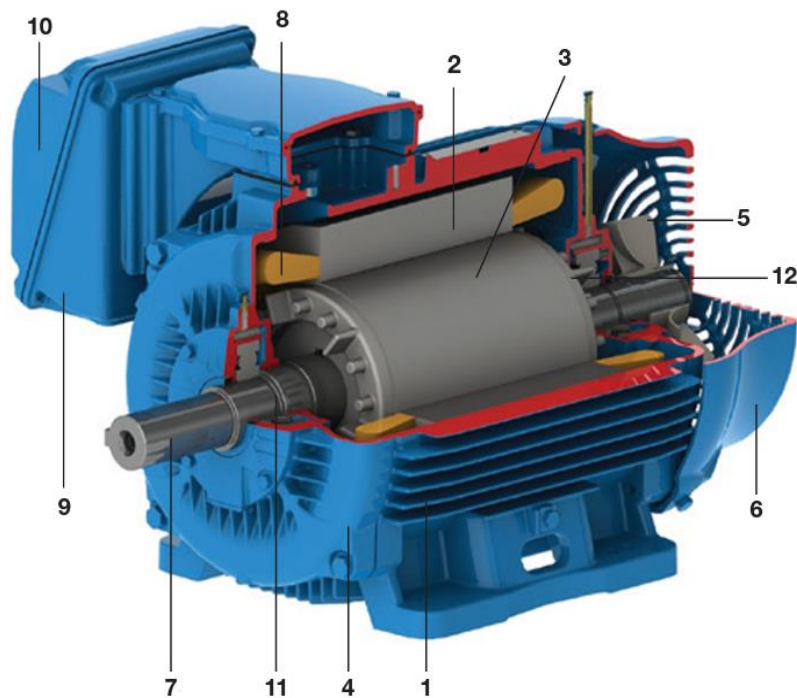
As categorias predominantes de motores fabricados na unidade de Santo Tirso, são os motores de uso geral, como ilustrado na Figura 15.



Figura 15 - Motores Produzidos em Santo Tirso

Os motores de uso geral são projetados com características que priorizam a durabilidade, a tenacidade e a robustez.

Com o intuito de entender melhor a composição de um motor de indução trifásico (W22) comercializado pela WEG, a Figura 16 representa os diversos componentes que o constituem. Os principais elementos incluem a carcaça, o estator e o rotor, aos quais são adicionados outros componentes para formar o motor completo.



Carcaça:

Carcaça (1)

Estator:

Núcleo de chapas (2)

Enrolamento trifásico (8)

Rotor:

Veio (7)

Núcleo de chapas (3)

Restantes Partes:

Tampa (4)

Ventilador (5)

Tampa defletora (6)

Caixa de ligação (9)

Terminais (10)

Rolamentos (11)

Barras e anéis de curto-circuito (12)

Figura 16 - Descrição componentes do Motor

O estator é o componente que permanece fixo à carcaça do motor de indução trifásico. É formado por um conjunto de chapas de ferro de baixa densidade e é caracterizado por apresentar várias ranhuras no seu interior, nas quais as bobinas são estrategicamente posicionadas. Essas ranhuras têm um propósito fundamental, permitindo a alocação das bobinas de forma organizada e precisa.

No interior do conjunto de chapas que compõem o estator, é possível encontrar canais de ventilação estrategicamente posicionados. Esses canais têm a função de permitir a circulação do ar de refrigeração, garantindo que o motor funcione em condições ideais de temperatura.

O movimento gerado no motor de indução trifásico é transmitido de forma eficiente a um veio que está acoplado ao rotor. Esse veio é a parte responsável por transmitir a energia mecânica produzida pelo motor a outras partes do sistema, como dispositivos de acionamento ou máquinas. Enquanto isso, a carcaça do motor representa a estrutura de suporte que envolve e protege todas as partes internas.

3.5.3 Organização da Unidade Industrial

Por forma a compreender mais claramente o fluxo do processo produtivo, a Figura 17 apresenta o layout geral da unidade industrial de Santo Tirso. Cada área dentro da unidade é identificada por uma cor distinta, o que facilita a identificação das diferentes secções e seus propósitos.

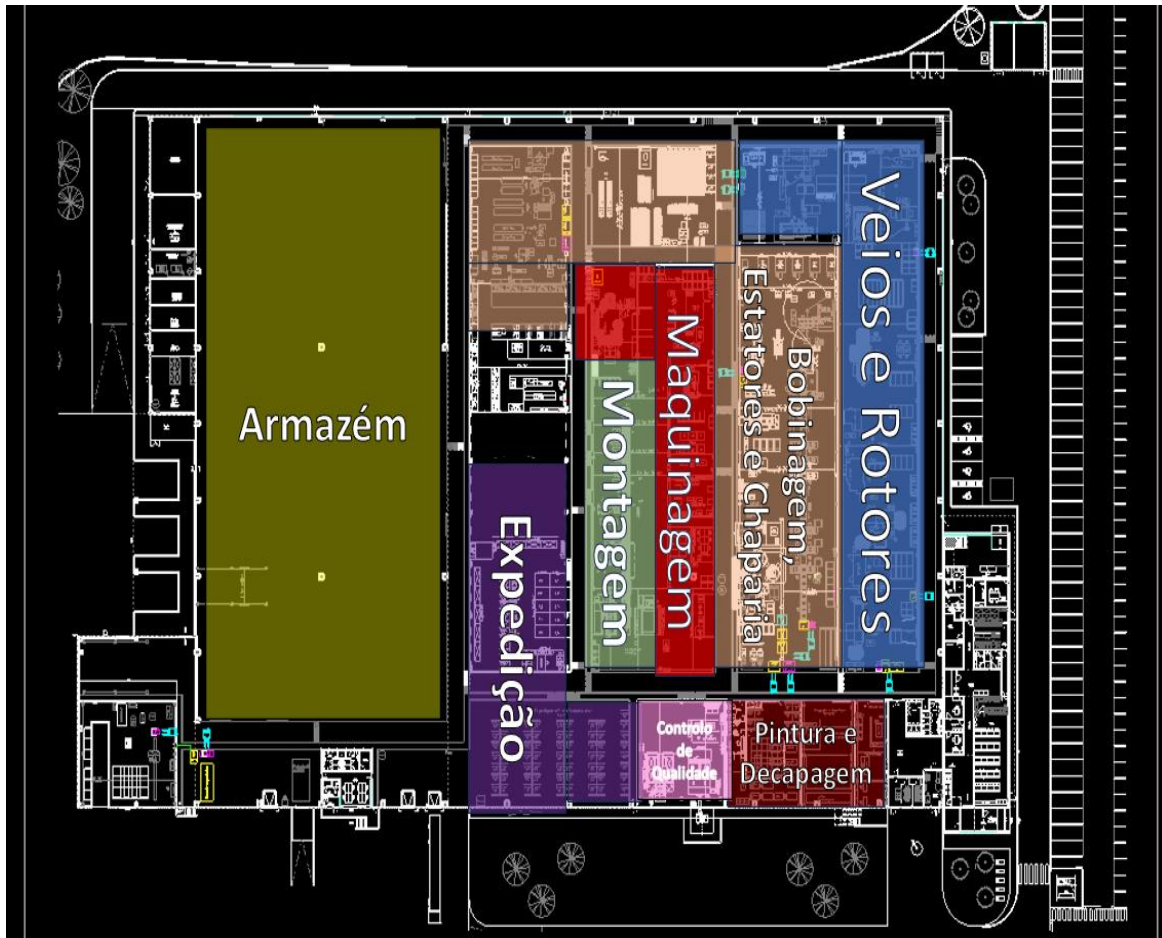


Figura 17 - Layout Unidade Industrial de Santo Tirso

De modo a complementar esta informação, na Tabela 1 são brevemente descritas as atividades efetuadas em cada uma das secções identificadas anteriormente.

Secção	Atividades Desempenhadas
Veios e Rotores	<ul style="list-style-type: none"> - Torneamento dos veios; - Introdução do veio na massa rotórica; - Torneamento dos rotores; - Equilibragem dos rotores.
Bobinagem, Estatores e Chaparia	<ul style="list-style-type: none"> - Enrolamento, prensagem conformação e isolamento das bobinas; - Bobinagem do estator; - Ligação das fases; - Teste elétrico; - Corte e ranhura das chapas magnéticas; - Prensagem das chapas.
Maquinagem	<ul style="list-style-type: none"> - Torneamento, fresagem e furação dos materiais.
Montagem	<ul style="list-style-type: none"> - Pré-montagem; - Montagem elétrica; - Montagem final.
Pintura e Decapagem	<ul style="list-style-type: none"> - Pintura; - Decapagem.
Controlo de Qualidade	<ul style="list-style-type: none"> - Verificação da qualidade.
Expedição	<ul style="list-style-type: none"> - Embalagem do motor.
Armazém	<ul style="list-style-type: none"> - Armazenagem da matéria-prima.

Tabela 1 - Descrição das atividades realizadas em cada secção

3.5.4 Processo Produtivo Geral

De um modo abrangente, a unidade produtiva localizada em Santo Tirso recebe matéria-prima de diversos fornecedores externos, bem como da sede no Brasil. Uma vez recebidos esses materiais, estes são armazenados no armazém, que serve como suporte para todas as secções de produção mencionadas anteriormente.

Iniciando na linha dedicada aos Veios e Rotores, primeiramente são fabricados os veios, que têm origem em barras de aço. Estas são cortadas e, em seguida, maquinadas, de modo a adquirirem as características necessárias. O veio resultante desse processo é então introduzido no rotor, que é previamente aquecido para expandir e facilitar a montagem. Após o resfriamento do rotor à temperatura ambiente, ele é submetido a um processo de torneamento para atingir o diâmetro desejado. Em seguida, passa por um processo de aquecimento em um forno com alta temperatura. Esse procedimento aumenta a resistência e a durabilidade do rotor.

Por último, ainda na mesma secção, é realizada a equilibragem do rotor, servindo fundamentalmente para assegurar que o centro de massa do rotor está perfeitamente posicionado quando ele está em rotação, caso contrário, o desequilíbrio poderia causar danos significativos ao motor durante a operação. Portanto, a equilibragem é um passo crítico para garantir a qualidade e a confiabilidade dos motores produzidos.

Na secção da Bobinagem, Estatores e Chaparia é realizado um conjunto de processos essenciais para a criação das bobinas que serão posteriormente montadas no estator. Estes processos incluem o enrolamento, prensagem, conformação e isolamento das bobinas.

Primeiramente, são recebidas as chapas magnéticas, que passam por um processo de corte e ranhura, desempenhando um papel crucial na formação do estator, por meio do processo de prensagem. Seguidamente, as bobinas são enroladas de acordo com as especificações necessárias. Em seguida, são submetidas a processos de prensagem e conformação para garantir a sua forma adequada e integridade estrutural. O isolamento das bobinas é uma etapa crítica, assegurando que cada bobine permaneça isolada eletricamente de outras, prevenindo curtos-circuitos. Após essa preparação, as bobines são enroladas no estator, elaborando a parte fundamental do motor. Posteriormente é realizada a ligação das fases e, as extremidades das bobines são devidamente amarradas e finalizadas em termos elétricos. Faz parte do controlo de qualidade, um ensaio elétrico que é conduzido após esta fase, verificando se tudo está em conformidade com as especificações e padrões. Este teste garante que o motor seja eletricamente seguro e funcione corretamente.

Finalmente, ocorre o processo de impregnação, no qual o estator bobinado é submerso em resina. Esse processo confere ao estator maior resistência mecânica e isolamento elétrico, garantindo a sua durabilidade e desempenho ao longo do tempo.

Na secção da Maquinagem, como o próprio nome sugere, a atividade principal envolve a usinagem de vários componentes dos motores, como tampas e carcaças. Isso é realizado por meio de processos de torneamento, fresagem e furação.

Após a conclusão da produção de todos os componentes necessários e a chegada destes à secção da Montagem, inicia-se o processo de montagem do motor. Durante esta fase, todos os componentes são reunidos e montados para compor o motor completo. Além disso, as ligações elétricas essenciais são realizadas para garantir que o motor está completamente funcional e pronto a utilizar.

Por fim, o motor passa pelo processo de pintura e/ou decapagem, onde será revestido com a tinta apropriada para proteção e acabamento estético. Após a pintura, o motor é devidamente embalado, preparando-se para a expedição.

Por forma a facilitar a compreensão do processo descrito, foi elaborado um esquema simplificado do mesmo, no Apêndice 1.

4. DESCRIÇÃO DO ESTADO ATUAL E ANÁLISE CRÍTICA

Este capítulo tem como objetivo descrever a situação atual da linha produtiva em estudo, bem como analisar os principais problemas da mesma. Deste modo, serão descritas todas as etapas do processo produtivo da linha de veios, enfatizando que o foco incidirá em 4 dos 5 centros de trabalho dedicados à produção de veios. Numa segunda instância, será efetuada uma crono análise com base em dados recolhidos no chão de fábrica através de cronometragens que foram realizadas, bem como uma análise aos dados recolhidos do sistema WEG Shop Floor Management (WSFM), que se encontra em vários centros de trabalho da fábrica, o que irá permitir calcular o percentual atual de indicadores que vão servir como comparação para perceber se a implementação da célula irá beneficiar a linha produtiva. De seguida, procede-se à análise crítica e identificação dos principais problemas identificados, para os quais a implementação da célula robotizada tem como objetivo mitigar alguns desses problemas e trazer vantagens económicas à empresa.

4.1 Descrição da linha de produção de veios

A secção dedicada à produção de veios contempla 5 máquinas de usinagem que tem como objetivo criar peças com geometrias simples e com diferentes acabamentos de superfície, tendo em conta as especificações que são requeridas pelos clientes.

Os centros de usinagem atuam sob Comando Numérico Computadorizado (CNC), permitindo auxiliar os processos industriais e, executando um conjunto de funções que não necessitam de troca manual de ferramentas.

A remoção de material é a principal operação das máquinas, sendo que, trabalhando uma peça em bruto, é formada uma peça usinada com um formato personalizado através de ferramentas de corte. Assim sendo, no caso da linha produtiva em estudo, os barões de aço brutos, após cortados, possuem comprimentos que podem chegar até aos 2 metros de comprimento, 15 cm de diâmetro e 300Kg de peso, o que implica que as máquinas dedicadas à produção possuam grande envergadura. Após todas as 4 fases do processo, o barão de aço transformar-se-á num veio, que vai ser posteriormente integrado num motor com determinadas propriedades.

Os equipamentos que constituem a linha produtiva dos veios são as seguintes:

- 1 fresadora dedicada ao facejamento e à execução de furos;
- 2 tornos horizontais;

- 1 fresadora dedicada ao escatelamento;
- 1 retificadora.

É ilustrado na Figura 18 o layout desta linha produtiva, de modo que seja perceptível a disposição das máquinas na fábrica.

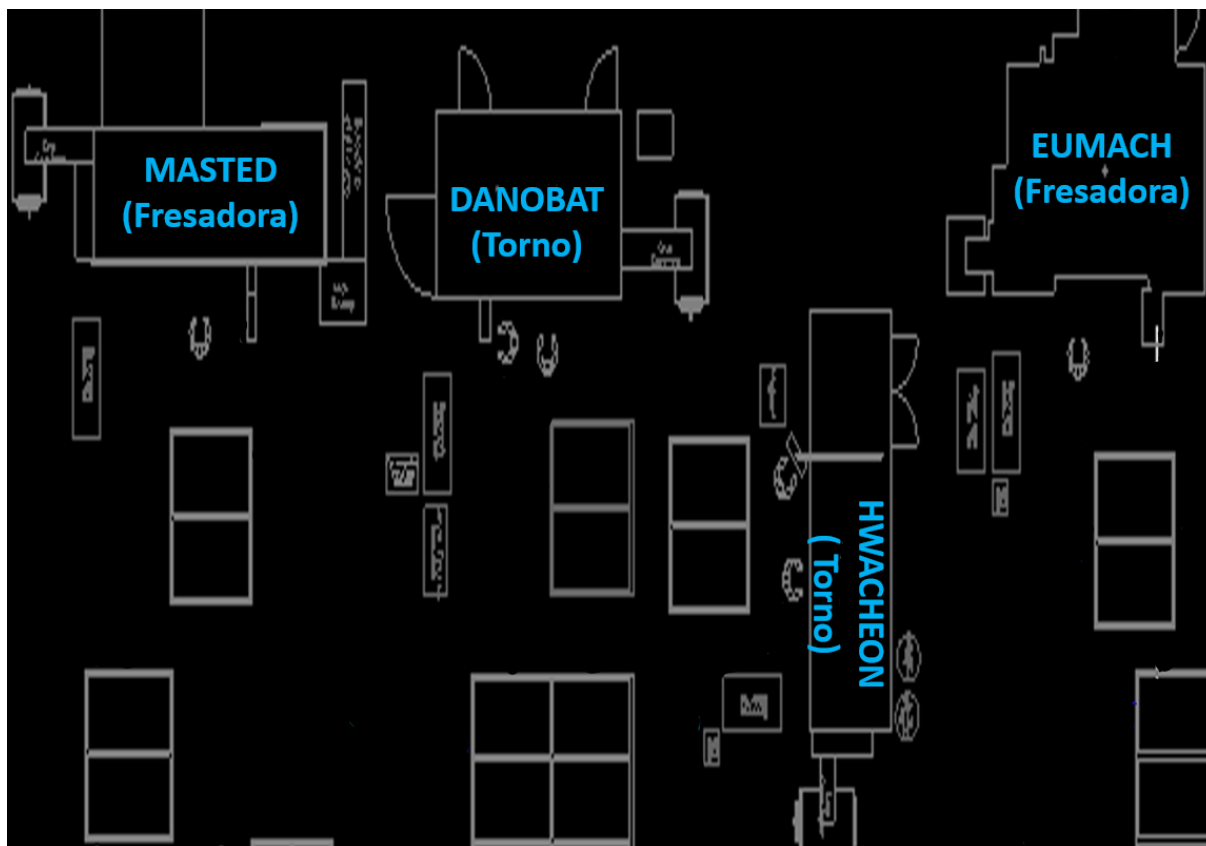


Figura 18 - Layout dos equipamentos que constituem a linha de veios

De modo a entender melhor quais são as funcionalidades de cada um dos equipamentos, são descritas as operações efetuadas por cada um.

4.1.1 Operações efetuadas pelos Equipamentos

Começando pela área que se dedica à serração dos troços de aço em bruto, os operadores aplicam inicialmente uma operação de corte, através de um serrote automático, em barões de aço que chegam até aos 6 metros de comprimento e são colocados no carrinho de transporte.



Figura 19 - Centro de Trabalho Serrote

No final do processo, como é verificado na Figura 20, o barão de aço bruto é transformado num barão de aço cortado e, fica com o seguinte aspeto:

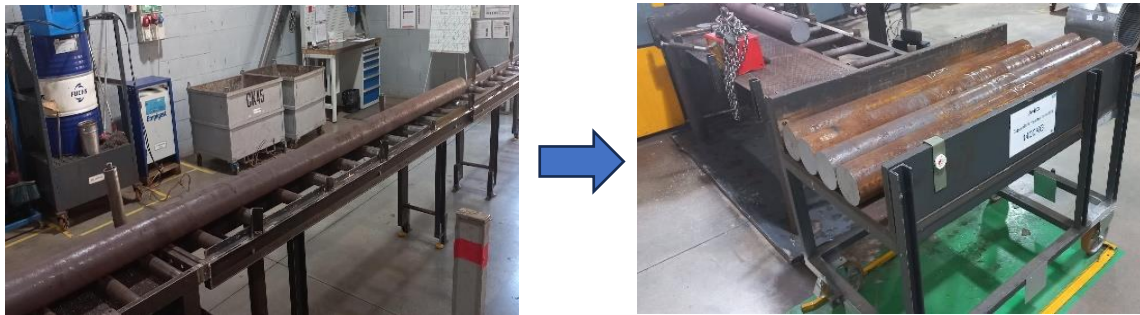


Figura 20 - Barão de aço bruto convertido em barão de aço cortado

Posteriormente, o carrinho que contém os barões de aço cortados, vai esperar que o AGV (Figura 21) o venha recolher e, que o transporte automaticamente até ao buffer de entrada da primeira máquina que dá início á linha produtiva em estudo. Enfatizando o facto de que, na grande maioria dos casos, os lotes são compostos por veios múltiplos de 4 unidades, nunca excedendo as 12 unidades.

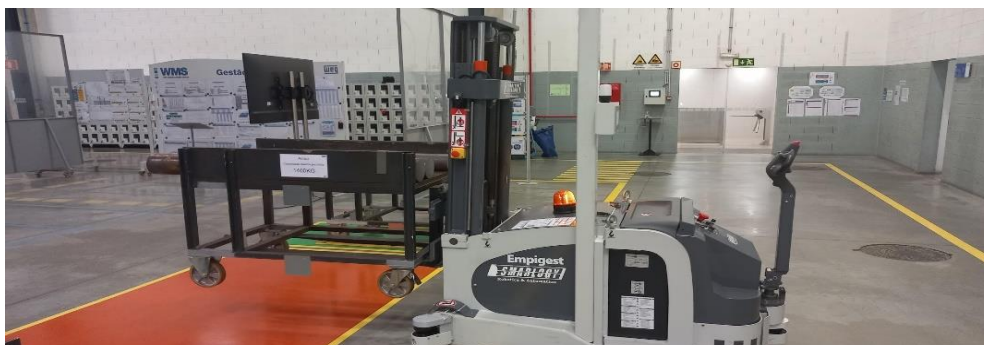


Figura 21 - AGV

A Masted (Figura 22), que é a primeira máquina do processo produtivo, é caracterizada por ser uma fresadora que se dedica primeiramente ao facejamento das extremidades dos barões de aço. Para isso é utilizada uma ferramenta de corte, neste caso uma fresa, que contém pastilhas, de modo a limpar as extremidades e retirar cerca de 2,5 milímetros em cada extremidade. Após isso, a ferramenta será automaticamente substituída por uma broca que tem o propósito de fazer um pré furo no lado do ventilador do veio. Apenas deste modo o veio consegue se suportar horizontalmente na máquina da próxima fase. Por último, é efetuada mais uma mudança de ferramenta, neste caso a broca será substituída por um macho que serve para roscar a extremidade do lado de ataque do veio e que tem como objetivo facilitar a introdução do veio na massa rotorica numa fase mais avançada.



Figura 22 - Centro de Trabalho Masted

No final do processo, o barão de aço é transformado num barão de aço faceado e com furos e, fica com o aspeto apresentado na figura 23.

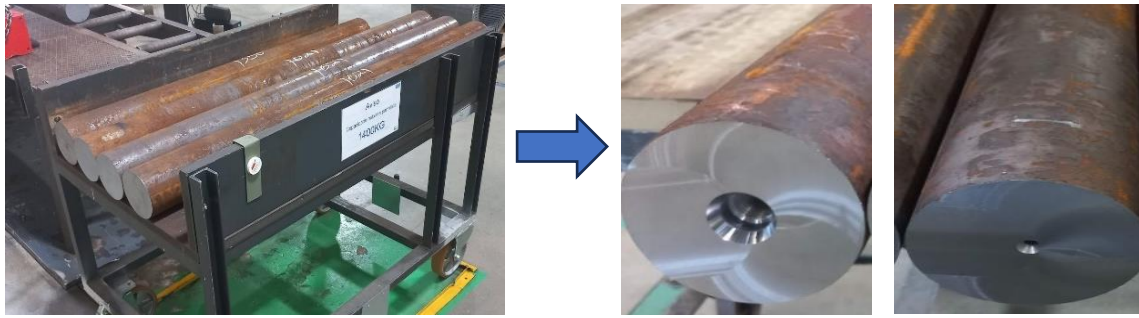


Figura 23 - Barão de aço cortado convertido em barão de aço faceado e com furos

Após o barão de aço sair da Masted faceado e com furos, a operação que se segue é o torneamento, sendo que, é o operador da máquina atual que vai abastecer o buffer entre processos associado à máquina posterior. Para realizar a segunda operação, a linha conta com 2 tornos que se caracterizam pela possibilidade de trabalhar em paralelo, porém, frequentemente, a produzir materiais diferentes. Deste modo, o Planejamento e Controle de Produção (PCP) atribui para cada um destes centros de trabalho o seu respectivo material, no entanto, na eventualidade de um torno não ter planeamento e o outro estar em atraso na produção, é efetuado o torneamento desses mesmos materiais na máquina disponível. Importa ainda ressaltar que a sequência standard das tarefas realizadas pelo operador, neste equipamento, são iguais em ambos os tornos.

Seguindo a sequência da linha produtiva, a máquina que procede à Masted é a Danobat (Figura 24), que se evidencia por ser o torno mais convencional, bem como o mais antigo desta linha. Tendo em consideração este fator, o PCP atribui, estrategicamente, a esta máquina, os lotes de materiais que menos tempo demoram a produzir, bem como aqueles que são menos produzidos. Esta estratégia serve o propósito de minimizar a probabilidade de ocorrência de não conformidades, uma vez que este torno necessita de mais manutenções, as ferramentas têm maior desgaste e, em geral, esta máquina tem menor eficiência.

O equipamento em questão é destinado a remover material da superfície do barão de aço bruto, em movimento de rotação, recorrendo a uma ferramenta de corte que se desloca continuamente. Neste processo a peça rotaciona em volta do eixo principal da máquina e a ferramenta deslocasse numa trajetória no mesmo plano do referido eixo. Por forma a dar uma primeira mão de desbaste ao barão, é utilizado um capto que contem uma pastilha, percorrendo o sentido da direita para a esquerda, desbastando todo o lado do ataque do veio. De seguida, o capto será automaticamente substituído por um buril que terá a função de desbastar o lado do ventilador, bem como desbastar a zona da chaparia e iniciar os acabamentos de ambos os lados e da zona da chaparia e, posteriormente, ranhurar o veio.



Figura 24 - Centro de Trabalho Danobat

Em alternativa, é disponibilizada a Hwacheon (Figura 25) e, embora tenha a mesma finalidade que a Danobat, esta máquina é mais recente, conta com um software mais sofisticado e requer menos intervenções por parte da manutenção. Assim sendo, tendo em conta o historial de produção de 2022, embora a Danobat tenha produzido maior frequência de veios, a Hwacheon foi a máquina que teve maior percentagem de ocupação assumindo os 2 turnos de trabalho e as horas de trabalho efetivo.



Figura 25 - Centro de Trabalho Hwacheon

No final do processo, o barão faceado é transformado num veio torneado e fica com o aspeto demonstrado na Figura 26:

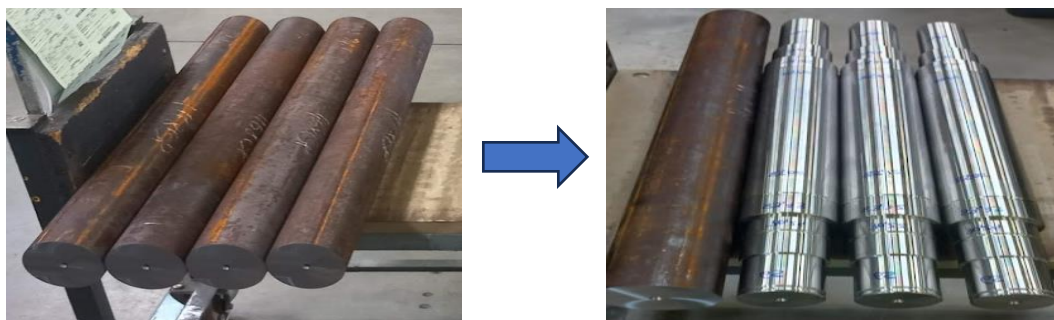


Figura 26 - Barão de aço faceado e com furos convertido em veio torneado

Após o veio torneado sair de um dos tornos, a seguinte operação é o escatelamento do veio. Para tal, são aglomerados idealmente lotes múltiplos de 4 unidades, de modo a beneficiar da capacidade que a Eumach (Figura 27) tem para realizar o escatel em 4 veios diferentes, simultaneamente. O propósito desta operação é realizar o canal de chaveta (conhecido como escatel), sendo este que vai permitir que a chaveta encaixe perfeitamente no escatel. A chaveta tem como função permitir a transmissão de velocidade, através do movimento axial com o componente de transmissão, sendo neste caso um acoplamento. De modo ao escatel ser realizado, será necessária a utilização de uma fresa, de modo que a ponta do veio seja usinada.

Importa ainda referir que apenas em 1 veio podem ser usinados vários escatéis, com diâmetros diferentes, dependendo do tipo de motor ao qual o veio se destina.



Figura 27 - Centro de Trabalho Eumach

No final do processo, o veio torneado é transformado num veio escatelado e fica com o seguinte aspeto:

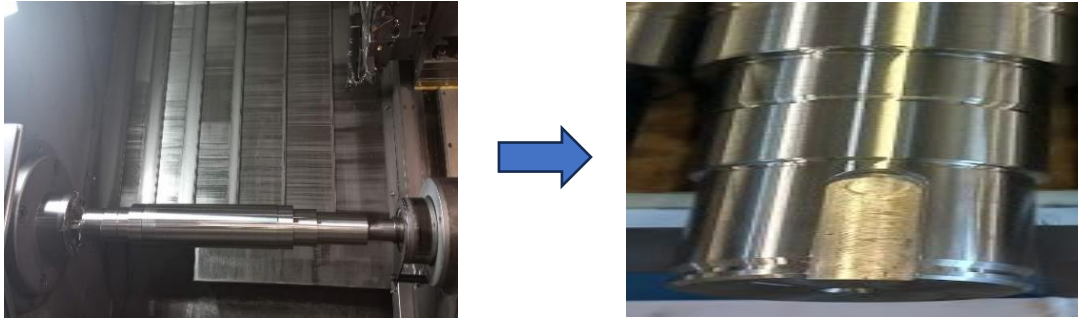


Figura 28 - Veio torneado convertido em veio escatelado

Para finalizar a descrição da linha produtiva e, apesar de não ter sido alvo de estudo, é feita uma menção ao centro de trabalho dedicado à retificação de veios. O equipamento em questão é a Ger (Figura 29) e o seu objetivo tem por base corrigir irregularidades, dar acabamento fino e exatidão dimensional aos veios, sendo que para isso é utilizado um rebolo cilíndrico.



Figura 29 - Equipamento Ger

No final do processo, o veio escatelado é transformado num veio retificado e finalizado, pronto para ser inserido na massa rotórica na próxima fase do processo e, fica com o seguinte aspeto:



Figura 30 - Veio escatelado convertido em veio finalizado

Uma vez que esta linha é dedicada à usinagem de peças com geometrias mais complexas, tolerâncias dimensionais reduzidas e acabamentos superficiais, o cumprimento por parte dos operadores em cumprir com as especificações dimensionais que são projetadas no desenho técnico, tiveram de ser o mais exímias possíveis. Advém então dessa necessidade, uma rigorosa utilização do sistema CNC (Comando Numérico Computadorizado) (Figura 31) que permite o controlo dos equipamentos, através de uma seqüência de movimentos e ferramentas escritas em código. Desse modo, sempre que um novo motor era requisitado á empresa, havia a necessidade de associar um novo programa ao material em questão, de modo que automaticamente as ferramentas fossem substituídas e que o equipamento cumprisse e mudasse a trajetória especificada nos sentidos x, y e z. No chão de fábrica, o operador era quem tinha de transferir o programa do computador para o controlador CNC e invocar o programa na mesma, sendo que, nos casos em que o veio nunca tinha sido produzido anteriormente, o programa tinha que ser ensaiado numa primeira fase, o que inevitavelmente aumentaria o tempo de ciclo do material e aumentava a possibilidade de ser gerada uma não conformidade. Após o ensaio do material, o operador tinha de correr o programa, gerir o avanço e o esforço tanto das ferramentas, como do material usinado. É relevante mencionar que, sempre que a primeira peça do lote era usinada, os operadores de cada uma das máquinas tinham em atenção os níveis de avanço e esforço das ferramentas, uma vez que, as tolerâncias dos diâmetros requisitados nos desenhos técnicos são milimétricas e, basta uma pastilha estar mais desgastada para o veio ficar fora das especificações e ser gerada uma não conformidade.

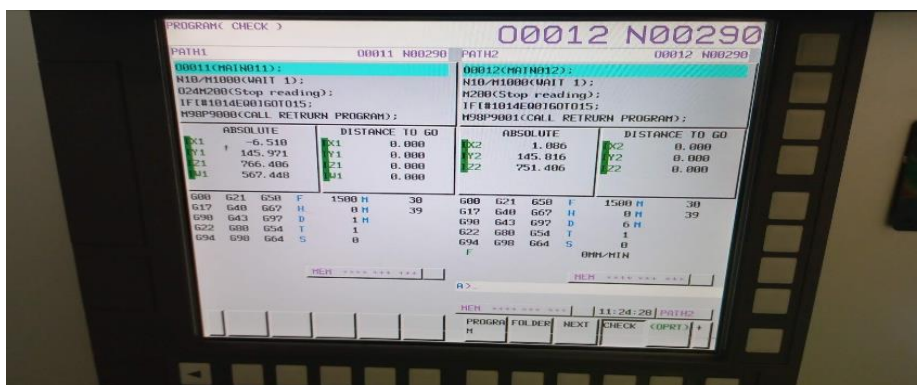


Figura 31 - Controlador CNC

4.1.2 Descrição do processo produtivo

Neste subcapítulo será realizada uma descrição mais pormenorizada do processo produtivo de veios. Neste sentido, serão apresentadas todas as atividades inerentes ao processo produtivo. Para isso, serão discriminadas as operações setup, que são apenas realizadas na produção do primeiro veio de cada lote, das operações comumente efetuadas para todos os veios. Além disso, será realizada a distinção entre as operações que exigem inevitavelmente a execução de setup interno, das operações que exigem a execução de setup externo.

No que diz respeito às atividades padrão e, iniciando pelo início da linha, o centro de trabalho dedicado ao facejamento e furos do veio, conta com a seguinte sequência de operações:

- 5°. O operador tem de alcançar o íman (que está atrelado por um gancho e, que por sua vez, está fixo a uma ponte rolante que permite o manuseamento de cargas superiores a 20 kg) e utilizar o mesmo para erguer o barão de aço do carrinho, deslocar-se até à máquina e colocar o mesmo dentro da máquina;
- 7°. Afastar o íman para o local onde inicialmente foi recolhido (não exige deslocamento extra) e fechar a porta;
- 9°. Este é o momento onde a máquina vai iniciar o facejamento e a realização dos furos do barão de aço bruto;
- 10°. Abrir a porta após a usinagem e utilizar ar comprimido diretamente no barão de aço, bem como nos calços e apoios, por forma a retirar as limalhas (restos de material) garantindo deste modo que as especificações serão devidamente cumpridas e que não será uma limalha a afetar as dimensões e requisitos pretendidos;
- 11°. Alcançar novamente o íman, retirar da máquina o barão faceado e com furos, colocando o mesmo no carrinho de seguida;
- 12°. A atividade que diz respeito à medição dos veios, será apenas realizada no processo de usinagem do próximo veio, assegurando que a realização desta importante tarefa seja efetuada em simultâneo aquando da máquina estar a usinar. A explicação para o sucedido prende-se por uma questão de redução de tempo de ciclo, bem como a noção que as máquinas CNC têm alto grau de confiabilidade e, mesmo que a medida apurada seja superior à pretendida, facilmente poderá ser efetuado retrabalho, sendo que para tal ocorra, é necessário apenas dar a instrução

á máquina para usinar o que resta para o barão de aço ficar em conformidade. Nesta etapa apenas será medido o comprimento do barão de aço, utilizando uma fita métrica;

13°. Por fim, é preenchido o registo do autocontrolo, onde vão ser introduzidas as medidas que foram retiradas pelo operador.

No que concerne aos tornos e, sendo que ambos os equipamentos cumprem a mesma sequência de atividades de trabalho, serão enumeradas e ilustradas as tarefas associadas a apenas 1 dos tornos:

4°. De igual modo á operação anterior, a primeira etapa caracteriza-se pelo operador alcançar o íman e utilizar o mesmo para erguer o barão de aço faceado e com furos, deslocar-se até á máquina e colocar o mesmo dentro da máquina. Tendo ainda de fixar o barão de aço entre o ponto (ferramenta de suporte compatível com o pré furo do Lado do Ventilador) e o contra-ponto (ferramenta de suporte compatível com o furo roscado do Lado do Ataque);

5°. Afastar o íman para o local onde inicialmente foi recolhido e fechar a porta;

9°. Este é o momento onde a máquina vai iniciar o torneamento do barão de aço faceado e com furos;

10°.Abrir a porta após a usinagem e utilizar ar comprimido diretamente no barão de aço faceado e com furos;

11°.Nesta etapa, o operador certifica-se que os diâmetros estão de acordo com o desenho técnico. Para isso, estão disponibilizados aparelhos de medição na mesa de trabalho junto á máquina, sendo que, neste caso em particular, será utilizado um micrômetro. Contrariamente á medição efetuada na operação anterior, esta atividade requer a medição do material enquanto a máquina não está em funcionamento, uma vez que a probabilidade de ocorrer um erro no que diz respeito ao comprimento dos diâmetros pretendidos em cada segmento do veio é maior. Tendo isto presente e, sabendo que a operação de torneamento demora mais tempo que a operação de facear e fazer furos, não compensava o risco fazer a medição em simultâneo com a máquina em funcionamento;

13°.Alcançar novamente o íman, retirar da máquina o barão de aço torneado, colocando o mesmo no carrinho de seguida;

14°.A conformidade do veio ainda está dependente de uma medição dos comprimentos de todos os segmentos que compõem o veio. Esta atividade é realizada em paralelo com a máquina a operar, sendo que a probabilidade de ocorrerem defeitos deste cariz é muito baixa. Mencionando ainda que o aparelho de medição dedicado a esta tarefa é um paquímetro;

15°.Por fim, é preenchido o registo do autocontrolo, onde vão ser introduzidas as medidas que foram retiradas pelo operador.

Por último, o equipamento dedicado ao escatelamento, que conta com a particularidade de produzir no máximo 4 veios torneados em simultâneo, conta com a seguinte sequência de tarefas:

- 1°. De igual modo á operação anterior, a primeira etapa caracteriza-se pelo operador alcançar o íman e utilizar o mesmo para erguer o veio torneado, deslocar-se até á máquina e colocar o mesmo dentro da máquina. Sendo esta uma atividade que se reincide 4 vezes, na maioria dos lotes;
- 2°. Afastar o íman para o local onde inicialmente foi recolhido, fixar os veios em apoios reguláveis acionados por um pedal e fechar a porta;
- 3°. Este é o momento onde a máquina vai iniciar o escatelamento do veio torneado;
- 4°. Esta etapa caracteriza-se pela aproximação da mesa, que se desloca dentro da máquina, através de coordenadas emitidas, até ao seu ponto de origem.
- 5°. Abrir a porta após a usinagem e utilizar ar comprimido diretamente nos veios torneados, bem como nos calços e batentes;
- 6°. Pelo mesmo motivo que na operação anterior, esta tarefa requer a medição do escatel dos veios enquanto a máquina não está em funcionamento, uma vez que a probabilidade de ocorrer um erro no que diz respeito ao cumprimento dos diâmetros e comprimentos pretendidos em cada escatel é maior. Para além disso, o tempo que seria desperdiçado em movimentar novamente 4 veios para a máquina não seria viável. Neste caso em particular, será necessário medir o diâmetro final do escatel com o micrômetro exterior, a largura do escatel com o micrômetro interior e o comprimento do escatel com o paquímetro;
- 7°. Alcançar novamente o íman, retirar da máquina os veios com escatel e colocar no carrinho de seguida;
- 8°. Paralelamente, é necessário limpar a zona de rebarba presente no escatel, com uma lima e com rascador;

9°. Por fim, é preenchido o registo do autocontrolo, onde vão ser introduzidas as medidas que foram retiradas pelo operador.

4.1.3 Setup Interno e Setup Externo

Mediante a necessidade de ser produzido um material diferente daquele que está na máquina, é exigido que novas atividades sejam realizadas. Deste modo, os operadores cumprem uma nova sequência de tarefas na produção da primeira peça de cada lote, por forma a preparar o equipamento para produzir um novo material. Fatores como o diâmetro e o comprimento do material vão implicar novos ajustes nos equipamentos que o vão produzir, ajustes esses que podem ser realizados enquanto a peça do lote anterior ainda está a ser maquinada (setup externo), o enquanto a máquina está parada e sem nenhuma peça (setup interno). Traduzindo-se inevitavelmente num acréscimo de tempo nas paragens não planeadas, embora a sequência seja organizada com perspetiva em reduzir ao máximo o tempo de setup.

Iniciando pela descrição das atividades que necessitam de ser realizadas na preparação da Masted (facejamento e furos), esta conta com a seguinte sequência:

- 1°. Enquanto o barão de aço de uma Ordem de Produção ainda está a ser usinado, o operador insere o número da Ordem de Produção, associada ao material que vai ser produzido posteriormente, no painel do WSFM, por forma a garantir que a partir do momento em que um evento “Operando” termina, o evento “Operando” associado ao novo material automaticamente começa a ser executado e, evitando que a máquina entre em período de “Paragem Não Justificada” indevidamente;
- 2°. Paralelamente ao funcionamento da máquina, o operador insere o número do material no computador, no software chamado SGPROD (Sistema Gestão da Produção), de modo a perceber quais são as coordenadas que estão associadas ao material, para posteriormente colocar as mesmas na máquina, quando forem acertados os “offset ‘s”;
- 3°. A partir desta etapa, todas as atividades são efetuadas somente quando a máquina não estiver em funcionamento. Nesta etapa, o operador vai acertar os “offsets ‘s” que estavam definidos no controlador CNC, ou seja, vai introduzir no controlador as coordenadas que recolheu no SGPROD;
- 4°. Os calços que servem de apoio ao barão de aço têm de ser trocados, dependendo do diâmetro que o barão que está na máquina tem e, dependendo do diâmetro que o novo barão tem. A

necessidade de serem utilizados calços para ajustar a altura a que vai estar o barão, é devido ao facto de a Masted não realizar movimentos verticais;

6º. O operador tem de manusear um volante que está introduzido no exterior de um lado lateral da máquina, de modo a regular o movimento que os apoios horizontais do barão de aço vão ter de realizar, de modo a este ficar fixo;

8º. Iniciar o programa associado ao material no controlador e, após isso, de modo a precaver que ocorram não conformidades, o operador tem de aproximar a ferramenta da zona onde é suposto usinar e verificar no controlador se as coordenadas colocadas correspondem às do programa.

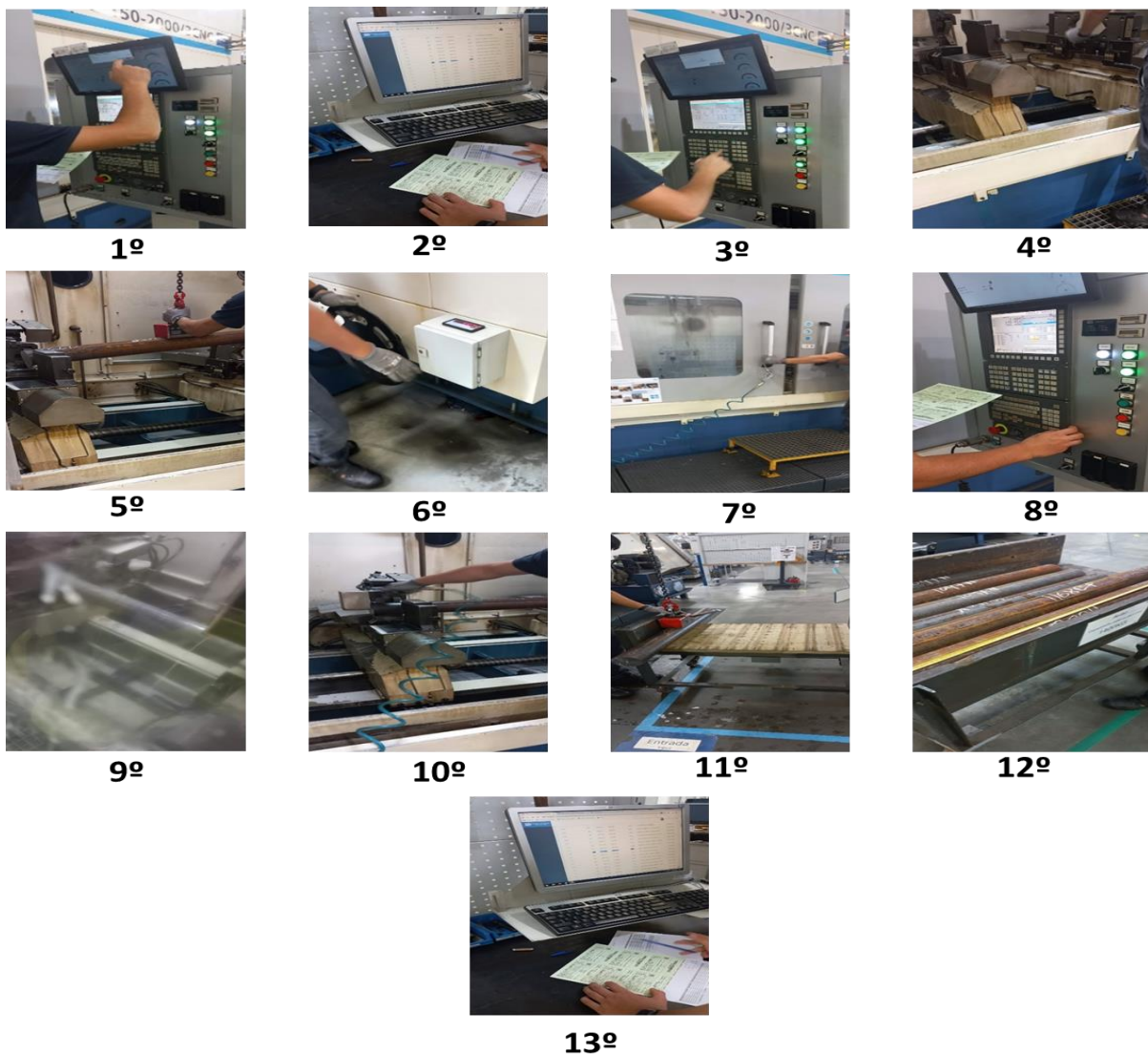
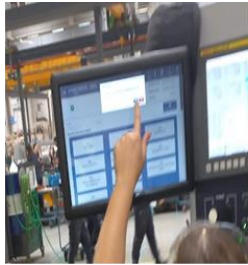


Figura 32 - Sequência Produtiva, Incluindo Atividades Padrão e Setup, na Masted

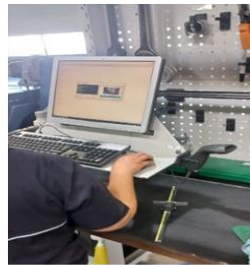
Relativamente às tarefas referentes ao setup de ambos os tornos, estes contam com a seguinte sequência:

- 1°. Abrir a ordem de produção no WSFM enquanto a máquina está a torneiar o veio do lote anterior;
- 2°. Simultaneamente ao funcionamento da máquina, é necessário colocar o número do material no SGPROD e procurar o programa associado ao mesmo, de modo que, posteriormente, quando a máquina terminar o torneamento da última peça do lote anterior, o programa seja transferido para o controlador CNC. O programa contém o código que vai dar instrução á máquina acerca de todos os movimentos que vão ser necessários efetuar, bem como quais ferramentas utilizar. Seguidamente, o programa associado ao novo material é enviado remotamente do computador para o controlador CNC;
- 3°. Mediante a eventualidade de o próximo barão de aço a ser torneado ter um furo roscado diferente do barão de aço da operação anterior, será necessário trocar o contra-ponto, para um compatível com o próximo material;
- 6°. O programa que foi transferido para o controlador CNC tem de ser verificado e confirmado pelo operador;
- 7°. O operador tem de referenciar a máquina acerca do seu ponto de origem, executando o “zero peça”, sendo que para isso precisa de dar instrução á máquina para iniciar a rotação e, em modo manual encostar a ferramenta de acabamento no topo da face do Lado de Ataque e dar uma entrada com 0,1mm de profundidade;
- 8°. Nesta etapa, é necessário o operador “subir os offset ‘s””, ou seja, dar a instrução á máquina para retirar menos material que aquele que estava programado. Com isto, pretende-se prevenir eventuais defeitos no veio, sendo que se verifica regularmente uma instabilidade nas pastilhas das ferramentas. Assim sendo, é garantido que na “fase teste” do primeiro veio, ele não vai ser logo desbastado com maior profundidade do que aquela que é permitida;
- 9°. Realização da “fase teste”;
- 10°. É utilizado ar comprimido diretamente no veio;
- 11°. Após a “fase teste” estar completa, a porta é aberta e o operador vai medir com o micrômetro todos os segmentos do veio para se certificar que os seus diâmetros não ficaram abaixo de pretendido;

12º. A porta é fechada e os “offset ‘s” são ajustados, ou seja, é retirada manualmente no controlado CNC a diferença entre o diâmetro da “fase de teste” e aquilo que está especificado pelo desenho técnico, em cada um dos segmentos do veio.



1º



2º



3º



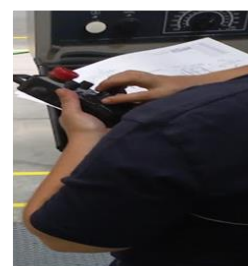
4º



5º



6º



7º



8º



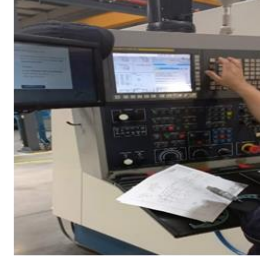
9º



10º



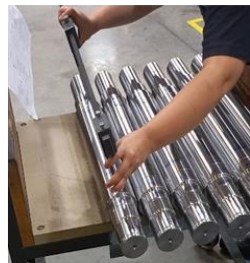
11º



12º



13º



14º



15º

Figura 33. Sequência Produtiva, Incluindo Atividades Padrão e Setup, nos Tornos

No que diz respeito às atividades que compõem o setup da Eumach, esta conta com a seguinte sequência de atividades:

- 1°. Abrir a ordem de produção no WFSM enquanto a máquina está a escatelar os veios do lote anterior;
- 2°. Simultaneamente ao funcionamento da máquina, é necessário colocar o número do material no SGPROD e procurar o programa associado ao mesmo, de modo que, posteriormente, o operador saiba quais as variáveis a utilizar;
- 3°. Os calços que foram utilizados para apoiar os veios e, que dependiam do diâmetro dos veios introduzidos na máquina, são retirados para que seja efetuada a troca por outros calços compatíveis com os diâmetros dos veios do novo lote. As possibilidades do número de calços que são possíveis trocar vão de nenhum até oito calços, dependendo de fatores como a quantidade de veios que vão ser introduzidos face à quantidade que já estava na máquina e, se verificam-se diferenças nos diâmetros do assento mancal dianteiro e traseiro (zonas de apoio do veio) dos veios que já estavam na máquina, face aos que vão ser introduzidos. É ainda utilizado ar comprimido para limpar os calços que são removidos.
- 4°. O operador desloca-se até à prateleira que contém os calços e que se situa junto à máquina, uma vez que o operador pode ter a necessidade de transportar 2 calços em cada mão de volta para a máquina, sendo que cada calço pesa em volta de 4Kg;
- 5°. Os calços vão ser colocados na máquina, nos locais definidos para o efeito;
- 6°. O espaçamento entre os batentes vai ser ajustado ao comprimento dos veios que vão ser introduzidos, por intermédio de um berbequim. Os batentes têm o propósito de referenciar a máquina para o ponto de origem, sendo que para isso, a ponta do veio do lado do ventilador tem de encostar no batente;
- 7°. As variáveis associadas ao dimensionamento do escatel vão ser definidas no controlado CNC;
- 8°. Vai ser realizado o “Zero Peça”, sendo assim definido o ponto de origem. No caso de os veios terem comprimento superior a 1140 milímetros, são desaparafusados os batentes e é necessário o ponto de origem ser definido através do uso de um comparador. No caso de os veios terem comprimento igual ou inferior a 1140 milímetros, então será através do encosto do veio ao batente.

4.2 Recolha e tratamento de dados

A metodologia aplicada para a recolha de dados do estado atual baseou-se na observação da sequência de atividades de produção, bem como na análise dos roteiros, composta pela soma do tempo de ciclo com o tempo de setup, já elaborados pela empresa, sendo que, algumas cronometragens realizadas aos materiais que foram objetivo de estudo, foram atualizados, de modo a aumentar a confiabilidade dos dados e servir de ponto de partida para posteriormente calcular os ganhos com a implementação da célula robotizada.

Em virtude da grande variabilidade de produtos, foi efetuada uma análise do histórico de produção nos centros de trabalho no último ano, por forma a que o estudo incidisse nos materiais que mais foram produzidos e, que se distinguiam dos demais por serem produzidos para Stock de Segurança. A Tabela 2 representa todos os materiais produzidos na linha produtiva no período compreendido entre 01/01/2022 e 01/01/2023.

Tabela 2 -Veios Stock de Segurança

Veios Stock de Segurança	
Produto	Nº Material
EIXO TRIF 225S/M 4P W22	10557685
EIXO TRIF 280S/M 4P W22	11005019
EIXO TRIF 355M/L 4P W22	11041254
EIXO TRIF 250S/M 4P W22	10878279
EIXO TRIF 315S/M 4P W22	11110739
EIXO TRIF 315L 4P W22	10109418
EIXO TRIF 315S/M 4P W22	11048072
EIXO TRIF 225S/M 4P W22	12041538
EIXO TRIF 250S/M 2P W22	10916221
EIXO TRIF 280S/M 2P W22	10945043
EIXO TRIF 250S/M 4P W22	11121350
EIXO TRIF 225S/M 4P W22	11175213
EIXO TRIF 280S/M 4P W22	11123782
EIXO W40 280L 2P	12345971
EIXO TRIF 315S/M 2P W22	11109852
EIXO TRIF 225S/M 2P W22	10130104

4.2.1 Tempos de Ciclo e Tempos de Setup

Tendo em conta a enorme variedade de materiais produzidos, é notória a necessidade de ser determinado um tempo de ciclo médio para cada máquina. Para isso, foram efetuadas cronometragens a todas as atividades, de cada uma das máquinas supramencionadas, como se pode comprovar nos registos efetuados nas tabelas presentes nos Apêndices 2, 3 e 4, por forma a atualizar os tempos em que era expectável que o operador produzisse o material. Nota para o facto de que alguns dos desvios de tempos mais evidentes, no que diz respeito às mesmas atividades, que podem ser observados nas tabelas presentes nos Apêndices, estão diretamente relacionados com fatores relacionados ao processo e não à falta de ritmo dos operadores. Embora sejam notórios alguns pequenos desvios inevitáveis em determinadas atividades, estes são fruto de fatores como o peso do material ou o comprimento do material. Fatores como a diminuição da velocidade das pastilhas na primeira peça em todas as máquinas ou o facejamento da ponta de um barão de aço que inevitavelmente irá demorar mais a usinar, são desvios mais frequentes e mais impactantes.

Foi então necessário efetuar observações diretas e posteriores análises da informação e dos dados recolhidos, tendo os operadores sido observados durante um intervalo de tempo considerável. Consecutivamente, foi utilizada a metodologia de “Métodos e Tempos” realizada pela WEG, aplicando coeficientes de compensação utilizados para considerar fatores externos que influenciam o trabalho do operador, como é possível constatar no apêndice.

Os coeficientes utilizados foram:

- Esforço mental: compensa a diminuição progressiva da capacidade de produção do operador. Nas atividades observadas, o seu grau de esforço foi considerado leve.
- Esforço físico: variando entre as tarefas, os esforços avaliados atingiram graus de fadiga médios.
- Monotonia: está relacionada com a duração da operação. Como as tarefas praticadas são, habitualmente de média duração, a monotonia pode ser considerada baixa.
- Condições ambientais: dividida em 5 áreas (térmicas, atmosféricas, ruído, humidade e vibração), sendo que apenas a térmica e a vibração têm influência no centro de trabalho e, apresentam intensidade baixa.

Na seguinte tabela, (Tabela 3) podemos constatar os tempos de ciclo de cada uma das atividades que compõem os materiais SS (stock segurança), com os respetivos coeficientes de compensação aplicados,

que atualmente estão vigorados em cada máquina, na linha produtiva. Sendo que as atividades padrão foram separadas das atividades setup, por uma questão de facilitar a interpretação dos dados.

Tabela 3 - Tempos de Ciclo (Duração de Atividades dos Veios SS)

Tempos de Ciclo Veios SS (min)			
Tarefas	Operações		
	Facear e Furar	Tornear	Escatelar (1uni)
Alcançar Íman e colocar veio dentro da máquina	0,71	0,78	0,61
Afastar ponte e fechar porta	0,36	0,38	
Fixar Veio e Fechar Porta			0,41
10557685	3,87	8,71	0,83
11005019	3,93	14,43	1,36
11041254	3,81	29,32	2,65
10878279	4,20	9,81	1,37
11110739	4,10	18,26	1,87
10109418	3,88	32,01	1,39
11048072	4,13	19,19	1,80
12041538	4,08	10,28	1,02
10916221	3,73	8,65	0,91
10945043	4,03	10,04	1,32
11121350	4,07	10,19	1,56
11175213	3,68	5,71	0,88
11123782	3,83	14,03	1,30
12345971	4,01	27,44	1,18
11109852	4,09	10,64	1,33
10130104	3,87	9,47	1,06
Aproximar mesa			0,22
Abrir porta e utilizar ar comprimido	0,46	0,71	0,36
Alcançar Íman e retirar veio	0,59	0,86	0,63
Medir Veios		1,80	0,33

Podemos observar os tempos médios que cada uma das tarefas necessita para ser elaborada, sendo que, apenas as operações de facear e furar, tornar e escatelar possuem tempos diferentes mediante o material a ser usinado. Deste modo, na Tabela 4, podemos observar o Tempo de Ciclo definitivo de cada um dos veios SS, resultante da soma de todos os tempos das tarefas assinaladas a cinzento, com os tempos das operações assinaladas a azul.

Tabela 4 - Tempos de Ciclo Veios SS

Tempos de Ciclo Veios SS (min)					
Produto	Nº Material	Facear e Furar	Operações		Escatelar (1uni)
			Tornear		
			Danobat	Hwacheon	
EIXO TRIF 225S/M 4P W22	10557685	5,99	-	13,24	3,40
EIXO TRIF 280S/M 4P W22	11005019	6,05	-	18,96	3,93
EIXO TRIF 355M/L 4P W22	11041254	5,93	-	33,84	5,22
EIXO TRIF 250S/M 4P W22	10878279	6,32	-	14,34	3,94
EIXO TRIF 315S/M 4P W22	11110739	6,22	-	22,79	4,44
EIXO TRIF 315L 4P W22	10109418	6,00	-	36,54	3,96
EIXO TRIF 315S/M 4P W22	11048072	6,25	-	23,72	4,37
EIXO TRIF 225S/M 4P W22	12041538	6,20	-	14,80	3,59
EIXO TRIF 250S/M 2P W22	10916221	5,85	-	13,18	3,48
EIXO TRIF 280S/M 2P W22	10945043	6,15	-	14,57	3,89
EIXO TRIF 250S/M 4P W22	11121350	6,19	-	14,72	4,13
EIXO TRIF 225S/M 4P W22	11175213	5,80	-	10,24	3,44
EIXO TRIF 280S/M 4P W22	11123782	5,95	-	18,56	3,87
EIXO W40 280L 2P	12345971	6,13	-	31,97	3,75
EIXO TRIF 315S/M 2P W22	11109852	6,21	-	15,17	3,89
EIXO TRIF 225S/M 2P W22	10130104	5,99	-	13,99	3,63
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
Tempo de Ciclo Médio		6,02 min	19,61 min	27,75 min	3,74 min

Interpretando os tempos de ciclo médios determinados, com base no historial do ano de 2022, é possível observar que a coluna da Danobat está incompleta. Isso deve-se ao facto de nenhum dos materiais que foram considerados como stock de segurança terem sido produzidos neste equipamento, sendo apenas exposto o tempo de ciclo médio.

O motivo pelo qual o tempo de ciclo médio da Danobat é diferente do tempo de ciclo médio da Hwacheon prende-se pelo facto de que os veios torneados no primeiro torno, são os menos produzidos e com menor tempo de ciclo, como explicado anteriormente. Porém, os tempos de ciclo médios de ambas as máquinas seriam iguais, se não fosse efetuada esta distinção de equipamentos, visto que as suas sequências standard são iguais.

No que diz respeito á Eumach, apesar de ter capacidade para escatelar 4 veios, foi determinado o tempo de ciclo para apenas 1 unidade, mantendo a sintonia com as restantes máquinas. As cronometragens recolhidas foram sempre efetuadas em lotes múltiplos de 4 unidades, porém, foi aplicada a proporcionalidade para tarefas em que o número de veios influenciava o tempo de ciclo. Permanecendo o tempo de ciclo em atividades que não dependiam do número de veios e demoravam sempre o mesmo tempo.

No que concerne aos tempos de setup, na WEG são distinguidos os setup 's em setup completo, setup parcial e setup igual, por forma a facilitar o planeamento do PCP.

O setup completo é efetuado quando a preparação a ser realizada exige que sejam feitas as trocas de todas as ferramentas, ou ajustes dos parâmetros do processo.

Por outro lado, o setup parcial é realizado quando somente algumas das ferramentas, ou ajustes dos parâmetros do processo eventualmente necessitem de ser alterados.

Em contrapartida, o setup igual é realizado quando determinada tarefa não está dependente de características do produto e necessita em qualquer circunstância de ser realizada na primeira peça do lote.

De modo a conferir qual é a média de tempo de setup para cada uma das máquinas, foram recolhidas amostras dos tempos de todas as atividades que compunham o setup de cada uma das máquinas e, foram levantados do sistema informático da WEG os dados de todos os materiais que foram produzidos no ano de 2022 para cada uma das máquinas, com o intuito de perceber que tipo de setup 's é que foram realizados na mudança de cada um dos materiais, dado que o historial de produção pode ser filtrado pela ordem que efetivamente os materiais foram produzidos.

Nas seguintes tabelas, é possível verificar o tempo médio de setup que cada uma das tarefas demora a ser efetuada, com os coeficientes de compensação aplicados.

Tabela 5 - Tempos de Setup (Duração de Atividades Veios SS)

Tempos de Setup Veios SS (min)		
Tarefas	Operações	
	Facear e Furar	Tornear
Acertar offset's no controlador	0,64	
Trocar calços	0,59	
Regular garras	0,36	
Iniciar programa, aproximar ferramenta e verificar distância	1,08	
Enviar programa CNC para máquina		0,18
Trocar contra-ponto		1,20
Confirmar programa		0,41
Fazer zero peça		1,61
Subir offset's		0,41
Abrir porta e medir com micrômetro os diâmetros		2,27
Utilizar ar comprimido		0,26
Fechar porta e ajustar offset's conforme valores obtidos		0,40

No caso da operação de Escatelar, verificam-se nuances que impactam o tempo das atividades que compõem o setup, como é o caso da remoção dos calços e utilização de ar comprimido nos mesmos, sendo que o tempo desta atividade está diretamente dependente do número de calços que vão ser trocados. O tempo que o operador demora a efetuar deslocação até ao armário e a voltar, também depende do número de calços que o operador vai transportar, sendo que o operador necessita de fazer mais 2 deslocações no caso de serem necessários trocar mais de 4 calços. O tempo que o operador demora a efetuar a efetiva colocação dos calços no interior da máquina também está dependente da quantidade dos mesmos. Assim sendo, uma vez que apenas foram realizadas cronometragens a situações onde foram trocados 4 ou 8 calços, as restantes possibilidades tiveram de ser apuradas através de proporcionalidade. No caso do desparafusar dos batentes e fazer zero peça, esta atividade está

dependente do número de veios que são colocados. Para comprovar o que foi mencionado, é apresentada a Tabela 6.

Tabela 6 - Continuação Tempos de Setup (Duração de Atividades Veios SS)

Tempos de Setup Veios SS (min)								
Tarefas	Operações							
	Escatelar							
	Nº de Calços							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Retirar e Utilizar ar comprimido nos Calços	0,18	0,36	0,55	0,73	0,91	1,09	1,28	1,30
Deslocar até armário e voltar	0,61				1,17			
Trocar Calços	0,16	0,33	0,49	0,65	0,81	0,98	1,14	1,18
Alargar o espaçamento entre batentes	0,24							
Ajustar comprimento da mesa e encostar ponta do veio ao batente	0,40							
Definir Variáveis	1,03							
	1 Veio		2 Veios		3 Veios		4 Veios	
Desaparafusar batentes e Fazer zero peça	0,83		1,67		2,50		3,33	

Após os tempos médios das atividades de setup serem evidenciados, é necessário calcular o tempo médio dos setup´s completo, parcial e inteiro de cada máquina.

Em relação á operação de facear e furar, as atividades que compreendem o setup igual são todas menos a troca de calços, sendo que esta é a única que é realizada exclusivamente quando há a necessidade de trocar o material por outro com diâmetro diferente. Todas as restantes são realizadas em qualquer circunstância. Existindo apenas o setup completo e setup igual nesta máquina. Como é possível constatar na Tabela 7.

Tabela 7 - Tempo de Setup Médio na Masted

Tempos de Setup Veios SS (min)		
	Operação	
	Facear e Furar	
Tipo de Setup	Quantidade de Setup's	Tempos de Setup
Setup Completo	1627	2,67
Setup Igual	984	2,08
	Tempo de Setup Médio	2,45

O tempo médio de setup dos tornos foi calculado através da junção dos tempos de setup das suas atividades, com 25% do tempo de torneamento de cada material. Esta percentagem foi constatada no seguimento de uma análise que comprova que a “fase de teste” efetuada corresponde a 25% do tempo de torneamento de cada material. Fator este que explica o motivo pelo qual o tempo de setup da Danobat é diferente da Hwacheon, sendo que os dois cumprem a mesma sequência de tarefas.

Posto isto, foi necessário fazer a discriminação entre setup Completo e setup Inteiro. No caso dos tornos, o setup inteiro é realizado quando são efetuadas todas as atividades exceto a troca do contra ponto, sendo que esta é a única que é realizada exclusivamente quando há a necessidade de trocar o material por outro com diâmetro do furo diferente.

Em virtude da grande variedade de materiais produzidos durante o ano de 2022, serão apenas apresentados os dois materiais mais produzidos, a título de exemplo, na tabela 8, abaixo indicada, sendo que o tempo de Setup Médio, associado a ambos os tornos, está a assumir todo o historial de materiais produzidos no ano de 2022.

Tabela 8 - Tempo de Setup Médio dos Tornos

Tempos de Setup Veios SS (min)								
			Operação					
			Tornear					
			Máquina					
			Danobat			Hwacheon		
Material	Tempo de Torneamento *25%	Tipo de Setup	Quantidade de Setup's	Tempos de Setup	Tempo de Setup Definitivo	Quantidade de Setup's	Tempos de Setup	Tempos de Setup Definitivos
10557685	8,71*25%	Setup Completo	-	-	-	8	6,74	8,92
		Setup Igual	-	-	-	2	5,54	7,72
11005019	14,43*25%	Setup Completo	-	-	-	65	6,74	10,35
		Setup Igual	-	-	-	10	5,54	9,15
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
Tempo de Setup Médio					11,10	Tempo de Setup Médio		12,64

O setup da escateladora contempla o tipo de setup Completo, setup Parcial e setup Inteiro.

O tipo de setup Completo é realizado quando todas as atividades que constituem a preparação da máquina são necessárias efetuar, embora no caso desta operação em particular existam 2 tipos de setup completo. O setup completo onde é necessária a tarefa de desaparafusar os batentes e fazer o zero peça e, o setup completo onde é necessário alargar o espaçamento entre os batentes e, ajustar o comprimento da mesa e encostar a ponta do veio ao batente.

O tipo de setup Parcial é igualmente realizado quando todas as atividades associadas ao setup são realizadas, porém, quando o número de calços que são necessários trocar são inferiores a 8, é caracterizado com parcial, uma vez que nem todas as ferramentas serão utilizadas. Existindo de igual modo um setup parcial onde é necessária a tarefa de desaparafusar os batentes e fazer o zero peça e, um setup parcial onde é necessário alargar o espaçamento entre os batentes e, ajustar o comprimento da mesa e encostar a ponta do veio ao batente.

O tipo de setup Igual é realizado quando as tarefas indispensáveis como a definição de variáveis, o alargar o espaçamento entre os batentes e, ajustar o comprimento da mesa e encostar a ponta do veio ao batente, ou o desaparafusamento dos batentes e fazer o zero peça, são efetuados.

De modo a obter o tempo médio de setup da escateladora, foram retirados do sistema da WEG informações como os diâmetros dos segmentos do veio que seriam apoiados nos calços de todos os materiais, bem como os comprimentos de todos os materiais. Cruzando esta informação com o historial de produção do ano de 2022, era possível perceber concretamente que tipo de setup e, quanto tempo demorou, na transição de um material para o outro. Foi então necessário perceber o número de calços que seriam trocados no setup, bem como os lugares que ficam de vago na máquina (permanecendo os calços) quando são produzidos menos de 4 veios. Sendo que para chegar a esta precisa conclusão, foram aplicadas várias restrições no Excel. Na Tabela 9, é possível perceber que tipo de lógica foi utilizada, sendo que para isso foram utilizados 8 materiais aleatórios com características diferentes, não seguindo a verdadeira ordem do historial de produção.

Tabela 9 - Tempo de Setup Médio na Eumach

Tempos de Setup Veios (min)									
				Operação					
				Escatelar					
Material	Comprimento	Diâmetro assento mancal Dianteiro	Diâmetro assento mancal Traseiro	Nº de Veios Introduzidos	Nº de Calços trocados	Nº de Calços não trocados	Tipo de Setup	Quantidade de Setup's	Tempos de Setup
10557685	850,50 milímetros	70,00 milímetros	70,00 milímetros	-	-	-	-	-	-
11041254	1425,00 milímetros	110,00 milímetros	95,00 milímetros	4	8	0	Setup Completo e Zero Peça	334	8,01
16425598	1570,00 milímetros	110,00 milímetros	110,00 milímetros	4	4(A.M.T)	4(A.M.D)	Setup Parcial e Zero Peça	529	6,35
13101920	1.426,00 milímetros	110,00 milímetros	110,00 milímetros	4	0	0	Setup Igual e Zero Peça	123	4,36
11005019	1.030,00 milímetros	80 milímetros	80 milímetros	4	8	0	Setup Completo e Batentes	471	5,32
10878279	916,50 milímetros	70 milímetros	70 milímetros	2	2(A.M.D)+2(A.M.T)	2(A.M.D)+2(A.M.T)	Setup Parcial e Batentes	957	3,65
11874657	1.132,00 milímetros	80 milímetros	70 milímetros	4	2(A.M.D)+2(A.M.T)	2(A.M.D)+2(A.M.T)	Setup Parcial e Batentes	-	3,65
16149434	1.036,00 milímetros	80 milímetros	70 milímetros	4	0	0	Setup Igual e Batentes	202	1,67
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
Tempo de Setup Médio								4,79	

Resumindo objetivamente a referida tabela, é possível observar que na transição de determinado material para outro material, a quantidade de calços que não são trocados estão dependentes da quantidade de veios que são introduzidos, bem como os diâmetros das zonas de apoio. Em determinados casos, é necessário ter em atenção aos tipos de calços que ficaram na máquina, logo não foram trocados, referentes ao penúltimo material que foi produzido. Um exemplo demonstrativo deste cenário, é quando na transição do material 11005019 para o material 10878279, em função dos 2 veios introduzidos, são apenas trocados os 2 calços compatíveis com os diâmetros de 80 milímetros do assento mancal dianteiro e traseiro, ficando na máquina ainda 2 calços compatíveis com diâmetros de 70 milímetros do assento mancal dianteiro e traseiro. Já na transição do material 10878279 para o material 11874657, uma vez que já estavam na máquina 2 calços compatíveis com diâmetros de 80 milímetros, serão trocados 2 calços compatíveis com 70 milímetros no assento mancal dianteiro e, 2 calços compatíveis com 80 milímetros no assento mancal traseiro. Permanecem na máquina 2 calços compatíveis com 80 milímetros no assento mancal dianteiro e 2 calços compatíveis com 70 milímetros no assento mancal traseiro.

4.2.2 WEG Shop Floor Management WSFM

Com a crescente automatização e a procura pela integração na Indústria 4.0, a WEG inovou ao desenvolver o sistema WSFM, uma sigla que representa o sistema Manufacturing Execution System. Essa solução tecnológica não reflete apenas a adaptação da empresa ao mundo atual, mas também marca um passo significativo rumo à eficiência e competitividade no cenário industrial moderno.

O sistema WSFM da WEG é uma resposta sólida à necessidade de otimização dos processos industriais, permitindo aos gestores um acompanhamento em tempo real da produção e, oferecendo dados inerentes ao processo que simplificam o trabalho no combate às ineficiências, promovendo uma integração eficaz entre os diversos elementos da produção, conectando máquinas, sistemas e pessoas em uma rede inteligente.

Este sistema permite fazer a ligação entre o Planeamento e Controlo da Produção (PCP) e a produção no chão de fábrica, com o principal objetivo de melhorar a produtividade.

Podemos verificar na Figura 34, abaixo mencionada, o ecrã touch que se encontrava junto ao controlador de cada uma das máquinas, com o propósito de cumprir aquilo que o WSFM promete.

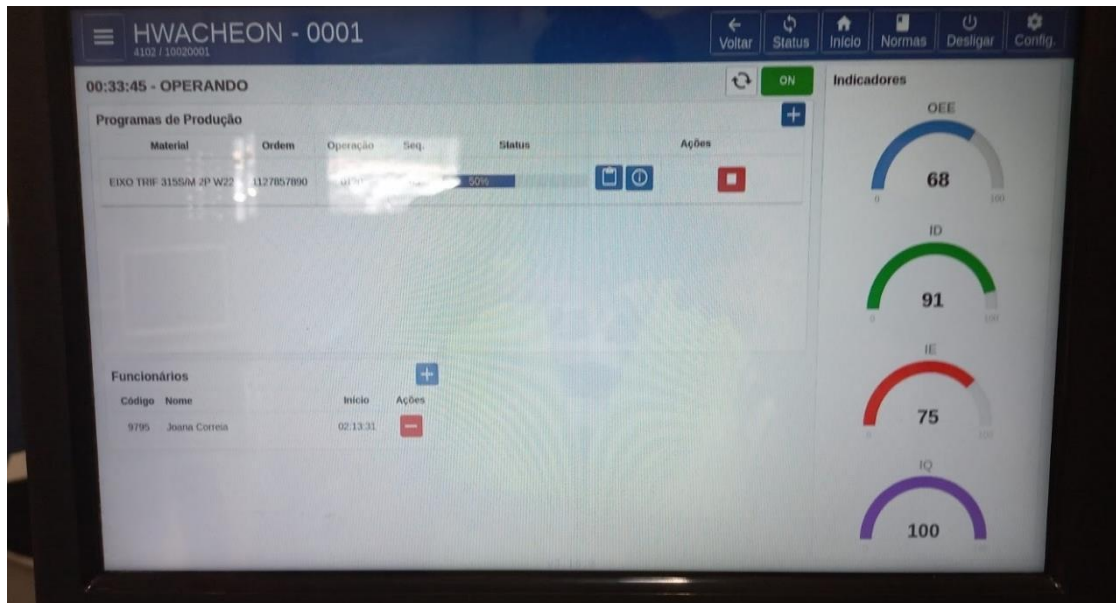


Figura 34 - Ecrã Touch WSFM

Os

sinais identificados da máquina através do quadro de comando, permitia a atribuição de três tipos de eventos, os quais forneciam informações cruciais sobre a atividade em curso no centro de trabalho. Quando a máquina estava em funcionamento, o evento "Operando" era automaticamente assumido e transmitido pela máquina por meio de sinais eletrônicos, confirmando que esta estava efetivamente em produção. Entretanto, caso um dos sinais eletrônicos que indicavam que a máquina estava em funcionamento fosse desativado, o evento "Paragem Não Justificada" era automaticamente acionado. Uma vez que o evento "Paragem Não Justificada" fosse assumido, era espectável que o operador colocasse no monitor a razão que motivou essa paragem. Para isso, um painel de eventos estava disponível para seleção, como é possível verificar na Figura 35.

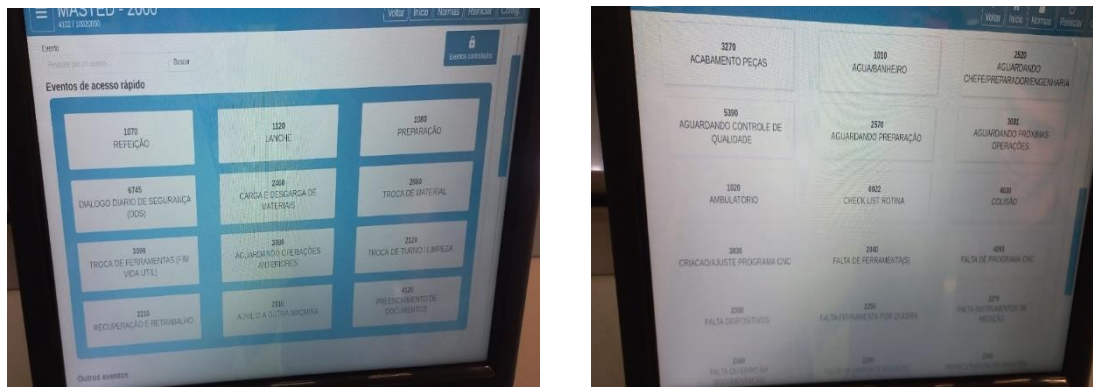


Figura 35 - Painel de Eventos do WSFM

Assim que o evento responsável pela paragem fosse selecionado e registado, o equipamento passava para o estado "Em Paragem Justificada". Nesse momento, o monitor exibia o evento específico que havia motivado a paragem, fornecendo informações claras sobre o motivo pelo qual a produção havia sido interrompida.

Dependendo do tipo de evento registado, o WSFM atualizava em tempo real o monitor com informações essenciais para avaliar o desempenho do centro de trabalho. Isso incluía o cálculo do índice de Eficiência Global do Equipamento (OEE) desde o início do turno e também dos três índices que compõem o OEE. Essa funcionalidade permitia aos operadores e gestores acompanhar de perto o desempenho da máquina, identificar oportunidades de melhoria e implementar ações corretivas quando necessário, tudo em prol da otimização da produção e da eficiência operacional.

4.3.3 Índices do OEE

Por forma calcular os índices de Eficiência Global do Equipamento (OEE), o WSFM utilizava os dados recolhidos em tempo real. Esses dados eram posteriormente categorizados e distinguidos entre o tempo operacional e as paragens, sejam elas planeadas ou não planeadas, entre outras categorias relevantes, conforme é verificado na Figura 36.

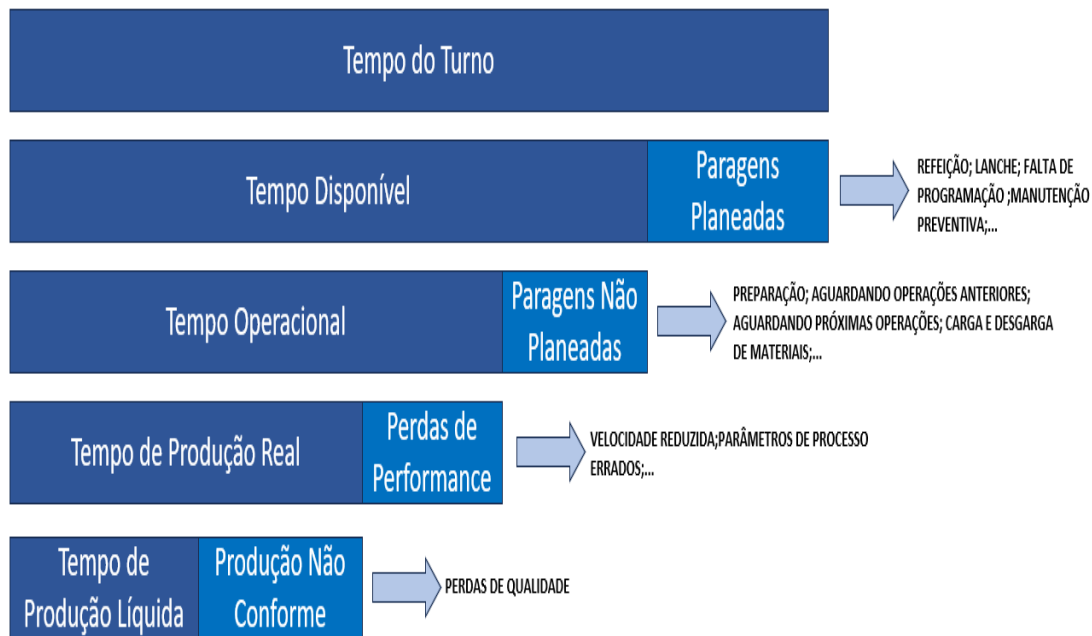


Figura 36 - Distribuição do Tempo

No que diz respeito ao cálculo do Índice de Disponibilidade (ID), este representava a fração do Tempo Operacional em relação ao Tempo Disponível, conforme demonstrado na Equação 1. O ID levava em consideração as Paragens Não Planeadas que eram registadas pelo operador no WSFM. O Tempo Disponível da máquina era calculado automaticamente pelo sistema, com base no sinal que indicava que a máquina estava em funcionamento.

$$ID = \frac{\text{Tempo Operacional}}{\text{Tempo Disponível}}$$

Equação 1 - Índice de Disponibilidade

O Índice de Eficiência (IE) representava a fração de tempo que seria esperada para produzir o número total de peças planeadas durante o Tempo do evento “Operando”, conforme expresso na Equação 2. O IE tinha como objetivo contabilizar e identificar as ineficiências na operação, destacando qualquer desvio em relação ao tempo previsto para a produção completa das peças.

$$IE = \frac{\text{Tempo de Ciclo} \times \text{Total de Peças Produzidas}}{\text{Tempo Evento "Operando"}}$$

Equação 2 - Índice de Eficiência

Finalmente, o Índice de Qualidade (IQ) era determinado pela relação entre o número total de peças conformes e o número total de peças produzidas. O IQ tinha como objetivo medir a qualidade geral da produção, destacando a proporção de produtos que atendiam às especificações desejadas em relação ao total de unidades fabricadas.

$$IQ = \frac{\text{Total de peças conformes}}{\text{Total de peças produzidas}}$$

Equação 3 - Índice de Qualidade

Assim sendo, por meio dos três índices mencionados, tornava-se possível calcular o OEE, que nada mais era do que o resultado da multiplicação dos três índices, servindo como uma métrica abrangente que avaliava a eficiência geral do processo de produção.

4.3 Análise Crítica e Identificação de Problemas

Utilizando o mesmo período temporal acima mencionado, foi realizada uma análise através do estudo do OEE, com o intuito de identificar quais eram as ineficiências com maior impacto no processo. Deste modo, foram consultados os dados do WSFM, o que permitiu concluir qual o OEE de cada uma das máquinas, bem como entender qual seria a capacidade produtiva da linha caso as ineficiências fossem excluídas a 100%.

4.3.1 Índice de Disponibilidade

Em uma primeira avaliação, utilizando o sistema WSFM, foram analisados os dados relacionados ao cálculo do Índice de Disponibilidade (ID), através da distribuição do tempo disponível em cada uma das máquinas no decorrer do ano de 2022, como é possível analisar nos Gráficos abaixo inseridos.



Figura 37 - Distribuição do Tempo Disponível (Masted)

No que concerne á Masted, o período desta análise totaliza 93501,38 minutos de tempo disponível, sendo que dos 117600 minutos (224 dias de trabalho) de tempo de 1 turno, foram retiradas 24099,62 minutos de paragens planeadas, contabilizando as refeições que duram 45 minutos de almoço e 20 minutos de lanche diariamente, a falta de programação que se verifica quando não há necessidade de produzir e as manutenções planeadas. Foram observadas posteriormente a quantidade de minutos despendidos referentes a Paragens Não Planeadas e, foi possível deduzir que em 27% do tempo disponível para produzir, foram sofridas Paragens Não Planeadas, correspondendo a 24830,81 minutos.

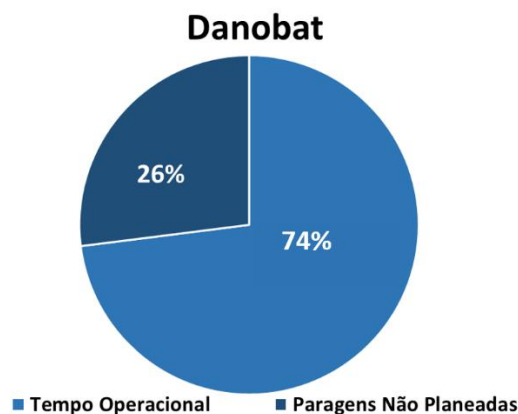


Figura 38 - Distribuição do Tempo Disponível (Danobat)

No que diz respeito á Danobat, uma análise abrangente do tempo disponível revelou um período total de 162973,92 minutos de tempo disponível. Inicialmente, dos 222 600 minutos correspondentes a 212 dias de trabalho em 2 turnos, foram retiradas 59626,08 minutos de paragens planeadas. Essas paragens incluíam intervalos para refeições, com 90 minutos de almoço e jantar e, 40 minutos de lanche diariamente, bem como a falta de programação em momentos em que não havia necessidade de

produção e manutenções planejadas. Além disso, foi observado que em 26% do tempo total disponível para produzir, equivalentes a 42 783,54 minutos, ocorreram Paragens Não Planeadas.



Figura 39 - Distribuição do Tempo Disponível (Hwacheon)

A Hwacheon conta com um total de 193832,93 minutos de tempo disponível. Sendo que, dos 233100 minutos correspondentes a 222 dias de trabalho divididas por 2 turnos, foram retiradas 39267,07 minutos de paragens planejadas. Essas paragens incluíam intervalos para refeições, com 90 minutos de almoço e jantar e, 40 minutos de lanche diariamente, bem como a falta de programação em momentos em que não havia necessidade de produção e manutenções planejadas. Além disso, foi observado que em 22% do tempo total disponível para produzir, equivalentes a 42314,28 minutos, ocorreram Paragens Não Planeadas.

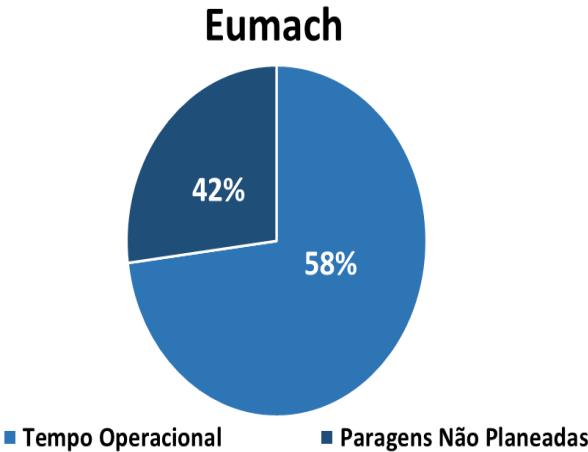


Figura 40. Distribuição do Tempo Disponível (Eumach)

Uma vez que a Eumach consegue produzir 4 veios em simultâneo, esta só necessita de apenas 1 turno de trabalho. Totalizado em 118650 minutos, correspondentes a 226 dias de trabalho. Discriminando a totalidade de horas do turno em Paragens Planejadas e Tempo Disponível, associamos a estas 44237,68

minutos e 74412,32 minutos respetivamente. Foram observadas posteriormente a quantidade de minutos despendidos referentes a Paragens Não Planeadas e, foi possível depreender que em 42% do tempo disponível para produzir, foram sofridas Paragens Não Planeadas, correspondendo a 31411,11 minutos.

4.3.2 Índice de Eficiência

A abordagem utilizada para determinar este indicador esteve relacionada com o facto de o tempo operacional anual não corresponder ao tempo real de produção, bem como alguma negligência por parte dos operadores quando faziam o registo do motivo da paragem ocorrida. Uma vez que o operador tinha de iniciar e finalizar a OP no sistema WSFM, foi possível recolher a informação acerca do Tempo Real de produção, no evento “Operando”. Consequentemente, após comparar o tempo registado no evento “Operando” com o Tempo Operacional, foi possível detetar discrepâncias entre ambos, sendo que ambos deveriam ser iguais. O que motivou esta discrepância foi o facto de os operadores, por vezes, demorarem mais tempo a produzir que aquilo que estava estipulado. Consequentemente, ou a máquina assumia o evento de “Paragem Não Justificada”, ou o operador necessitava de apontar justificações irreais do motivo da paragem, sendo que, por vezes, os motivos justificados eram referentes a Paragens Planeadas, explicando a diferença de valores. Ou seja, não havia nenhuma justificação que explicasse a falta de eficiência de um operador ou máquina. Sendo que a diferença entre o Tempo Produção Planeado e o Tempo registado no evento “Operando”, seria a quantidade de minutos em que houve falta de eficiência por parte dos operadores ou até da própria máquina. Deste modo, como é possível verificar na Tabela 10, foi necessário dividir o Tempo de Ciclo Planeado, pelo Tempo registado no evento “Operando”, por forma a calcular o índice de eficiência de cada uma das máquinas.

Tabela 10 - Distribuição do Tempo Eficiente

	Masted	Danobat	Hwacheon	Eumach
Tempo Operacional	68670,57 Min	120190,38 Min	151518,65 Min	43001,21 Min
Unidades Produzidas em 2022	11335	6033	5235	11257
Tempo Produção Planeado	6,02×11335=68237 Min	19,61×6033=118307 Min	27,75×5235=145271 Min	3,74×11257=42101 Min
Tempo Evento "Operando"	70658,58 Min	125341,28 Min	148321,12 Min	43411,58 Min
Horas ineficazes do operador/ Máquina	2421,58 Min	7034,28 Min	2050,12 Min	1310 Min
Índice de Eficiência	$\frac{68237}{70658,58} = 97\%$	$\frac{118307}{125341,28} = 94\%$	$\frac{145271}{148321,12} = 98\%$	$\frac{42101}{43411,58} = 97\%$

4.3.3 Índice de Qualidade

O índice de Qualidade foi o indicador que menos impactou o OEE dos equipamentos, uma vez que todos os procedimentos são cumpridos com o máximo rigor pelos operadores. A Tabela 11, abaixo mencionada, comprova isso mesmo.

Tabela 11 - Percentagem de Peças Conformes

	Masted	Danobat	Hwacheon	Eumach
Unidades Produzidas em 2022	11335	6033	5235	11257
Não Conformidades	231	103	50	323
Índice de Qualidade	98%	98%	99%	97%

4.4 Eficiência Global do Equipamento (OEE) e Capacidade Produtiva

Ao analisar o desempenho operacional dos equipamentos, conclui-se, através da multiplicação dos 3 índices, que o OEE dos equipamentos atingiu valores que ainda tinham margem para melhorar este indicador.

Na Tabela 12, abaixo ilustrada, estão mencionados os indicadores do OEE associados aos 4 equipamentos, sendo que através deste indicador é possível depreender qual é a capacidade diária possível de atingir se hipoteticamente não se verificassem ineficiências no processo.

Tabela 12 - OEE e Capacidade Produtiva da Linha

	Masted	Danobat	Hwacheon	Eumach
Índice de Disponibilidade	73,44%	73,75%	78,00%	57,79%
Índice de Eficiência	96,58%	94,38%	97,94%	96,98%
Índice de Qualidade	97,96%	98,29%	99,04%	97,13%
Quantidade Diária Média Produzida	49,37 Uni	26,68 Uni	22,53 Uni	49,37 Uni
OEE	69,48%	68,41%	75,66%	54,43%
Capacidade	71,06 Uni	39,00 Uni	29,78 Uni	90,70 Uni
Capacidade da Linha Produtiva	68,78 Uni			

Observando a tabela, é possível verificar que a capacidade da linha produtiva são 68,78 veios escatelados. Porque embora a Eumach esteja preparada para produzir no máximo 90,70 unidades, isso não aconteceria devido á falta de material proveniente dos tornos. De igual modo, embora a Masted tenha capacidade para abastecer ambos os tornos com 71,06 unidades, isso não seria viável uma vez que os tornos não têm essa capacidade. Contribuindo para uma acumulação excessiva de stock. Saliendo que este estudo considera apenas o histórico do que foi realizado em 2022 e, todos as projeções são baseadas em dados passados.

Com a implementação da célula robotizada, pretende-se aproximar o mais possível a produção á sua capacidade máxima da linha. Sendo que para isso, é necessário identificar quais foram as Paragens Não Planeadas que tiveram mais impacto em cada um dos equipamentos. Averiguando a tabela, é notória a discrepância entre o Índice de Disponibilidade de todos os equipamentos face ao IE e ao IQ. Mediante este cenário, foi imperativo avaliar as Paragens Não Planeadas, a fim de identificar e analisar os eventos principais que causaram interrupções na produção. Para alcançar esse objetivo, foi realizada uma Análise ABC dos eventos que pertenciam às Paragens Não Planeadas, referente a todos os 4 equipamentos, com o propósito de identificar as causas subjacentes que estavam a prejudicar significativamente o tempo disponível. Permitindo delinear um plano estratégico de aprimoramento, com o intuito de mitigar, ou eliminar as principais Paragens Não Planeadas.

Procedendo ao cálculo das percentagens relativas para cada um dos eventos e considerando o tempo total dedicado a cada um deles, obtivemos a percentagem acumulada de tempo atribuída a cada evento específico. Utilizando esse critério, procedemos à categorização dos eventos em três classes distintas: A, B e C. Os eventos que representaram até 70% da percentagem acumulada foram classificados como pertencentes à classe A. Aqueles que representaram entre 70% e 90% foram alocados à classe B. Por fim, os eventos restantes foram designados como pertencentes à classe C. A classe A incluiu os eventos de maior impacto, representando as causas mais significativas das Paragens não planeadas. A classe B abrangeu eventos importantes, mas com um impacto um pouco menor, enquanto a classe C incluiu eventos com impacto relativamente menor nas paragens não planeadas.

É possível verificar nas Figuras os gráficos da Análise ABC com a duração total de cada um dos eventos decorridos referentes aos 4 equipamentos, bem como quais foram os mais impactantes.

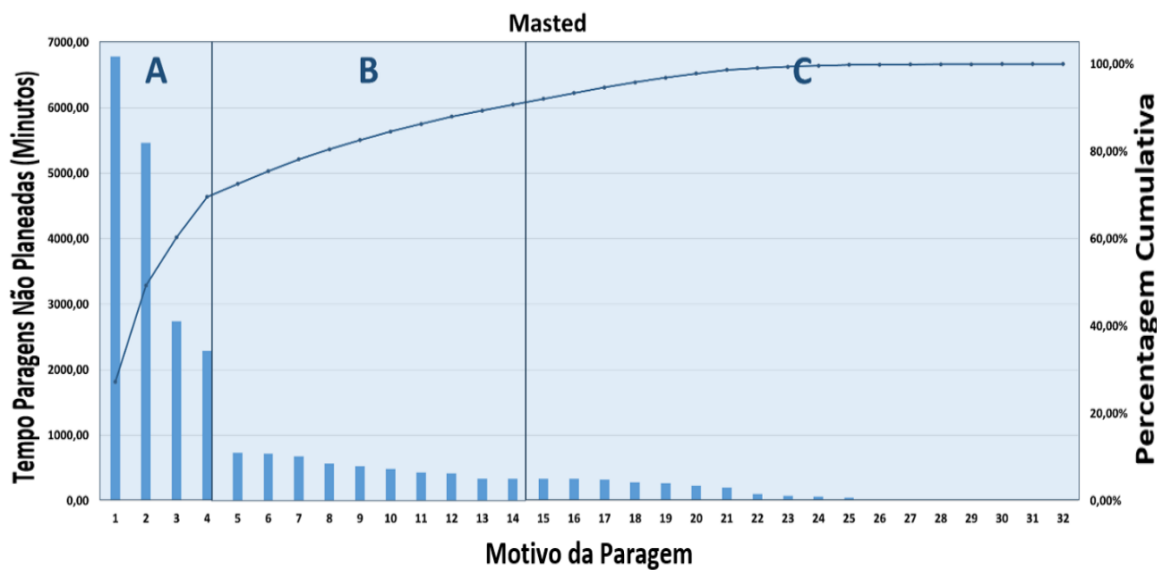


Figura 41 - Análise ABC Paragens Não Planeadas Masted

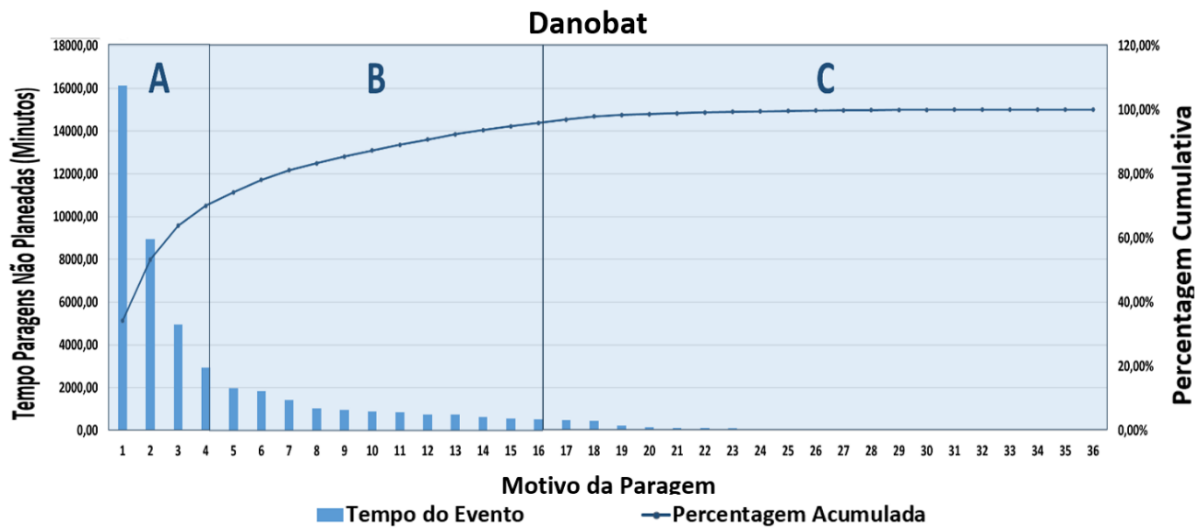


Figura 42 - Análise ABC Paragens Não Planeadas Danobat

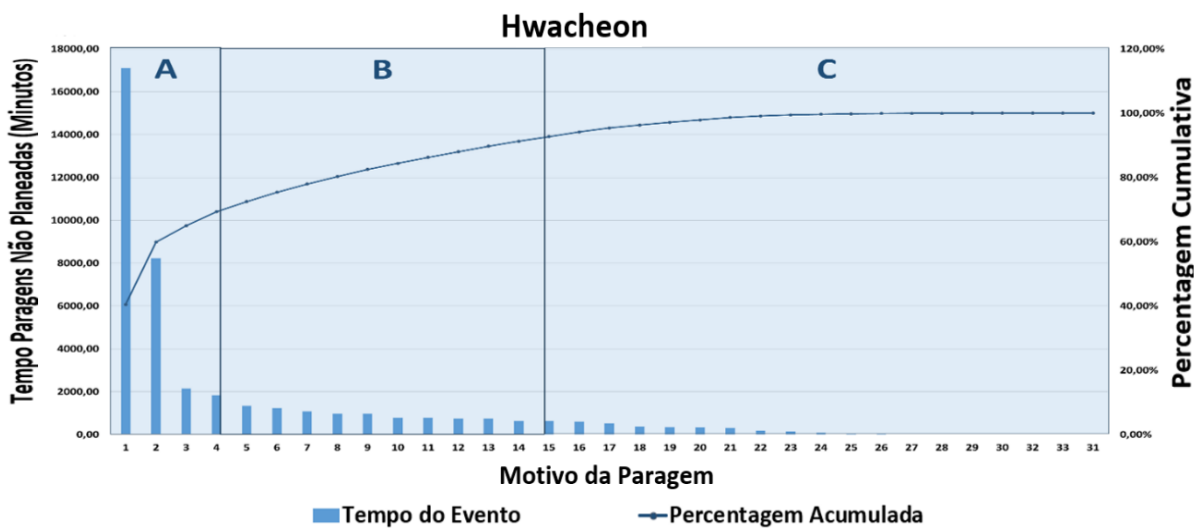


Figura 43 - Análise ABC Paragens Não Planeadas Hwacheon

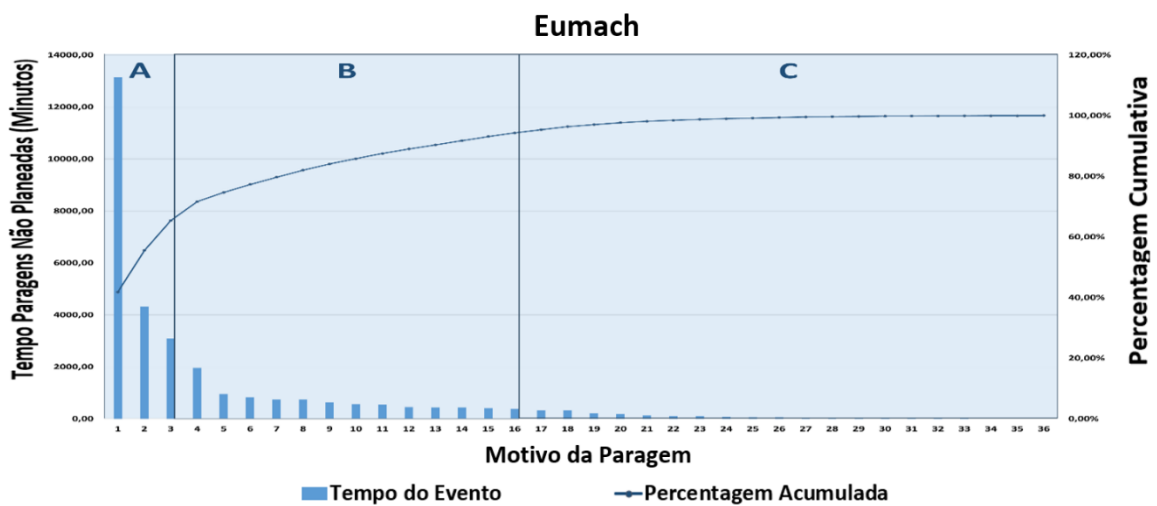


Figura 44 - Análise ABC Paragens Não Planeadas Eumach

Cada um dos eventos, conforme ilustrados nas figuras, foram identificados através de um número exclusivo, com descrições detalhadas disponíveis no Apêndice 5. Consta nesta tabela os tempos totais atribuídos a cada evento e, as percentagens relativas e acumuladas correspondentes.

Essa classificação permitiu a identificação dos eventos críticos que desencadearam as Paragens Não Planeadas, todos eles pertencentes à classe A. Esta categoria, embora abrangendo apenas uma fração dos eventos registrados, destacou-se por ser a mais impactante, representando 70% do tempo total de Paragens Não Planeadas.

Consequentemente, esta análise enfatiza a importância de concentrar os esforços na melhoria dos eventos da classe A.

Dado este contexto, os eventos identificados como os principais causadores das Paragens Não Planeadas, associados a cada uma das máquinas, eram os seguintes:

Motivos de Paragens Não Planeadas			
Masted	Danobat	Hwacheon	Eumach
1º Preparação	1º Preparação	1º Preparação	1º Preparação
2º Paragem Não Justificada	2º Paragem Não Justificada	2º Paragem Não Justificada	2º Paragem Não Justificada
3º Carga e Descarga de Materiais	3º Aguardando Operações Anteriores	3º Troca de Turno/ Limpeza	3º Aguardando Operações Anteriores
4º Aguardando Próximas Operações	4º Carga e Descarga de Materiais	4º Reunião/ Treinamento	

Figura 45 - Motivos Paragens Não Planeadas

Tendo em conta o objetivo de reduzir, e possivelmente eliminar, a incidência desses eventos, foi realizada a uma análise minuciosa dos mesmos, conforme descrito nos tópicos a seguir. Esta análise foi efetuada com o objetivo de, posteriormente, entender o impacto que a implementação da célula robotizada terá em cada um destes eventos.

4.4.1 Preparação

O evento que teve o maior impacto nas Paragens Não Planeadas foi o evento da “Preparação”, sendo que, foi responsável por consumir 27%, 34%, 40% e 42%, na Masted, Danobat, Hwacheon e Eumach, respetivamente, do tempo em que os equipamentos permaneceram inativos. O evento da “Preparação” envolvia uma série de atividades necessárias para configurar os equipamentos e iniciar a produção do próximo material, garantindo que atendessem às especificações exigidas. Como foi possível constatar na descrição associada a cada máquina, relativamente aos setup´s, bem com aos seus tempos, supramencionados. Importa ainda referir que, este evento, foi aquele que foi mais observado em todos os 4 equipamentos no que diz respeito às Paragens Não Planeadas.

Além disso, foi detetado que o motivo pelo qual este evento contava com consideráveis desperdícios de tempo, prendia-se com o facto de que, durante a observação das tarefas realizadas, tornou-se evidente que algumas delas ainda necessitavam de algum esforço por parte do operador, já que eram executadas manualmente ou com o auxílio de ferramentas manuais.

4.4.2 Paragem Não Justificada

O segundo evento mais impactante identificado foi a “Paragem Não Justificada”, correspondendo a 22%, 19%, 20% e 14%, na Masted, Danobat, Hwacheon e Eumach, respetivamente, de todas as Paragens Não Planeadas. Tendo valores muito acentuados em todos os 4 equipamentos. A eliminação completa dessa ocorrência era uma das principais metas da empresa, uma vez que esse evento frequentemente encobria a verdadeira causa das paragens, tornando-se imperativo compreender as suas origens.

O sistema WSFM registava o evento denominado "Paragem Não Justificada" sempre que detetava que o equipamento estava parado, com base nos sinais emitidos pelo próprio equipamento ou, quando o tempo de ciclo previsto para cada material excede o expectável. Após esse evento ser registado, os operadores tinham um período de 100 segundos para editar as informações no monitor do WSFM, ou seja, para inserir a justificação correspondente à paragem real. Caso não realizassem essa edição dentro desse intervalo de tempo, eles ainda tinham a possibilidade de efetuar a edição posteriormente, utilizando o painel de registo de eventos. Contudo, mesmo com a plena consciência dessa necessidade, nem sempre os operadores tinham a devida atenção para registar todos os eventos que de fato aconteciam.

4.4.3 Carga e Descarga de Materiais

O evento associado à “Carga e Descarga de Materiais”, representava uma influência de 11% e 6% nas Paragens Não Planeadas, na Masted e na Danobat, respetivamente, sendo que abrangia as operações de transporte dos materiais, desde o buffer de entrada até à máquina e, desde a máquina até ao buffer de descarga (buffer da seguinte operação). Nesse ponto, os materiais maquinados aguardavam o transporte subsequente para o próximo processo.

Deste modo, o operador era o responsável por transportar os carrinhos que continham os materiais usinados e, raramente esta era uma atividade que era efetuada em paralelo com o funcionamento da máquina (contrariamente às restantes 2 máquinas) , representado uma significativa ineficiência, uma vez que esta deslocação era efetuada de cada vez que ocorria uma troca de material. Posto isto, considera-se que estes centros de trabalho representam um considerável tempo de paragem, associado a dois dos sete desperdícios, nomeadamente, transporte e movimentação. Por forma a evidenciar as deslocações que os operadores realizavam neste evento, foi elaborado um diagrama de Spaghetti do estado atual, apresentado na Figura 46 abaixo. Enfatizando que as ineficiências são apenas referentes à Masted e Danobat, embora estejam exibidas todas as deslocações efetuadas.

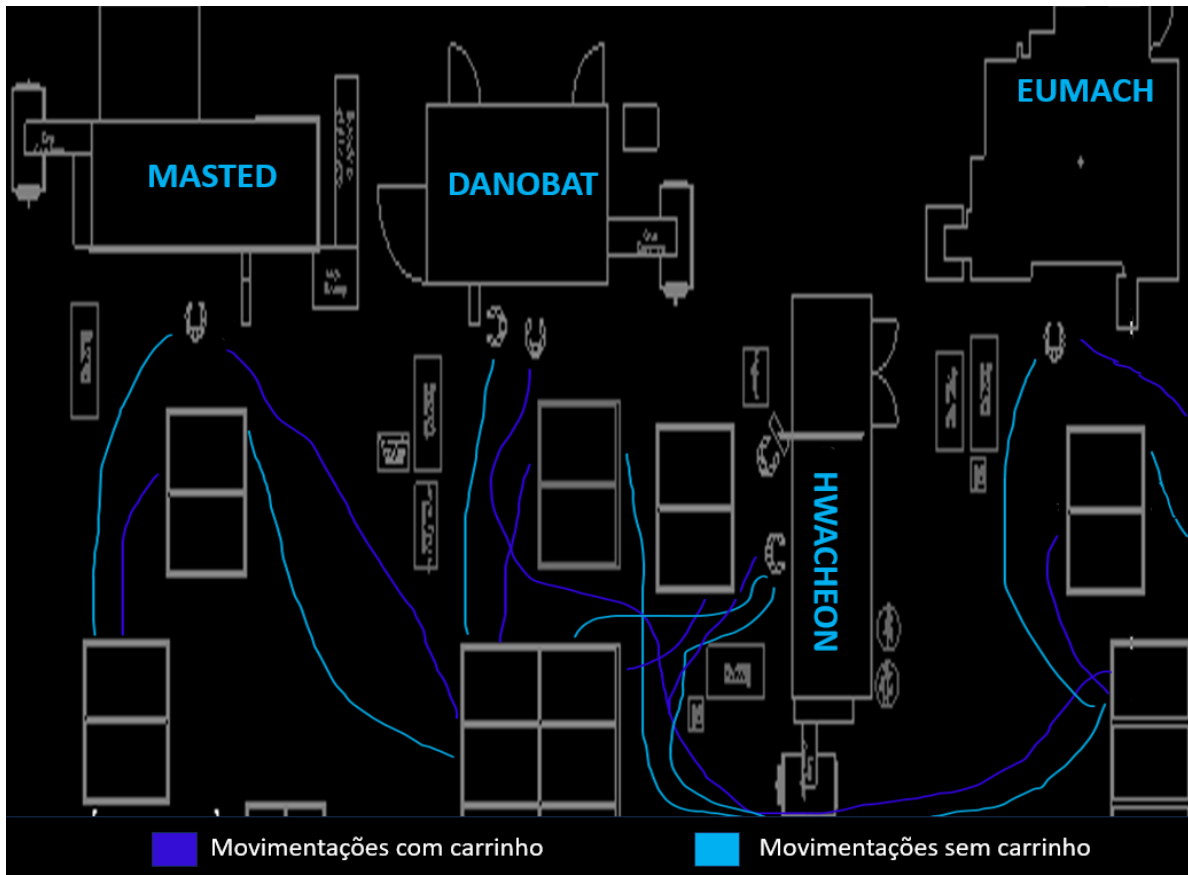


Figura 46 - Diagrama de Spaghetti

As deslocações representadas no diagrama acima totalizam uma distância de 40 metros respeitantes à Masted e 60 metros respeitantes à Danobat. As linhas azuis claras refletem as deslocações realizadas desde a máquina até ao buffer da Masted/Danobat que contém os materiais e, as deslocações empurrando o carrinho, realizadas desde a máquina até ao buffer de materiais do próximo equipamento. Já as linhas azuis escuras refletem as deslocações empurrando o carrinho, desde o buffer de materiais da Masted/Danobat até à máquina e, as deslocações realizadas desde o buffer do próximo equipamento até à Masted/Danobat. Todas estas deslocações são realizadas de cada vez que são trocados os materiais. Representando assim 2743,25 minutos de tempo ineficiente em 224 dias de trabalho referentes a 1 turno, no que concerne à Masted e, 2932,12 minutos de tempo ineficiente em 212 dias de trabalho referentes a 1 turno, no que concerne à Danobat.

Adicionalmente, devido à falta de organização do espaço, verificavam-se perdas relacionadas à procura pelos respetivos materiais, que estavam previstos produzir sequencialmente, quando se pretendia transportá-los para a máquina. Isso ocorria principalmente devido à desorganização dos materiais, que não seguiam nenhuma lógica de ordenação de acordo com sua entrada.

4.4.4 Aguardando Próximas Operações

Posteriormente, foi observado que o quarto evento, referente singularmente à Masted, que teve uma duração mais longa, foi o “Aguardando Próximas Operações”, representando cerca de 9% do tempo total em que o equipamento suportou Paragens Não Planeadas.

Este evento indica que, em determinadas ocasiões, o equipamento não operava devido ao excesso de stock acumulado na operação subsequente, o torneamento. Era habitual o operador desta máquina, por sugestão do chefe de linha, realizar outro tipo de atividades que fossem mais convenientes naquela altura, em momentos que este equipamento já tinha pouco stock por produzir. Uma vez que não seria benéfico acumular muito stock no buffer dos tornos, correndo o risco de atrasar ainda mais o operador, quando este tem de identificar o lote que necessita de ser produzido com maior prioridade.

4.4.5 Aguardando Operações Anteriores

O evento denominado como “Aguardando Operações Anteriores” representou 11% e 9 % das Paragens Não Planeadas da Danobat e da Eumach, respetivamente.

A incidência desta ineficiência, tem como explicação, em ambos os equipamentos, a falta de stock observado, resultante de operações precedentes. O que distingue estes dois equipamentos é que, na Eumach, este evento ocorre devido à operação anterior ser o gargalo da linha e, inevitavelmente observam-se esperas pela produção do material anterior. Em contrapartida, na Danobat, o que se sucede é que, uma vez que nesta máquina estão alocados materiais que são considerados menos produzidos e/ou mais rápidos de maquinarem, isto resulta, por vezes, no aguardo da produção desses mesmo materiais.

4.4.6 Troca de Turno/Limpeza

No que diz respeito ao evento "Troca de Turno/Limpeza", este figurou como o terceiro evento com maior tempo de registo, no que diz respeito à Hwacheon, representando 5% das paragens não planeadas. Este evento deveria ser registado no fim de cada turno, no instante em que o operador procedia à limpeza da máquina.

No entanto, observou-se que, apesar desses registos, por vezes o evento não era adequadamente registado, o que sugeria que os operadores ocasionalmente se esqueciam de realizar esta atividade. Além disso, constatou-se que os colaboradores não recebiam informações concretas sobre as tarefas que deveriam realizar para manter o equipamento em boas condições de funcionamento, nem sobre a

periodicidade dessas ações. Isso resultava na ausência de um padrão standard definido para a limpeza, ficando ao encargo do operador a decisão de quando realizá-la.

4.4.7 Reunião/Treinamento

O evento identificado na Análise ABC como o último na lista, associado á Hwacheon, foi o "Reunião/Treinamento", com uma representação de 4% de paragens não planeadas. Este evento era registado quando os operadores se ausentavam dos seus postos de trabalho para participar em reuniões, juntamente com os operadores de outras máquinas. De igual modo, este evento podia ser registado quando os operadores participavam de formações, que abrangiam diversas áreas, como segurança, qualidade, saúde, primeiros socorros e outros temas relevantes.

A inclusão deste evento nos registos estava a afetar negativamente o cálculo do OEE, uma vez que era classificado como uma Paragem Não Planeada e, portanto, era contabilizado no Índice de Disponibilidade, como os eventos mencionados anteriormente. Porém, era distinto dos outros, no sentido em que era previsível e planeado com alguma antecedência, necessitando sempre da aprovação da gerência.

5. APRESENTAÇÃO DA PROPOSTA DE MELHORIA

Este capítulo tem como objetivo apresentar e explicar a proposta de melhoria que foi sugerida aplicar na linha produtiva de veios, com o intuito de eliminar, ou mitigar, as ineficiências anteriormente mencionadas. O que inevitavelmente contribuirá para o aumento do OEE, mais concretamente no que concerne ao índice de disponibilidade e, conseqüentemente, ao aumento da capacidade de produção, a diminuição de movimentações e transportes e a redução do lead time dos veios. Bem como a diminuição do custo de mão de obra, a automatização e padronização do processo e o aumento da disponibilidade da área fabril.

Por forma a que a linha de veios abone de todas as vantagens mencionadas, foi sugerida a implementação de uma célula robotizada, que, em virtude de permitir que as quatro máquinas trabalhem em paralelo, sempre que possível, vai contribuir para que as principais ineficiências do processo sofram uma redução.

De modo a suportar a viabilidade do projeto, várias análises tiveram de ser elaboradas, bem como planos de ação concretos. Enfatizando o facto de que os dados analisados foram recolhidos de um software de simulação industrial, baseado no historial de produção do ano de 2022 e, assumindo os novos pressupostos e alterações que os tempos de ciclo viriam a sofrer, resultado de atividades que foram substituídas pela robotização.

5.1 Descrição da célula robotizada

Comparativamente ao estado atual da linha produtiva, a projeção efetuada conta com o intuito de alocar um operador a toda a linha que ficará responsável por se deslocar e realizar os setup's de todas as quatro máquinas, bem como instruir a célula na tomada de ação, caso a sequência de prioridades necessite de alguma mudança. Uma vez que a célula robotizada está projetada para abastecer as máquinas por sequência de prioridades, o operador terá a tarefa de realizar parte da preparação da máquina subsequente, sempre que possível, enquanto a máquina atual está a operar e, respeitando a atual sequência que está definida. Na eventualidade de o operador não terminar a preparação no tempo definido, a célula não vai cumprir com a sequência prevista, sendo que esta possuirá sensores óticos com a capacidade para detetar quando as grades delimitadoras da zona onde o operador pode preparar a máquina se encontram fechadas e, invariavelmente ficará parada. Os setup's vão ter de ser efetuados parcialmente em todas as máquinas, porque, em todas elas, é exigido que determinadas atividades do setup sejam efetuadas apenas após a colocação do material na máquina.

Deste modo e, sendo que a célula robotizada apenas se desloca linearmente, foi necessário simular uma remodelação de todo o layout atualmente implementado, por forma a garantir que a célula se deslocaria o mínimo possível e que menos área fabril seria ocupada.

Assim, como pode ser observado na Figura 47, o layout proposto ocuparia apenas uma área de aproximadamente 240 metros quadrados, face aos 340 metros quadrados atualmente ocupados, o que facilita a eficiente realização dos setup's por parte do operador, bem como uma maior área disponível para, eventualmente, ser ocupada com mais equipamentos e contribuir para um processo mais ágil e eficaz.

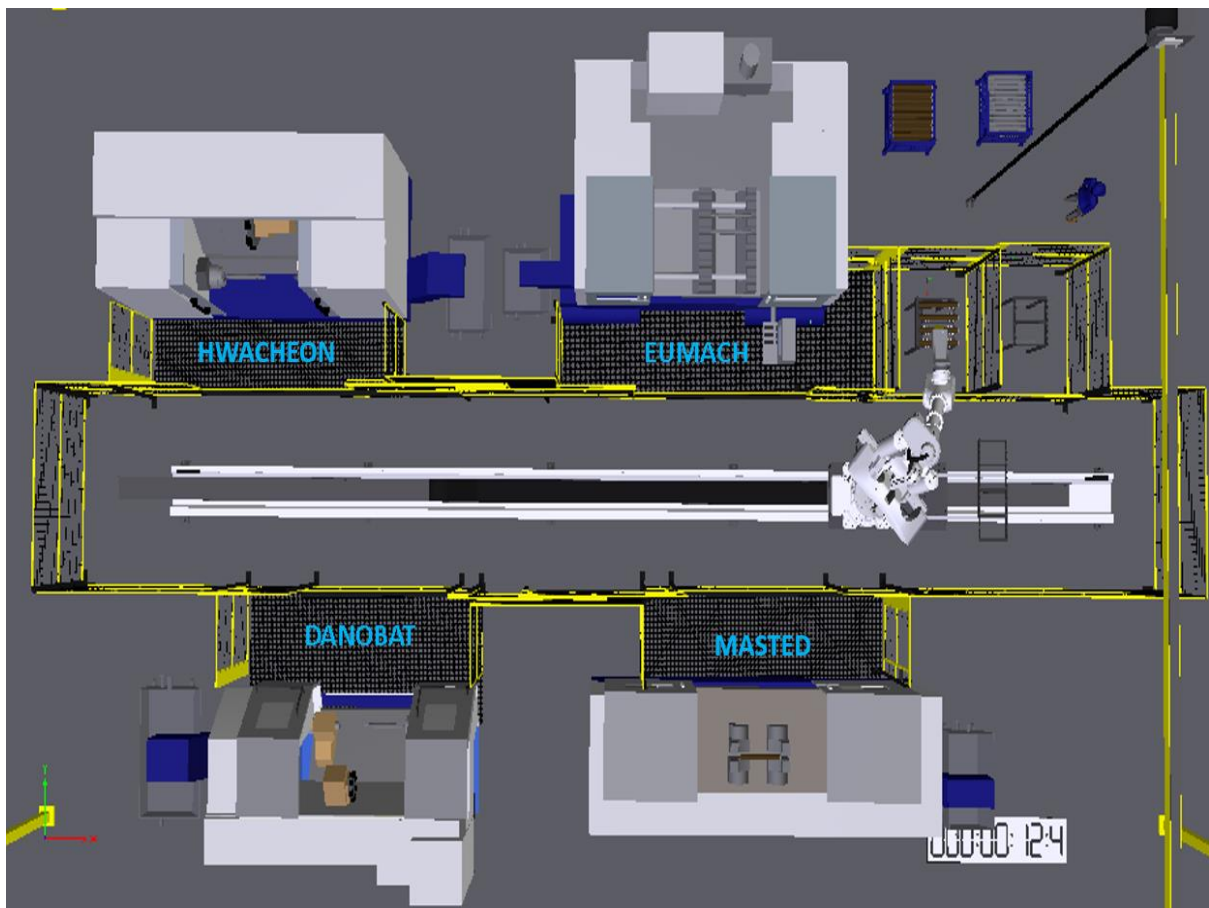


Figura 47 - Layout Célula Robotizada

Sintetizando o funcionamento da célula, bem como a sua interação com as máquinas e com o operador, esta vai se deslocar através da plataforma de movimento linear elétrica que a está a suportar, realizando apenas movimentos horizontais, no centro das quatro máquinas que serão abastecidas.

O fluxo produtivo iniciará na Masted. Sendo que para isso, a célula vai ter de recolher os barões de aço em bruto no único buffer de entrada de materiais de toda a linha. Ressalvando que vai ser o AGV que estará igualmente encarregue por essa função de abastecimento inicial da linha.

No instante em que a célula irá recolher os materiais ao buffer, ela já tem a instrução de qual é o número do material associado à OP, bem como as respectivas quantidades e todos os tempos de ciclo e de setup que estão planejados. Todos os dados fornecidos à célula, associados aos diferentes tipos de materiais, vão permitir à mesma saber quais os ajustes que serão necessários efetuar na “garra” (representado na Figura 58, no Apêndice 6), que recolhe os veios, em termos de comprimentos. Após uma unidade do barão de aço ser recolhido, a célula vai armazená-lo no buffer (representado na Figura 59, no Apêndice 6), que vai estar incondicionalmente unido a ela e, posteriormente, vai introduzi-lo na máquina, quando a primeira parte do setup estiver concluída. Após isto, paralelamente à operação de facejamento e furos, o operador fica encarregue de realizar a primeira parte do setup, no seguinte equipamento, que será a Danobat. Não obstante se verifique a necessidade de aguardar pelo fim da operação do material anterior que já está a ser maquinado. Em simultâneo, a célula vai se dirigir para a Danobat, recolhendo o material anterior que acaba de ser produzido, para que o operador fique possibilitado de realizar o primeiro setup. De seguida, a célula desloca-se até à Hwacheon para, de igual modo, retirar o material anterior que acaba de ser produzido. Após isso, o operador realizará o primeiro setup (representado na Figura 60, no Apêndice 6).

Já com 2 veios torneados no seu buffer, a célula dirige-se para a Eumach, retirando os 2 veios do material anteriormente produzido e colocando mais 2 veios, ainda do material anterior. Posteriormente, a célula vai primeiramente ao buffer de não conformidades para colocar os veios retirados e, vai novamente ao buffer de entrada, para recolher mais 1 veio, para que este seja colocado na Masted. Porém, antes de este ser introduzido, a célula terá de priorizar o torno que está pronto para receber o novo material. Deste modo, a célula vai retirar o veio faceado e com furos da Masted e vai dirigir-se à Danobat para a abastecer. Retornando imediatamente à Masted para, agora sim, colocar mais um veio a facear e furar. Paralelamente a isto, com o veio já introduzido na Danobat, o operador vai dar início ao segundo setup e iniciar a fase de “teste”.

Após isto, a célula vai retornar para a Eumach e vai retirar os últimos 2 veios do material anterior. Colocando os, de seguida, no buffer de não conformidades e retirando mais 1 veio do buffer de entrada, para que, este seja colocado na Masted, após retirar o veio produzido e transportá-lo para a Hwacheon, que esteve a aguardar a célula para receber 1 veio.

Sincronicamente o operador vai realizar o segundo setup no segundo torno e, iniciar a fase de “teste”. O que vai dar tempo ao mesmo para ir ao buffer de não conformidades medir e inspecionar os veios do material anterior e, caso se verifique alguma irregularidade, posteriormente, os veios terão de ser novamente inseridos na linha produtiva. No caso de os veios estarem dentro das conformidades, vão passar para o buffer de saída. Para além da medição, o operador tem tempo para realizar o primeiro setup na Eumach e, ainda, retornar á Danobat para realizar o terceiro setup, após o fim da “fase de teste”, iniciando o torneamento. Subsequentemente ao início do torneamento na Danobat, o operador vai-se deslocar á Hwacheon para realizar o terceiro setup e, de igual, iniciar o torneamento no segundo torno.

Posteriormente, a célula vai novamente ao buffer de entrada de materiais para, desta vez, recolher a totalidade de quantidade disponível de barões de aço, uma vez que, ambos os tornos se encontram a toronar os veios, a Masted tem tempo para, simultaneamente, facear e furar os barões restantes e, a célula ainda vai estar um tempo considerável parada, a aguardar que ambos os tornos finalizem a maquinação.

Uma vez que os últimos materiais do atual lote estiverem faceados e furados, o operador vai iniciar o primeiro setup, para que um outro material possa entrar na linha produtiva e na Masted. De seguida, o operador vai se dirigir á Eumach, a onde vai aguardar que os veios provenientes dos tornos, sejam colocados, pela célula robotizada, para que seja realizado o segundo e terceiro setup e, inicie o escatelamento.

Finalizado o torneamento em ambos os equipamentos, a célula vai retirar os veios torneados e colocar mais dois veios para toronar. Seguindo a rota para a Eumach e, abastecendo-a com os 2 veios torneados.

Após o início do escatelamento, o operador vai voltar a dirigir-se á Danobat e Hwacheon, respetivamente, aguardando o final do torneamento de ambas, para que inicie, novamente, o primeiro setup. Enquanto isso, a célula vai retornar ao buffer de entrada para recolher 1 veio de um novo material e colocá-lo na Masted a maquinar. Momento este em que o torneamento da Danobat estará realizado e, a célula vai ter possibilidade de retirar o veio torneado da mesma. Deslocando-se posteriormente para a Hwacheon e, aguardando que o veio termine a operação de torneamento.

Concretizado o torneamento da Hwacheon, o operador poderá realizar, novamente, o primeiro setup no torno, regressando novamente para a Danobat e, aguardando a colocação do novo material, para realizar o segundo setup.

Finalmente, a célula robotizada vai abastecer a Eumach com os dois últimos veios do atual lote do material, para que seguidamente e, paralelamente, desloque-se ao buffer de entrada, retire mais 1 veio e coloque a facear e a furar. Finalizando, deste modo, aquele que é um fluxo contínuo.

Os pressupostos inerentes à célula, embora sejam maioritariamente standardizados, vão estar sempre dependentes de fatores como o tempo de ciclo e o tempo de setup de cada um dos produtos que vão ser produzidos na linha. Ou seja, esta descrição teve apenas como objetivo explicar qual é a sequência de processos que seria a ideal. Porém, as ineficiências observadas, nos momentos em que a máquina estiver parada à espera da célula ou do operador, respetivamente, não terão sempre o mesmo impacto. Para além de que, o fator das manutenções e do retrabalho não estar a ser considerado na simulação, sendo que é algo imprevisível e que apenas poderão ser tomadas em consideração as manutenções e retrabalho que já ocorreram e estão registadas.

5.2 Atualização dos Tempos de Ciclo

Com a simulação da implementação da célula robotizada, adveio a substituição de determinadas tarefas associadas ao processo, que atualmente são efetuadas através de mão humana. Para além das tarefas que obrigatoriamente teriam de deixar de existir, como é o caso da colocação e remoção do material da máquina, através de um íman suportado pela ponte rolante, realizada pelo operador, outras tarefas vão ser substituídas por intervenção robótica, de modo que o operador evite deslocamentos excessivos, o que se traduziria em maiores paragens das máquinas. Tarefas como dar início à maquinação através do controlador, a abertura e fecho das portas das máquinas, a fixação dos veios, a aproximação da mesa que contém os veios na Eumach, a utilização do ar comprimido nos veios e, a medição dos veios, não necessitam necessariamente de intervenção de mão humana, no entanto, são tarefas que não vão impactar na redução do tempo de ciclo. Por último, a última medição dos veios realizada na Eumach, passará a ser efetuada em paralelo com o funcionamento do equipamento, sendo que, os veios vão ser medidos no buffer de não conformidades, por forma a libertar espaço do equipamento o mais rapidamente possível.

De seguida, na Tabela 13, são evidenciadas as atualizações que as tarefas que compõem os tempos de ciclo, associados aos materiais SS de todos os equipamentos, sofreram, comparativamente às tarefas que atualmente estão sequenciadas.

Tabela 13 - Atualização Atividades Tempos de Ciclo

Tempos de Ciclo Veios SS (min)				Tempos de Ciclo Atualizados Veios SS (min)			
Tarefas	Operações			Tarefas	Operações		
	Facear e Furar	Tornear	Escatelar (1uni)		Facear e Furar	Tornear	Escatelar (1uni)
Alcançar Íman e colocar veio dentro da máquina	0,71	0,78	0,61	Célula agarra no veio do seu buffer e coloca na máquina	0,26	0,42	0,24
Afastar ponte e fechar porta	0,36	0,38		Fechar Porta Automaticamente	0,36	0,38	
Fixar Veio e Fechar Porta			0,41	Fixar Veio e Fechar Porta Automaticamente			0,41
10557685	3,87	8,71	0,83	10557685	3,87	8,71	0,83
11005019	3,93	14,43	1,36	11005019	3,93	14,43	1,36
11041254	3,81	29,32	2,65	11041254	3,81	29,32	2,65
10878279	4,20	9,81	1,37	10878279	4,20	9,81	1,37
11110739	4,10	18,26	1,87	11110739	4,10	18,26	1,87
10109418	3,88	32,01	1,39	10109418	3,88	32,01	1,39
11048072	4,13	19,19	1,80	11048072	4,13	19,19	1,80
12041538	4,08	10,28	1,02	12041538	4,08	10,28	1,02
10916221	3,73	8,65	0,91	10916221	3,73	8,65	0,91
10945043	4,03	10,04	1,32	10945043	4,03	10,04	1,32
11121350	4,07	10,19	1,56	11121350	4,07	10,19	1,56
11175213	3,68	8,60	0,88	11175213	3,68	5,71	0,88
11123782	3,83	14,03	1,30	11123782	3,83	14,03	1,30
12345971	4,01	27,44	1,18	12345971	4,01	27,44	1,18
11109852	4,09	10,64	1,33	11109852	4,09	10,64	1,33
10130104	3,87	9,47	1,06	10130104	3,87	9,47	1,06
Aproximar mesa			0,22	Mesa Aproxima-se Automaticamente			0,22
Abrir porta e utilizar ar comprimido	0,46	0,71	0,36	A porta é aberta e o ar comprimido é utilizado automaticamente	0,46	0,71	0,36
Alcançar Íman e retirar veio	0,59	0,86	0,63	Célula retira veio da máquina e coloca no seu buffer	0,26	0,42	0,24
Medir Veios		1,80	0,33	Medir Veios		1,80	

Assinaladas a azul estão as tarefas que sofreram atualizações nos seus tempos comparativamente ao estado atual. Resultante da soma entre as operações dedicadas á usinagem e as restantes atividades é calculado o tempo de ciclo final atualizado de todos os materiais SS, bem como o tempo de ciclo médio atualizado. Possibilitando a respetiva verificação na Tabela 14, abaixo inserida.

Tabela 14 - Tempos de Ciclo Atualizados

Tempos de Ciclo Atualizados Veios SS (min)			
Nº Material	Operações		
	Facear e Furar	Tornear	Escatelar (1uni)
10557685	5,21	12,44	2,3
11005019	5,27	18,16	2,83
11041254	5,15	33,05	4,12
10878279	5,54	13,54	2,84
11110739	5,44	21,99	3,34
10109418	5,22	35,74	2,86
11048072	5,47	22,92	3,27
12041538	5,42	14,01	2,49
10916221	5,07	12,38	2,38
10945043	5,37	13,77	2,79
11121350	5,41	13,92	3,03
11175213	5,02	9,44	2,35
11123782	5,17	17,76	2,77
12345971	5,35	31,17	2,65
11109852	5,43	14,37	2,8
10130104	5,21	13,2	2,53
(...)	(...)	(...)	(...)
Tempo de Ciclo Médio	5,24 min	26,80 min	2,65 min

Conseguimos concluir, através da análise da tabela, que os tempos de ciclo tiveram reduções significativas. O que por si só, já vai resultar numa melhoria de produtividade. É importante enfatizar o facto de que, nesta simulação, os tempos de ciclo de ambos os tornos foram considerados os mesmos, já que os materiais que vão entrar sequencialmente na linha produtiva serão sempre iguais.

5.3 Standard Work

Neste subcapítulo vão ser abordadas as estratégias que foram delineadas no que diz respeito aos deslocamentos que vão ser realizados pelo operador e pela célula robotizada, por forma a definir qual é a melhor rota standardizada, tendo em consideração a prioridade que é atribuída ao abastecimento dos tornos. Em contrapartida, assumindo um cenário em que as rotas standardizadas não vão ser respeitadas, vai ser fulcral analisar quais os impactos que a linha e os equipamentos vão incorrer, no que respeita às suas ineficiências.

5.3.1 Deslocações efetuadas pela célula robotizada e pelo operador

Este subcapítulo tem como objetivo quantificar a totalidade de metros por minuto percorridos pelo operador e pela célula, respetivamente. Para isso, foi assumida a sequência de atividades standardizada, bem como as distâncias a que as quatro máquinas estariam umas das outras, tendo em conta o comprimento da plataforma de movimento linear, que suporta a célula robotizada, divulgado pelo fabricante.

A velocidade de deslocação da célula robotizada, representada no software de simulação industrial, está projetada para a escala real, sendo possível contabilizar a quantidade de tempo que a célula robotizada demoraria a se deslocar em todos os possíveis trajetos.

Referentemente à velocidade de deslocação efetuada pelo operador, foi utilizada a tabela de velocidade média, que dita o tempo necessário que uma pessoa normal necessita para percorrer determinada distância, a um ritmo normal, com base numa velocidade média predefinida.

É ilustrado na Figura 48, todas as distâncias e tempos associados, que são efetuadas pelo operador e pela célula robotizada. Considerando as quantidades de lote de 4, 8 e 12 unidades, uma vez que foram as quantidades comumente produzidas, associadas aos diversos materiais, no ano de 2022.

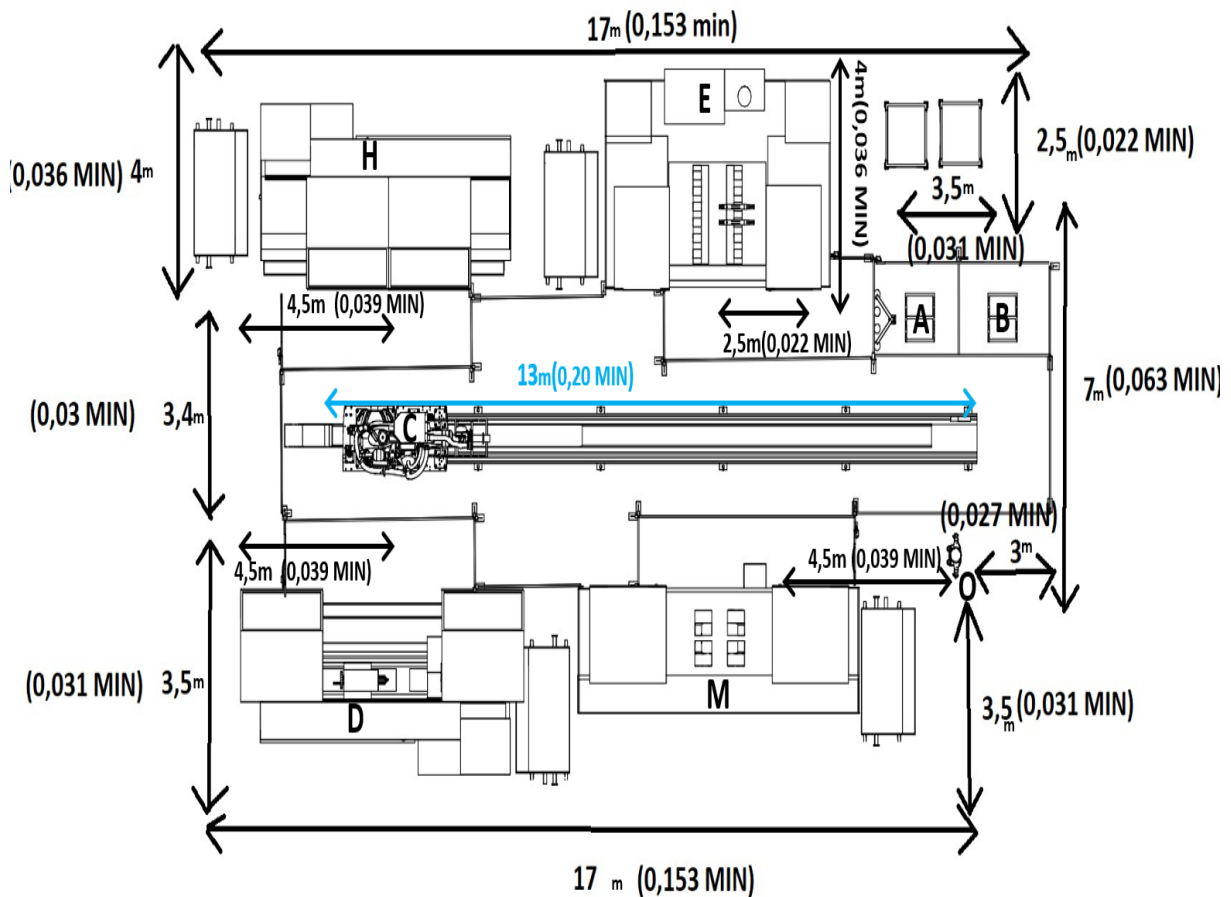


Figura 48 - Deslocações efetuadas pela célula robotizada e pelo operador

Como é possível constatar no layout, a velocidade média de deslocação da célula corresponde a 13 metros (comprimento da plataforma de movimento linear elétrica) em 0,20 min, deslocando-se mais lentamente comparativamente ao operador que percorre 13 metros em 0,12 min.

Considerando o facto de que a célula quando se desloca ao ponto A, representado pelo buffer de entrada e saída de materiais, vai ter um acréscimo significativo de tempo, devido á carga de material. Sendo que esse tempo ainda não está incluído nos 0,20 min.

Um fator que foi considerado na elaboração da simulação, foi a influência que o peso dos veios no buffer da célula teria na sua velocidade, sendo que, por forma a evitar a redução da velocidade da célula, foi considerado um stock máximo de 4 unidades no buffer da célula.

De seguida, são apresentadas nas tabelas seguintes, todas as rotas que vão ser cumpridas pelo operador e pela célula, respetivamente.

Uma vez que as rotas estão dependentes das quantidades produzidas, dos tempos de ciclo e dos tempos setup do mix produtivo, foram assumidos os tempos de ciclo após a substituição de tarefas e os tempos

de setup, dos materiais produzidos em 2022. O que permitiu concluir, através do software de simulação, qual foi a rota mais utilizada, bem como as quantidades por lote que mais foram produzidas, sendo 4 unidades. Representando, deste modo, como demonstrado na Tabela 15, todos os deslocamentos que serão efetuados no standard do processo produtivo.

Tabela 15 - Sequência de Operações Standardizada

Sequência de Operações Standardizada					
Deslocações Operador	Distância (metros)	Tempo (min)	Deslocações Célula Robotizada	Distância (metros)	Tempo (min)
1ºDanobat	33,00	0,28	1ºBuffer Entrada (A)	3,25	0,05
2ºHwacheon	33,00	0,12	2ºMasted	3,25	0,05
3ºDanobat	14,14	0,12	3ºDanobat	8,45	0,13
4ºHwacheon	14,14	0,12	4ºHwacheon	6,50	0,10
5ºBuffer Não Conformidades (B)	14,14	0,28	5ºEumach	8,45	0,13
6ºEumach	33,00	0,06	6ºBuffer Entrada (A)/Buffer Não Conformidades(B)	3,25	0,05
7ºDanobat	7,07	0,27	7ºMasted	3,25	0,05
8ºHwacheon	31,82	0,12	8ºDanobat	8,45	0,13
9ºMasted	14,14	0,32	9ºMasted	8,45	0,13
10ºEumach	37,71	0,20	10ºEumach	3,25	0,05
11ºDanobat	23,57	0,27	11ºBuffer Entrada (A)/Buffer Não Conformidades(B)	3,25	0,05
12ºHwacheon	31,82	0,12	12ºMasted	3,25	0,05
13ºDanobat	14,14	0,12	13ºHwacheon	11,70	0,18
14ºHwacheon	14,14	0,12	14ºMasted	11,7	0,18
			15ºBuffer Entrada	3,25	0,05
			16ºMasted	3,25	0,05
			17ºDanobat	8,45	0,13
			18ºHwacheon	6,5	0,10
			19ºEumach	8,45	0,13
			20ºBuffer Entrada	3,25	0,05
			21ºMasted	3,25	0,05
			22ºEumach	3,25	0,05
			23ºBuffer Entrada	3,25	0,05
			24ºMasted	3,25	0,05
			25ºDanobat	8,45	0,13
			26ºHwacheon	6,5	0,10
			27ºEumach	8,45	0,13
			28ºBuffer Entrada	3,25	0,05
			29ºMasted	3,25	0,05
Totais	315,83 metros	2,24 min	Totais	162,50 metros	2,45 min

5.3.2 Cenário com maior incidência de ineficiências

O presente subcapítulo teve como intuito demonstrar as diferentes rotas que o operador e a célula ficam sujeitos a percorrer, em comparação com o standard apresentado anteriormente, quando o material com menor tempo de ciclo a tornejar será o próximo a ser produzido. Para além disso, a quantidade de Paragens não planeadas provenientes de situações em que as máquinas necessitam de esperar pelo

operador ou célula, também vão inevitavelmente sofrer um aumento. Uma vez que, nenhum dos dois intervenientes vão conseguir realizar a totalidade das suas tarefas em simultâneo com o funcionamento das máquinas, resultando no aguardo das mesmas.

De modo a esta análise ser consumada, foi elaborado um diagrama de Gantt, que pode ser verificado na Figura 49 abaixo situada, com o objetivo de classificar e quantificar todos os momentos, associados ao operador, célula robotizada e equipamentos, pertencentes a um ciclo produtivo que é contínuo. Porém, foram apenas considerados, na simulação, a transição do material 11326384 para o material com menor tempo de ciclo, o 11175213. Representando este momento do historial de produção, na simulação industrial, com os novos pressupostos.

Diagrama de Gantt para o Pior Cenário (Material 11175213 225S/M 4P W22)											
Operador	Min	Célula	Min	Masted	Min	Danobat	Min	Hwacheon	Min	Eumach	Min
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
Paragem	0,6 (Inc)	Retirar 1 Veio A	0,05	Paragem (Aguardar C)	0,33 (Inc)	Tornear+ (Tarefas automáticas)	5,23 (Inc)	Tornear+ (Tarefas automáticas)	5,65 (Inc)	Escatelar	3,32 (Inc)
	1,1	Colocar 1 Veio M	0,27		0,27						
D	0,28	Paragem	4,5	Facear e Furar + (Tarefas automáticas)	4,5	Sair 1 Veio	0,42	Paragem(Aguardar C)	0,1	Paragem(Aguardar C)	2,98
Paragem	3,25	Retirar 1 Veio H	0,1								
Paragem	0,42	Retirar 1 Veio E	0,42	Paragem (Aguardar C)	1,91	1º Setup	1,78	Paragem(Aguardar C)	0,42	Retirar 2 Veios	0,53
1º Setup	1,78	Colocar 2 Veios	0,53								
H	0,12	A/B	0,05	Paragem (Aguardar C)	0,67	Entrar 1 Veio	0,41	Paragem(Aguardar O)	0,53	Escatelar	3,32
1º Setup	1,78	Colocar 2 Veios	0,4								
1º Setup	1,78	Retirar 1 Veio M	0,05	Facear e Furar+ (Tarefas automáticas)	4,5	Sair 1 Veio	0,27	Fase "Teste"	2,15	Paragem(Aguardar O)	13,66
D	0,12	Colocar 1 Veio D	0,13								
2ºSetup	2,01	Colocar 1 Veio E	0,05	Paragem (Aguardar C)	0,62	Entrar 1 Veio	0,41	Paragem(Aguardar O)	0,41	Paragem(Aguardar O)	13,66
2ºSetup	2,01	Paragem	1,31								
Espera Fase "Teste"	2,15	Retirar 2 Veios A/B	0,53	Facear e Furar+ (Tarefas automáticas)	4,5	Fase "Teste"	2,15	Paragem(Aguardar C)	4,79	Paragem(Aguardar O)	13,66
		Colocar 2 Veios	0,4								
3ºSetup	2,93	Retirar 1 Veio M	0,05	Facear e Furar+ (Tarefas automáticas)	4,5	3ºSetup	2,93	Paragem(Aguardar O)	3	Paragem(Aguardar O)	13,66
H	0,12	Colocar 1 Veio M	0,18								
Paragem	2,13	Colocar 1 Veio M	0,18	Paragem (Aguardar C)	0,62	Entrar 1 Veio	0,27	Paragem(Aguardar O)	0,41	Paragem(Aguardar O)	13,66
2ºSetup	2,01	Colocar 1 Veio M	0,18								
B	0,28	Colocar 1 Veio A	0,05	Paragem (Aguardar C)	0,62	Entrar 1 Veio	0,27	Paragem(Aguardar O)	0,41	Paragem(Aguardar O)	13,66
Medir 4 veios	0,33	Retirar 1 Veio M	0,05								
H	0,28	Paragem	4,15	Facear e Furar+ (Tarefas automáticas)	4,5	Tornear + (Tarefas automáticas)	8,6	Paragem(Aguardar O)	3	Paragem(Aguardar O)	13,66
3ºSetup	2,93	Retirar 1 Veio D	0,13								
E	0,25	Colocar 1 Veio D	0,13	Facear e Furar+ (Tarefas automáticas)	4,5	Tornear + (Tarefas automáticas)	8,6	Paragem(Aguardar O)	3	Paragem(Aguardar O)	13,66
1º Setup	2,23	Paragem	5,14								
1º Setup	2,23	Retirar 1 Veio M	0,13	Paragem (Aguardar C)	1,72	Sair 1 Veio	0,41	Tornear + (Tarefas automáticas)	8,6	Paragem(Aguardar O)	13,66
Paragem	0,27	Colocar 1 Veio A	0,05								
2º Setup p/1Veio	0,4	Colocar 1 Veio A	0,05	Paragem (Aguardar O)	1,71	Entrar 1 Veio	0,41	Tornear + (Tarefas automáticas)	8,6	Paragem(Aguardar O)	13,66
M	0,2	Retirar 1 Veio M	0,25								
1º Setup	1,58	Paragem	1,4	Paragem (Aguardar O)	1,71	1º Setup	1,58	Tornear+ (Tarefas automáticas)	8,6	Paragem(Aguardar C)	5,87
Paragem	0,27	Colocar 1 Veio M	0,05								
2º Setup	1,1	Colocar 1 Veio H	0,13	Paragem (Aguardar O)	1,71	2º Setup	1,1	Tornear+ (Tarefas automáticas)	8,6	Paragem(Aguardar C)	5,87
E	0,2	Paragem	3,17								
Paragem	2,52	Retirar 1 Veio E	0,41	Facear e Furar+ (Tarefas automáticas)	4,35	Sair 1 Veio	0,41	Paragem(Aguardar C)	0,01	Paragem(Aguardar C)	5,87
Paragem	2,52	Colocar 1 Veio E	0,41								
Paragem	0,27	Colocar 1 Veio D	0,13	Facear e Furar+ (Tarefas automáticas)	4,35	Entrar 1 Veio	0,41	Paragem(Aguardar C)	0,01	Paragem(Aguardar C)	5,87
2º Setup p/1Veio	0,4	Retirar 1 Veio D	0,13								
3º Setup p/2 Veios	1,01	Retirar 1 Veio A	0,15	Facear e Furar+ (Tarefas automáticas)	4,35	Sair 1 Veio	0,41	Paragem(Aguardar O)	0,61	Paragem(Aguardar C)	5,87
D	0,27	Colocar 1 Veio A	0,15								
1º Setup	1,78	Retirar 1 Veio M	0,05	Paragem (Aguardar C)	0,06	1º Setup	1,78	Tornear + (Tarefas automáticas)	8,6	Paragem(Aguardar C)	5,87
1º Setup	1,78	Colocar 1 Veio M	0,05								
Paragem	0,41	Colocar 1 Veio D	0,13	Facear e Furar+ (Tarefas automáticas)	4,35	Entrar 1 Veio	0,41	Tornear + (Tarefas automáticas)	8,6	Paragem(Aguardar C)	5,87
2º Setup	2,01	Retirar 1 Veio D	0,13								
H	0,12	Retirar 2 Veios A/B	0,05	Facear e Furar+ (Tarefas automáticas)	4,35	2º Setup	2,01	Tornear + (Tarefas automáticas)	8,6	Paragem(Aguardar C)	5,87
Paragem	2,73	Colocar 2 Veios	0,5								
Paragem	2,73	Retirar 1 Veio M	0,05	Facear e Furar+ (Tarefas automáticas)	4,35	Fase "Teste"	2,15	Tornear + (Tarefas automáticas)	8,6	Paragem(Aguardar C)	5,87
Paragem	2,73	Paragem	0,76								
Paragem	0,41	Retirar 1 Veio H	0,13	Facear e Furar+ (Tarefas automáticas)	2,72 (Inc)	Sair 1 Veio	0,27	Paragem(Aguardar O)	1,64 (Inc)	Paragem(Aguardar C)	5,87
Paragem	0,41	Colocar 1 Veio H	0,13								
1º Setup	0,53 (Inc)	Colocar 1 Veio E	0,13	Facear e Furar+ (Tarefas automáticas)	2,72 (Inc)	1º Setup	0,53 (Inc)	Paragem(Aguardar O)	1,64 (Inc)	Paragem(Aguardar C)	5,87
1º Setup	0,53 (Inc)	Retirar 1 Veio H	0,13								
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)

Figura 49 - Diagrama de Gantt do cenário com maior incidência de ineficiências

Analisando os momentos evidenciados no diagrama, é possível constatar que as rotas efetuadas pelo operador e pela célula robotizada sofreram alterações face ao standard. Fruto das prioridades que tiveram de ser atribuídas aos equipamentos cruciais na linha, ou seja, os tornos.

Exemplificando e justificando alguns desses momentos, temos a seguinte alteração na rota do operador:

Após a deslocação do operador ao buffer de não conformidades, este vai se dirigir primeiramente á Hwacheon, uma vez que a duração da “fase de teste”, após a realização do 2ºSetup, não é suficiente para efetuar o 1º setup na Eumach. O que vai desencadear uma trajetória completamente diferente no tempo restante para terminar a produção dos materiais.

Por outro lado, alguns dos momentos em que foram observadas mudanças de trajetórias por parte da célula robotizada foram:

A movimentação por parte da célula robotizada desde a Masted até á Danobat e, consecutivamente, o regresso á Masted para retirar o barão de aço faceado e com furos. O que motivou esta mudança de trajetória foi o facto de que no standard, visto o torneamento demorar mais tempo a ser realizado, a célula conseguir recolher 2 veios provenientes da Masted para abastecer ambos os tornos sequencialmente. Enquanto neste caso, a célula apenas vai conseguir recolher 1 veio da Masted, o que vai resultar com que seja efetuada uma nova rota.

Em seguida, é permitido verificar na Tabela 16, os dados finais do diagrama de Gantt, possibilitando uma análise mais sucinta do impacto que as Paragens Não Planeadas tiveram, principalmente nas máquinas.

Tabela 16 - Resultados Diagrama de Gantt

Resumo	Operador	Célula	Masted	Danobat	Hwacheon	Eumach
Tempo a Operar (min)	25,91	14,32	7,29	18,92	11,46	6,58
Tempo a Maquinar (min)	-	-	28,82	22,43	22,85	9,05
Tempo a Deslocar (min)	2,24	3,13	-	-	-	-
Tempo de Paragens Não Planeadas (min)	15,43	26,13	7,47	2,23	9,27	27,29
Tempo Total (min)	43,58	43,58	43,58	43,58	43,58	43,58
Utilização (%)	65%	40%	83%	95%	79%	37%

5.4 OEE Estimado

Uma vez terminada a simulação industrial, é necessário apurar quais foram a totalidade de horas correspondentes a Paragens Não Planeadas. Permitindo comparar esse tempo com o registo de eventos mencionados anteriormente e que são os únicos eventos que têm a possibilidade de sofrer alterações com a implementação da célula robotizada. Todos os restantes eventos pertencentes à lista de Paragens Não Planeadas não vão sofrer nenhuma alteração, que, pelo menos, seja possível de quantificar e estipular num software de simulação. Logo, será assumido o pressuposto de que todos os minutos associadas a Paragens Planeadas e Não Planeadas vão ser as mesmas do ano de 2022, exceto os eventos anteriormente referidos.

Neste sentido, encontra-se na Tabela 17, abaixo mencionada, os resultados da simulação industrial, considerando o historial de produção do ano de 2022.

Tabela 17 - Resultados após Simulação Industrial

Resumo	Operador	Célula	Masted	Hwacheon	Danobat	Eumach
Tempo a Operar (min)	51150,12	32282,91	5596,51	9744,92	9744,92	5406,58
Tempo a Maquinar (min)	-	-	58315,32	128627,05	128627,05	34812,01
Tempo a Deslocar (min)	3936,42	5932,38	-	-	-	-
Tempo de Paragens (min)	85859,34	102730,59	77034,05	2573,91	2573,91	100727,29
Tempo Total (min)	140945,88	140945,88	140945,88	140945,88	140945,88	140945,88
Utilização (%)	39%	27%	45%	98%	98%	29%

Através da comparação entre os resultados do final da simulação e dos resultados do cenário com maior incidência de paragens, é notório uma diminuição na utilização do operador e da célula robotizada. Este indicador demonstra que estes dois intervenientes estiveram 61% e 73% do tempo parados, o que se traduz num acréscimo do tempo que as máquinas estiveram a maquinar, face ao pior cenário, uma vez que, as paragens do operador e da célula, respetivamente, refletem a capacidade que ambos tiveram para realizarem o maior número de tarefas paralelamente ao funcionamento dos equipamentos.

A percentagem correspondente à Masted e à Eumach não corresponde à totalidade de paragens que foram efetuadas devido a aguardo do operador ou da célula, uma vez que em grande parte das paragens registadas, ambas as máquinas estiveram paradas devido a falta de material, ou seja, não era expectável que ambos os equipamentos produzissem mais quantidade comparativamente ao que produziram em

2022. Originando paragens por falta de stock. Stock esse que não foi considerado no decorrer da simulação.

Por outro lado, nos tornos, sendo estes o gargalo e os equipamentos que ditam a produtividade da linha, não se verificava falta de stock em nenhum momento, sendo que, as Paragens registadas pelo contador da simulação são Paragens Não Planeadas, devido ao aguardo do operador ou da célula robotizada.

Uma vez que a Masted e a Eumach são os equipamentos que antecedem e procedem, respetivamente, os tornos e, sendo que não foram apurados dados conclusivos de análise acerca de ambos, estes não vão ser alvo de estudo e não serão estimados os seus respetivos OEE's.

Tendo isto presente e, considerando a maior relevância que a estimativa do OEE dos tornos representa para a linha produtiva. A comparação da incidência de Paragens Não Planeadas entre o cenário atual e o cenário após implementação da célula robotizada será realizada apenas entre os resultados provenientes dos tornos. Como é evidenciado na seguinte tabela.

Tabela 18 - Alterações no OEE do Bottleneck

Paragens Não Planeadas (min)	Danobat	Hwacheon
Aguardando Operações Anteriores (min)	4964,92	521,12
Carga e Descarga de Materiais (min)	2932,12	616,05
Totais (min)	7897,04	1137,17
OEE (%)	68,41%	75,66%



Paragens Não Planeadas (min)	Danobat	Hwacheon
Aguardando Operador/ Célula (min)	2173,91 ↓	2173,91 ↑
OEE (%)	71,67% ↑	75,14% ↓

Conforme a evidência na tabela, o OEE da Danobat aumentou 3,26%. Um valor considerável que se deveu à diminuição de 7897,04 minutos de Paragens Não Planeadas para 2173,91 minutos, assumindo uma estimativa anual. Consequentemente, o Índice de Disponibilidade aumentou em igual proporção e, o Índice de Eficiência e Índice de Qualidade permaneceram iguais aos do ano de 2022, resultando no aumento de OEE referido.

Já no que concerne à Hwacheon, esta sofreu um aumento pouco significativo no número de minutos associados a Paragens Não Planeadas, porém, não impactou o suficiente o Índice de Disponibilidade e,

o Índice de Eficiência e Índice de Qualidade também permaneceram iguais aos do ano de 2022, resultando numa diminuição do OEE em 0,52%.

Em cômputo geral, as alterações dos OEE 's resultaram num aumento, abrangendo os dois turnos, de 2,74%, o que já é considerado uma mais-valia para a empresa.

Futuramente será necessário modificar os nomes dos eventos das Paragens Não Planeadas, sendo que o evento “Carga e Descarga de Materiais”, o evento “Aguardar Operações Anteriores” e o evento “Aguardar Próximas Operações” serão eliminados e, em contrapartida, será adicionado o evento “Aguardando Operador/Célula”. A justificação para o sucedido prende-se com o facto de os eventos do estado atual não representarem o verdadeiro motivo da Paragem dos equipamentos, uma vez que, o primeiro evento, não será mais realizado, sendo que o abastecimento dos buffer 's de cada equipamento por parte do operador deixará de ser realizado. Relativamente aos eventos relacionados com o aguardo de anteriores ou próximas operações, estes vão pertencer ao novo evento criado, uma vez que todos os momentos em que uma operação estiver a aguardar outra, será devido á célula robotizada, ao operador, ou ao PCP que planeou a paragem previamente.

Embora o turno Hwacheon não tenha registado um grande tempo de Paragens associadas a “Carga e Descarga de Materiais” e de “Aguardar Operações Anteriores”, apenas estes podiam ser comparados com o evento do estado futuro. Todos os restantes eventos que foram mais impactantes neste e, nos restantes equipamentos, não foi possível estimar nenhuma alteração.

5.5 Produtividade

Para além do aumento dos níveis do OEE dos equipamentos, mencionados anteriormente, inerentes á implementação da célula, o indicador que vai servir o propósito de estimar as principais vantagens do projeto será o indicador de produtividade. Sendo este um resultado direto da interação entre o número de operadores, os tempos de ciclo e a eficiência global dos equipamentos (OEE). Tendo presente que o número de operadores e os tempos de ciclo dos turnos também sofreram alterações significativas. Neste sentido, vão ser calculadas nas seguintes equações, primeiramente, a capacidade de ambos os turnos considerando os novos tempos de ciclo, para que, posteriormente, seja igualmente estimado o acréscimo do número de veios produzidos na linha produtiva face ao estado atual, bem como a produtividade estimada relacionando o número de veios produzidos por operador, considerando 1 dia de trabalho com 2 turnos.

$$\text{Capacidade} = \frac{460 \text{ min Trabalho Efetivo} \times 2 \text{ Turnos}}{26,80 \text{ min Tempo de Ciclo}}$$

$$\text{Capacidade} = 34,33 \text{ Veios}$$

Equação 4 - Capacidade Linha Produtiva Estado Futuro

$$\text{Produção Danobat c/ novo OEE} = 34,33 \text{ Veios} \times 71,67\% \text{ OEE} = 24,60 \text{ Veios}$$

Equação 5 - Unidades Estimadas Produzidas Danobat

$$\text{Produção Hwacheon c/ novo OEE} = 34,33 \text{ Veios} \times 75,24\% \text{ OEE} = 25,79 \text{ Veios}$$

Equação 6 - Unidades Estimadas Produzidas Hwacheon

$$\text{Produtividade da Linha p/ Operador} = \frac{50,39 \text{ Veios}}{(1 \text{ dia de Trabalho} \times 2 \text{ Operadores})}$$

$$\text{Produtividade da Linha p/ Operador} = 25,20 \text{ Veios p/Operador}$$

Equação 7 - Produtividade da Linha por Operador

Tendo presentes todos os indicadores que permitem comparar o estado atual com o estado futuro, é inserida abaixo a Tabela 19, sintetizando as melhorias estimadas após a implementação da célula robotizada.

Equipamento	Estado Atual		Estado Futuro Estimado	
	Danobat	Hwacheon	Danobat	Hwacheon
OEE	68,41%	75,66 %	71,67%	75,14%
Quantidade Diária Média Produzida	26,68 Uni	22,53 Uni	24,60 Uni	25,79 Uni
	49,37 Unidades		↑	50,39 Unidades
Número de Operadores por dia de Trabalho	6 Operadores		↓	2 Operadores
Produtividade da Linha por Operador	8,23 Uni/Operador		↑	25,20 Uni/Operador

Tabela 19 - Melhorias Estimadas Após Implementação da Célula

Assumindo no estado futuro estimado a quantidade de minutos correspondente a todos os eventos que ocorreram no ano de 2022, estes indicadores permitiam estimar que a linha produtiva seria capaz de produzir em média mais 1,02 veios diariamente comparativamente ao estado atual, considerando a redução de minutos de Paragens Não Planeadas dos eventos acima mencionados e a redução do tempo de ciclo dos tornos. Além disso, o número de operadores também sofreu uma redução significativa. Os 6 operadores que atualmente compõem a linha produtiva deixariam de ser necessários estar alocados a estes equipamentos e, podiam exercer novas funções dentro da empresa. No estado futuro estimado seria necessário apenas 1 operador por turno para ficar encarregue de todos os 4 equipamentos. Significando que com menos mão de obra a produtividade aumentaria.

6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo procede-se com a análise e discussão dos resultados obtidos após a simulação da implementação da célula robotizada. Tratando-se de uma proposta que efetivamente ainda não foi implementada, os resultados mencionados são de meramente empíricos, representando as expectativas e estimativas no momento da conceção do projeto.

São apresentados neste capítulo os resultados comparativos, analisando o estado inicial em relação ao estado após a simulação, focando no aumento da quantidade média diária produzida e considerando a redução do número de operadores. Com base nesses dados, posteriormente, os resultados serão traduzidos em ganhos financeiros anuais, considerando 234 dias úteis de trabalho. Para essa conversão, utilizaremos um custo de mão-de-obra de 16 € por hora/homem, o que corresponde à média em Portugal no ano de 2022, de acordo com os dados divulgados pela Eurostat (2023) e, será assumido um preço de venda médio por motor de 400 € e um custo médio de matéria-prima de 100 € no fabrico do motor, bem como um valor médio de custos fixos e variáveis de 500 € diários. Importa ressaltar que os dados reais da empresa foram mantidos em confidencialidade, sendo necessário o uso de valores de referência.

Através dos ganhos estimados num período anual, será aplicado o KPI financeiro do Retorno do Investimento (ROI) e do Payback, para perceber qual a rentabilidade do eventual investimento realizado e quanto tempo demoraria para este ser amortizado. Tendo em consideração os valores mencionados e o facto de, doravante, as análises serem realizadas sobre o produto final e não sobre os veios, sendo que o aumento do número de veios será teoricamente proporcional ao aumento do número de motores produzidos, uma vez que a linha produtiva é o bottleneck da empresa.

6.1 Aumento do OEE dos equipamentos da linha de veios

A simulação da implementação da célula robotizada na linha de veios permitiu, simultaneamente, aumentar a percentagem do OEE dos equipamentos que ditavam o tempo da linha e aumentar a quantidade diária média produzida. Resultando assim, tal como pode ser observado na tabela abaixo indicada, numa redução das Paragens Não Planeadas, abrangendo os 2 tornos na mesma análise. Advindo disso e, da redução do tempo de ciclo, um aumento de 1,02 veios na produção diária média.

Para avaliar o ganho anual com a simulação da implementação da proposta, foram analisados os dados relativos à produção da linha produtiva de veios em 2022, através dos quais, foi elaborada a Tabela 20, resumindo os ganhos percentuais e financeiros obtidos através da melhoria mencionada.

Tabela 20 - Ganhos Estimados no aumento da Quantidade Produzida

Melhorias	Antes	Estimado	Ganhos Estimados	
			Porcentagem	Financeiros
Redução Paragens Não Planeadas (min)	81013,87 min	76327,48 min	5,78%	-
Aumento Quantidade Média Produzida (Uni)	11257,00 Uni	11791,26 Uni	4,75%	160.784€/ano

Concluindo que o estado estimado comparativamente ao estado atual, representaria um acréscimo na quantidade produzida de 160.784 €/ ano.

6.2 Redução do número de Operadores

Adveio da simulação da implementação da célula robotizada a possibilidade de redução de 6 operadores para apenas 2 operadores em 2 turnos de trabalho. Originando uma enorme poupança em custos por mão de obra/h-H por ano, considerando 234 dias úteis. Podendo ser observado na Tabela 21, abaixo indicada, a significativa vantagem financeira que a empresa incorreria com a eventual redução de 4 colaboradores.

Tabela 21 - Ganhos estimados na redução do número de Operadores

Melhorias	Antes	Estimado	Ganhos Estimados	
			Porcentagem	Financeiros
Redução de Operadores na Linha Produtiva de Veios	6 Operadores	2 Operadores	66,66%	113.568,99€/ano

Concluindo que o estado estimado comparativamente ao estado atual, representaria um decréscimo no custo de mão de obra de 113.568,99 €/ ano.

6.3 Retorno do Investimento (ROI)

Um aspeto crucial na avaliação de projetos empresariais é a análise do Retorno do Investimento (ROI), que visa medir a eficiência e rentabilidade de um investimento. No contexto da WEG, essa avaliação torna-se particularmente relevante ao considerarmos a simulação da implementação da célula robotizada na linha de veios.

Com base nos dados referidos e calculados anteriormente, podemos estimar os ganhos financeiros anuais resultantes da melhoria, utilizando-os posteriormente para calcular o ROI, como é observado na equação inserida em baixo. Considerando o valor de investimento aproximado de 500.000 €, orçamentado pelo fornecedor da célula robotizada.

$$\text{ROI/Anual} = \frac{(\text{Lucros Obtidos} - \text{Investimento})}{\text{Investimento}} \times 100$$

$$\text{ROI/Anual} = \frac{(695.869,20\text{€} - 500.000\text{€})}{500.000\text{€}} \times 100$$

$$\text{ROI/Anual} = \mathbf{39,17\%}$$

Equação 8 - ROI Anual

Sabendo que a WEG tem procura e oferta para vender os 50,39 motores diários oriundos da melhoria proposta, isso resulta numa faturação de 4.716.504 €/ ano, considerando 234 dias úteis de trabalho. Subtraindo esse valor pelo custo de mão de obra anual de 95 operadores, estimados, a trabalhar diariamente 7,66 horas, pelos restantes custos fixos e variáveis anuais e pelo custo anual da matéria-prima, resultam os 695.869,20 € de lucro obtido. Aplicando a fórmula do ROI é estimado um retorno anual de 39,17% sobre o valor do investimento na célula robotizada.

Deste modo, aplicando o KPI do Payback, é possível afirmar que face a este cenário, o investimento de 500.000 € seria amortizado em:

$$\text{Payback mensal} = \frac{\text{Investimento Inicial}}{\text{Lucro Obtido}}$$

$$\text{Payback mensal} = \frac{500.000\text{€}}{65423,60\text{€}}$$

$$\text{Payback mensal} = \mathbf{7 \text{ meses e } 14 \text{ dias}}$$

Equação 9 - Payback Mensal

7. CONCLUSÃO

Neste capítulo final, apresentam-se as conclusões relativamente ao projeto em questão, analisando igualmente as principais adversidades enfrentadas ao longo do seu desenvolvimento. Além disso, são sugeridas algumas propostas para trabalhos futuros, com o objetivo de promover a melhoria contínua na empresa.

7.1 Considerações Finais

A realização deste projeto de dissertação foi conduzida em prol da melhoria contínua da WEG, uma empresa que se dedica essencialmente á produção de motores elétricos. O estudo teve como foco a linha produtiva de veios, localizada na unidade produtiva de Santo Tirso, exclusivamente, nos equipamentos denominados de Masted, Danobat, Hwacheon e Eumach.

Numa primeira instância, o projeto teve como principal foco a recolha e análise de dados, através de cronometragens realizadas no chão de fábrica e dados provenientes do WFSM. Tendo em conta esse objetivo, a primeira etapa consistiu em realizar uma análise abrangente do estado atual dos 4 equipamentos, com o intuito de compreender o processo produtivo. Posteriormente, foram identificadas ineficiências que estavam a prejudicar o desempenho da linha produtiva e que representavam oportunidades de melhoria. Entre as principais ineficiências identificadas, destacaram-se os tempos elevados de Paragens Não Planeadas das máquinas. A partir destas constatações, o projeto concentrou-se em desenvolver e analisar os dados recolhidos de uma simulação industrial, em que o propósito seria estimar as Paragens Não Planeadas que a Implementação de uma Célula Robotizada incorreria e, verificar se era possível eliminar ou reduzir esses desperdícios atualmente presentes, visando a otimização geral do processo de produção e a melhoria do Índice de Disponibilidade dos equipamentos considerados o bottleneck da linha produtiva. Para além desta vantagem, a diminuição do custo de mão de obra, a automatização e padronização do processo e o aumento da disponibilidade da área fabril também representavam enormes vantagens para a empresa.

Numa segunda fase e, atendendo á proposta de melhoria, foi possível estimar a redução que as Paragens Não Planeadas sofreriam e, conseqüentemente, o aumento do OEE, o aumento da quantidade produzida, bem como a redução na mão de obra. Neste sentido, os ganhos monetários estimados anualmente, associados a estas melhorias, foram de 80784€ no que diz respeito ao aumento do OEE e ao aumento da quantidade produzida. Os ganhos financeiros resultantes da redução de mão de obra.

Finalmente, é importante destacar as adversidades enfrentadas durante a elaboração deste projeto, como a análise de alguns dados do WSFM e da própria simulação industrial, uma vez que o sistema estava sob o controle da gerência no Brasil e este estava padronizado em todas as fábricas. Sendo que, nem sempre o sistema estava perfeitamente alinhado com as necessidades da unidade produtiva em análise. Para além disso, as trocas de informação com a sede, inerentes ao projeto, por vezes, eram dificultadas.

De um modo geral, este projeto permitiu a consolidação de conhecimentos adquiridos ao longo do curso, em particular, princípios do Lean Thinking. Adicionalmente, proporcionou a oportunidade de aprimorar e enriquecer competências essenciais no âmbito profissional e pessoal, como a gestão eficaz do tempo, a capacidade de trabalho em equipa, a autonomia e pensamento crítico, as habilidades técnicas e a organização de tarefas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acharya, K. (2011). Material handling and process improvement using lean manufacturing principles. *The International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice*, 18, 357–368.
- Alberto Wunderler Ramos. (2000). *CEP para processos contínuos e em bateladas*.
- Bell, S. (2005). *Lean Enterprise Systems: Using IT for Continuous Improvement In Lean Enterprise Systems: Using IT for Continuous Improvement*. New York: John Wiley & Sons, Inc. .
- Berrahal, W., & Marghoubi, R. (2016). *Lean continuous improvement to information technology service management implementation: Projection of ITIL framework*.
<https://doi.org/10.1109/IT4OD.2016.7479279>
- Dennis, P. (2017). *Lean Production Simplified*. Productivity Press. <https://doi.org/10.1201/b18961>
- Garre, P., Nikhil Bharadwaj, V. V. S., Shiva Shashank, P., Harish, M., & Sai Dheeraj, M. (2017). Applying lean in aerospace manufacturing. *Materials Today: Proceedings*, 4(8), 8439–8446.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.07.189>
- Gosavi, A. (2006). A risk-sensitive approach to total productive maintenance. *Automatica*, 42(8), 1321–1330. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.automatica.2006.02.006>
- Haddad, T., Shaheen, B., & Nemeth, I. (2021). Improving Overall Equipment Effectiveness (OEE) of Extrusion Machine Using Lean Manufacturing Approach. *Manufacturing Technology*, 21.
<https://doi.org/10.21062/mft.2021.006>
- Hicks, B. J. (2007). Lean information management: Understanding and eliminating waste. *International Journal of Information Management*, 27(4), 233–249.
<https://doi.org/10.1016/J.IJINFOMGT.2006.12.001>
- Hines, P., Silvi, R., & Bartolini, M. (2002). *Lean Profit Potential*.
- Holweg, M. (2007). *The genealogy of Lean Production*. *Journal of operations Management*.
- Hu, S. J. (2013). Evolving Paradigms of Manufacturing: From Mass Production to Mass Customization and Personalization. *Procedia CIRP*, 7, 3–8.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.05.002>

- Hunter, S. L. (2008). *The Toyota production system applied to the upholstery furniture manufacturing industry. Materials and Manufacturing processes.*
- Imai, M. (1986). *Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success. Becoming lean Inside stories of US manufacturers. McGraw-Hill Education, New York. .*
- Imai, M. (1997). *Gemba Kaizen: A Commonsense, Low-Cost Approach to Management. McGrawHill. .*
- Kamauff, J. (2009). *Manager 's Guide to Operations Management:. McGraw-Hill Education.*
- Lewis, M. A. (2000). Lean production and sustainable competitive advantage. *International Journal of Operations & Production Management, 20*(8), 959–978.
<https://doi.org/10.1108/01443570010332971>
- Liker, J. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer (Vol. 2004). McGraw Hill.*
- Liker, J., & Morgan, J. (2006). The Toyota Way in Services: The Case of Lean Product Development. *Academy of Management Perspectives, 20*. <https://doi.org/10.5465/AMP.2006.20591002>
- Losonci, D., Demeter, K., & Jenei, I. (2011). Factors influencing employee perceptions in lean transformations. *International Journal of Production Economics, 131*(1), 30–43.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.12.022>
- Mariz, R., & Picchi, F. (2013). Method for the application of standardized work in construction. *Ambiente Construido, 13*, 7–27. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212013000300002>
- Melton, T. (2005). The Benefits of Lean Manufacturing: What Lean Thinking has to Offer the Process Industries. *Chemical Engineering Research and Design, 83*(6), 662–673.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1205/cherd.04351>
- Monden, Y. (1998). *Toyota Production System: An integrated approach to Just-in-Time. In Toyota Production System (3rd ed.)*. Productivity Press. <https://doi.org/10.4324/9780429273018>
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM. Productivity Press.*
- Narang, R. V. (2008). Some Issues to Consider in Lean Production. *2008 First International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, 749–753*.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:5741809>

- O'Brien, R. (1998). *An overview of the methodological approach of action research. Faculty of Information Studies, University of Toronto.*
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production (CRC Press (ed.); 1st ed.).*
- Ortiz, C. A. (2006). *Kaizen Assembly: Designing, Constructing, and Managing a Lean Assembly Line. New York: CRC Press. CRC Press.* <https://doi.org/10.1201/9781420006605>
- Plenert, G. (2010). *Reinventing lean: introducing lean management into the supply chain. Burlington: Elsevier. .*
- Rawabdeh, I. (2005). A model for the assessment of waste in job shop environments. *International Journal of Operations & Production Management, 25,* 800–822. <https://doi.org/10.1108/01443570510608619>
- Relkar, A. S., & Nandurkar, K. N. (2012). Optimizing & Analysing Overall Equipment Effectiveness (OEE) Through Design of Experiments (DOE). *Procedia Engineering, 38,* 2973–2980. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.06.347>
- Roser, C. (2015). *All About Spaghetti Diagrams.* <https://www.allaboutlean.com/spaghetti-diagrams/>
- Scyoc, K. (2008). Process safety improvement-Quality and target zero. *Journal of Hazardous Materials, 159,* 42–48. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.02.036>
- Seppänen, O. (2009). *Empirical Research on the Success of Production Control in Building Construction Projects.*
- Shingō, S. (2007). *Kaizen and the art of creative thinking: the scientific thinking mechanism, Enna Products Corporation.*
- Sternberg, H., Stefansson, G., Westernberg, E., Boije af Gennäs, R., Allenström, E., & Linger Nauska, M. (2013). Applying a lean approach to identify waste in motor carrier operations. *International Journal of Productivity and Performance Management, 62(1),* 47–65. <https://doi.org/10.1108/17410401311285291>
- Vijverberg, J. R. G., Rouppe van der Voort, M. B. V., van der Nat, P. B., Mosselman, M. J., Rigter, S., Biesma, D. H., & van Merode, F. (2023). How to Use Lean Thinking for the Optimization of Clinical Pathways: A Systematic Review and a Proposed Framework to Analyze Pathways on a System Level. *Healthcare, 11(18),* 2488. <https://doi.org/10.3390/healthcare11182488>

Wauters, F., & Mathot, J. (2002). *OEE (Overall Equipment Effectiveness)_withpaper*. ABB.

Wireman, T. (2004). *Total Productive Maintenance*. New York: Industry Press Inc. .

Womack, J., & Jones, D. (1996). *Lean Thinking - Banish waste and create wealth in your corporation*. Free Press.

Womack, J., & Jones, D. T. (2003). *Lean Thinking*. Free Press, New York.

Womack, J., T. Jones, D., & Roos, D. (1990). *The Machine that Changed the World*. Macmillan Publishing Company.

APÊNDICES

APÊNDICE 1. ESQUEMA SIMPLIFICADO DO PROCESSO PRODUTIVO DE UM MOTOR

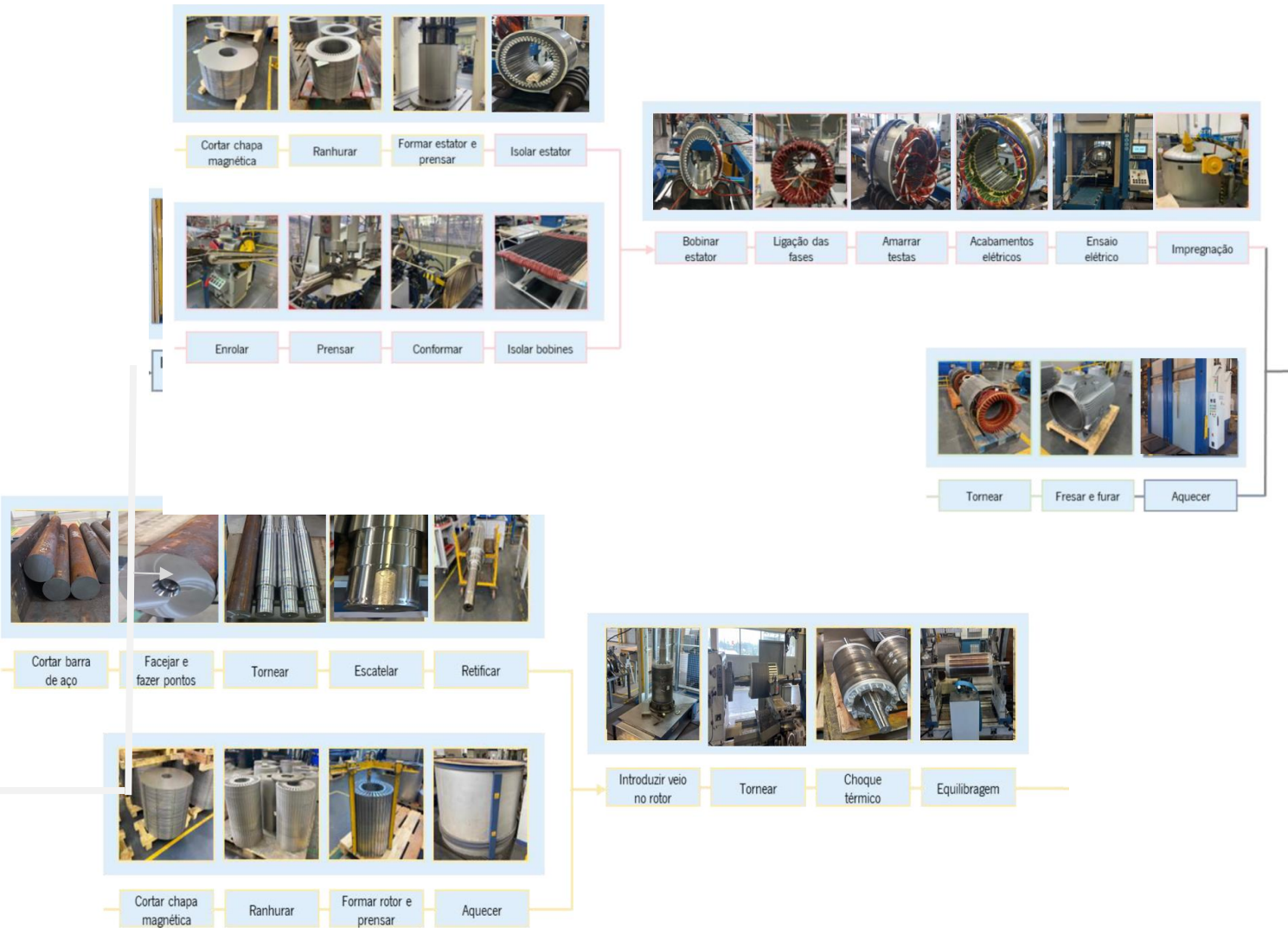




Figura 50 - Esquema simplificado do processo produtivo geral de um motor


APÊNDICE 2. TABELAS DE CRONOMETRAGENS DOS MATERIAIS SS DA MASTED

	TABELA DE TEMPOS: OPERAÇÃO											Concessão						5%
OPERAÇÃO:	Facejamento e Pontos																	
Descrição dos Elementos	Tempo 1	Tempo 2	Tempo 3	Tempo 4	Tempo 5	Tempo 6	Tempo 7	Tempo 8	Tempo 9	Tempo 10	Tempo 11	Tempo 12	Tempo 13	Tempo 14	Tempo 15	Tempo 16	T	
Alcançar ponte e colocar veio dentro da máquina	0,52	0,32	0,77	0,67	0,63	0,85	0,62	0,48	0,57	0,57	0,85	0,77	0,48	0,60	0,75	0,63		
Afastar ponte e fechar porta	0,15	0,23	0,32	0,28	0,15	0,23	0,28	0,15	0,17	0,18	0,15	0,22	0,38	0,25	0,33	0,25		
Facejar 5019	3,62	3,70	4,07	4,08	3,93	4,18												
Facejar 5971	4,10	3,92																
Facejar 0104	3,87	4,02	3,78	3,82														
Facejar 7685	3,95	3,78	3,90	3,83														
Facejar 1254	3,80	4,17	3,48	3,78														
Facejar 5213	3,68	3,82	3,62	3,60	3,70	3,65												
Facejar 6221	3,85	3,67	3,63	3,77														
Facejar 9852	4,17	3,87	4,20	4,12														
Facejar 1350	4,65	4,02	3,85	3,77														
Facejar 5043	4,22	4,25	3,82	3,83														
Facejar 0739	3,72	3,85	4,00	4,83														
Facejar 3782	3,83	3,72	3,73	4,05														
Facejar 8279	4,72	4,07	4,20	3,82														
Facejar 9418	3,97	3,73	4,07	3,77														
Facejar 8072	4,13	4,07	4,53	3,80														
Facejar 1538	4,30	3,87	4,03	4,13														
Abrir porta e soprar veio	0,28	0,52	0,23	0,20	0,32	0,42	0,28	0,20	0,32	0,35	0,52	0,27	0,62	0,48	0,50	0,30		
Alcançar ponte e retirar veio	0,65	0,57	0,50	0,75	0,82	0,75	0,52	0,55	0,50	0,65	0,70	0,50	0,48	0,68	0,83	0,55		
Medir veios (em paralelo)																		

	TABELA DE TEMPOS: SETUP											Concessão						5%
OPERAÇÃO:	Facejamento e Pontos																	
Descrição dos Elementos	Tempo 1	Tempo 2	Tempo 3	Tempo 4	Tempo 5	Tempo 6	Tempo 7	Tempo 8	Tempo 9	Tempo 10	Tempo 11	Tempo 12	Tempo 13	Tempo 14	Tempo 15	Tempo 16	T	
Abrir OP no WSFM (em paralelo)																		
Abrir OP no SGPROD e procurar programa (em paralelo)																		
Acertar offset's no controlador(se necessário)	0,55	0,75	0,62	0,52	0,65	0,85	0,43	0,50	0,88	0,48	0,58	0,52	0,50	0,58	0,50			
Trocar calços (se necessário)	0,52	0,70	0,50	0,48	0,63	0,45	0,50	0,62	0,48	0,42								
Regular garras (se necessário)	0,27	0,48	0,25	0,27	0,32	0,32	0,43	0,37	0,33	0,28	0,32	0,30	0,33	0,22				
Iniciar programa, aproximar ferramenta e verificar distância	1,22	0,83	0,97	0,90	0,98	0,82	0,90	0,80	0,65	0,95	0,83	1,10	0,90	1,25	1,17	0,95		

Figura 51 - Tabelas de Cronometragens dos materiais SS da Masted

APÊNDICE 3. TABELAS DE CRONOMETRAGENS DOS MATERIAIS SS DOS TORNOS

	TABELA DE TEMPOS: OPERAÇÃO											Concessão		5%			
												OPERAÇÃO:	Torneamento	Tempo 13	Tempo 14	Tempo 15	Tempo 16
OPERAÇÃO:	Torneamento	Tempo 1	Tempo 2	Tempo 3	Tempo 4	Tempo 5	Tempo 6	Tempo 7	Tempo 8	Tempo 9	Tempo 10	Tempo 11	Tempo 12	Tempo 13	Tempo 14	Tempo 15	Tempo 16
Descrição dos Elementos	Tempo 1	Tempo 2	Tempo 3	Tempo 4	Tempo 5	Tempo 6	Tempo 7	Tempo 8	Tempo 9	Tempo 10	Tempo 11	Tempo 12	Tempo 13	Tempo 14	Tempo 15	Tempo 16	
Alcançar ponte e colocar veio dentro da máquina	0,83	0,67	0,73	0,77	0,68	0,68	0,63	0,67	0,77	0,82	0,53	0,67	0,52	0,58	0,70	0,80	
Afastar ponte e fechar porta	0,32	0,22	0,27	0,33	0,30	0,32	0,38	0,23	0,28	0,33	0,28	0,20	0,35	0,33	0,25	0,28	
Tornear 9418 01	32,22	31,80															
Tornear 1254-01	29,78	28,85															
Tornear 7685- 03	8,88	8,53															
Tornear 5971- 01	27,57	27,32															
Tornear 5213 - 03	8,40	8,48	8,68	8,85													
Tornear 0104- 03	9,20	9,73															
Tornear 5043- 01	10,13	9,95															
Tornear 0739- 03	18,88	17,83															
Tornear 1350- 03	10,67	9,72															
Tornear 5019- 01	14,15	14,72															
Tornear 8072- 03	19,48	18,90															
Tornear 8279- 03	9,98	9,63															
Tornear 9852- 03	10,88	10,40															
Tornear 1538- 03	10,35	10,20															
Tornear 6221- 03	8,83	8,47															
Tornear 3782- 01	14,20	13,87															
Abrir porta e Soprar veio	0,45	0,67	0,60	0,42	0,47	0,57	0,57	0,50	0,85	0,48	0,47	0,43	0,57	0,52	0,60	0,68	
Medir com micrômetro os diâmetros	1,65	1,32	1,55	1,53	1,35	1,47	1,53	1,62	1,82	1,53	1,52	1,42	1,62	1,37	1,17	1,25	
Alcançar ponte e retirar veio	0,58	0,70	0,53	0,80	0,75	0,65	0,67	0,73	0,55	0,90	0,83	0,65	0,80	0,82	0,72	0,82	
Medir com paquímetro entre batentes (em paralelo)																	
Preencher folha de autocontrole (em paralelo)																	


	TABELA DE TEMPOS: SETUP											Concessão		5%			
												OPERAÇÃO:	Torneamento	Tempo 13	Tempo 14	Tempo 15	Tempo 16
OPERAÇÃO:	Torneamento	Tempo 1	Tempo 2	Tempo 3	Tempo 4	Tempo 5	Tempo 6	Tempo 7	Tempo 8	Tempo 9	Tempo 10	Tempo 11	Tempo 12	Tempo 13	Tempo 14	Tempo 15	Tempo 16
Descrição dos Elementos	Tempo 1	Tempo 2	Tempo 3	Tempo 4	Tempo 5	Tempo 6	Tempo 7	Tempo 8	Tempo 9	Tempo 10	Tempo 11	Tempo 12	Tempo 13	Tempo 14	Tempo 15	Tempo 16	
Abrir OP no WSFM (em paralelo)																	
Abrir OP no SGPROD e procurar programa (em paralelo)																	
Enviar programa CNC para máquina	0,12	0,15	0,08	0,25	0,12	0,15	0,17	0,10	0,10	0,13	0,17	0,20	0,27	0,22	0,27	0,18	
Trocar contra ponto (se necessário)	0,83	1,27	1,13														
Confirmar programa	0,37	0,52	0,43	0,68	0,53	0,50	0,38	0,35	0,27	0,32	0,22	0,17	0,33	0,38	0,27	0,35	
Fazer zero peça e puxar torreta para cima	1,82	1,52	1,48	1,73	1,68	1,60	1,52	1,38	1,33	1,38	1,25	1,20	1,30	1,38	1,47	1,42	
Subir offset's	0,43	0,33	0,27	0,40	0,47	0,35	0,32	0,42	0,33	0,40	0,33	0,42	0,42	0,45	0,35	0,47	
Abrir porta e medir com micrômetro os diâmetros	2,22	2,28	1,92	2,13	2,30	2,13	1,95	1,77	1,70	1,87	1,98	1,70	2,03	2,20	2,03	2,37	
Soprar veio	0,25	0,30	0,17	0,20	0,38	0,28	0,37	0,15	0,17	0,17	0,23	0,23	0,28	0,20	0,20	0,17	
Fechar porta e ajustar offset's conforme valores obtidos	0,33	0,28	0,37	0,32	0,43	0,27	0,35	0,28	0,37	0,45	0,33	0,30	0,43	0,40	0,37	0,48	

Figura 52 - Tabelas de Cronometragens dos materiais SS dos Tornos

APÊNDICE 4. TABELAS DE CRONOMETRAGENS DOS MATERIAIS SS DA EUMACH

	TABELA DE TEMPOS: OPERAÇÃO											Concessão						5%
												OPERAÇÃO: Escatelar						
Descrição dos Elementos	Tempo 1	Tempo 2	Tempo 3	Tempo 4	Tempo 5	Tempo 6	Tempo 7	Tempo 8	Tempo 9	Tempo 10	Tempo 11	Tempo 12	Tempo 13	Tempo 14	Tempo 15	Tempo 16		
Alcançar ponte e colocar veios	2,16	2,15	2,03	2,19	2,30	2,27	2,18	2,27	1,92	2,17	2,50	2,35	1,97	2,17	1,90	1,98		
Fixar Veio e fechar porta	0,33	0,43	0,32	0,30	0,35	0,43	0,30	0,37	0,23	0,43	0,45	0,32	0,28	0,37	0,35	0,43		
Escatelar 1254	10,35	9,88	11,18	11,05														
Escatelar 0104	4,40	4,08																
Escatelar 5971	4,80	4,88	4,62	4,53														
Escatelar 0739	7,43	7,12	7,90	7,50														
Escatelar 9418	5,90	5,52	5,40	5,50														
Escatelar 7685	3,55	3,05	3,23	3,43														
Escatelar 3782	5,50	4,88																
Escatelar 5043	5,15	5,32	5,45	5,17														
Escatelar 5213	3,65	3,35																
Escatelar 5019	5,65	5,15	5,48	5,55														
Escatelar 1350	6,15	6,37																
Escatelar 8072	6,93	7,48																
Escatelar 6221	3,60	3,72																
Escatelar 1538	4,08																	
Escatelar 8279	5,45	5,50																
Escatelar 9852	5,30																	
Aproximar mesa	0,18	0,23	0,20	0,22	0,15	0,27	0,17	0,12	0,23	0,15	0,17	0,18	0,22	0,17	0,13	0,17		
Abrir porta	0,13	0,12	0,10	0,15	0,17	0,12	0,10	0,13	0,15	0,20	0,15	0,12	0,15	0,13	0,12	0,18		
Soprar veios	0,58	1,08	0,65	1,00	0,45	0,78	1,00	1,23	1,15	0,98	0,72	0,79	0,65	0,59	0,49	0,54		
Medir veios	0,72	0,65	1,18	1,23	1,03	1,05	1,12	1,48	1,07	0,78	0,82	1,10	0,82	1,35	1,02	1,07		
Alcançar ponte e retirar veios	2,35	2,15	2,20	1,83	2,40	2,53	2,30	2,35	2,58	2,42	2,35	2,02	1,98	2,35	2,25	2,08		

	TABELA DE TEMPOS: SETUP											Concessão						5%
												OPERAÇÃO: Escatelar						
Descrição dos Elementos	Tempo 1	Tempo 2	Tempo 3	Tempo 4	Tempo 5	Tempo 6	Tempo 7	Tempo 8	Tempo 9	Tempo 10	Tempo 11	Tempo 12	Tempo 13	Tempo 14	Tempo 15	Tempo 16		
Abrir OP no WFSM (em paralelo)																		
Abrir OP no SGRPROD (em paralelo)																		
Retirar e Soprar Calços	1,35	0,75	1,12	0,65	1,45	1,23	1,45	0,73	1,40	0,68	1,43	0,67	0,63	1,20	0,67	1,48		
Deslocar até armário e voltar	1,18	0,73	1,40	0,60	1,12	1,15	1,03	0,52	1,18	0,52	1,23	0,50	0,53	1,05	0,53	1,33		
Trocar Calços	1,57	0,53	0,93	0,62	1,80	0,98	1,77	0,68	0,90	0,67	1,20	0,53	0,53	0,93	0,48	1,10		
Alargar o espaçamento entre batentes	0,22	0,15	0,17	0,17	0,20	0,13	0,15	0,17	0,12	0,28	0,15	0,20	0,30	0,20	0,27	0,25		
Ajustar comprimento da mesa e encostar ponta do veio ao batente	0,43	0,35	0,50	0,45	0,50	0,35	0,32	0,33	0,32	0,25	0,33	0,32	0,38	0,30	0,28	0,32		
Definir Variáveis	0,73	0,87	1,05	0,83	0,77	0,75	0,70	0,67	1,18	1,10	0,93	0,63	0,85	1,12	0,78	0,83		
Desaparafusar batentes e Fazer zero peça (se veio>1140 mm)	2,82	3,23	2,68	3,18	3,07	2,67												

Figura 53 - Tabelas de Cronometragens dos materiais SS da Eumach

APÊNDICE 5. ANÁLISE ABC DOS EVENTOS QUE MOTIVARAM AS PARAGENS NÃO PLANEADAS

Paragens Não Planeadas na Masted					
Referência	Paragens Não Planeadas	Tempo (min)	Porcentagem Relativa	Porcentagem Acumulada	Classe
1	PREPARAÇÃO	6781,24	27,27%	27,27%	A
2	PARADA NÃO JUSTIFICADA	5463,82	21,97%	49,24%	
3	CARGA E DESGARGA DE MATERIAIS	2743,25	11,03%	60,27%	
4	AGUARDANDO PRÓXIMAS OPERAÇÕES	2295,43	9,23%	69,50%	
5	AGUARDANDO CHEFE/PREPARADOR/ENGENHARIA	737,13	2,96%	72,46%	B
6	TROCA DE TURNO / LIMPEZA	718,50	2,89%	75,35%	
7	REUNIÃO/TREINAMENTO	678,47	2,73%	78,08%	
8	TROCA DE CARRINHO	567,65	2,28%	80,36%	
9	RECUPERAÇÃO E RETRABALHO	524,23	2,11%	82,47%	
10	AUXILIO A OUTRA MAQUINA	489,65	1,97%	84,44%	
11	FALTA DE FUNCIONARIO	432,34	1,74%	86,17%	
12	DIALOGO DIARIO DE SEGURANÇA (DDS)	420,14	1,69%	87,86%	
13	APONTANDO	438,45	1,76%	89,63%	
14	AGUARDANDO MANUTENÇÃO	412,93	1,66%	91,29%	
15	AGUARDANDO CONTROLE DE QUALIDADE	384,86	1,55%	92,83%	
16	AGUA/BANHEIRO	282,32	1,14%	93,97%	
17	CHECK LIST ROTINA	261,93	1,05%	95,02%	
18	INSPECIONAR/MEDIR AMOSTRA	232,12	0,93%	95,96%	
19	FALTA TALHA/PONTE ROLANTE	197,64	0,79%	96,75%	
20	FALTA DISPOSITIVOS	167,61	0,67%	97,42%	
21	AGUARDANDO PONTE ROLANTE	151,27	0,61%	98,03%	
22	DESLIGAMENTO LOCAL	93,64	0,38%	98,41%	
23	COLISÃO	62,24	0,25%	98,66%	
24	CRIACAO/AJUSTE PROGRAMA CNC	57,14	0,23%	98,89%	
25	MANUTENÇÃO CORRETIVA	48,41	0,19%	99,08%	
26	TROCA DE CARRINHO	45,35	0,18%	99,27%	
27	TROCA DE FERRAMENTAS (FIM VIDA UTIL)	39,32	0,16%	99,42%	
28	AMBULATÓRIO	37,24	0,15%	99,57%	
29	REDE CNC OU DATALAN INDISPONÍVEIS	31,26	0,13%	99,70%	
30	PREENCHIMENTO DE DOCUMENTOS	26,01	0,10%	99,80%	
31	LIMPEZA DO POSTO DE TRABALHO	24,30	0,10%	99,90%	
32	QUEBRA/TROCA DE FERRAMENTA(S)	24,24	0,10%	100,00%	
		24830,81			

Figura 54 - Análise ABC dos eventos que motivaram as Paragens Não Planeadas na Masted

Paragens Não Planeadas na Danobat					
Referência	Paragens Não Planeadas	Tempo (min)	Porcentagem Relativa	Porcentagem Acumulada	Classe
1	PREPARAÇÃO	16123,03	32,91%	32,91%	A
2	PARADA NÃO JUSTIFICADA	8941,28	19,36%	52,27%	
3	AGUARDANDO OPERAÇÕES ANTERIORES	4964,92	10,75%	63,02%	
4	CARGA E DESGARGA DE MATERIAIS	2932,12	6,35%	69,37%	
5	AGUARDANDO CHEFE/PREPARADOR/ENGENHARIA	1665,23	3,61%	74,98%	B
6	REUNIÃO/TREINAMENTO	1532,12	3,32%	78,30%	
7	RECUPERAÇÃO E RETRABALHO	1412,96	3,06%	81,36%	
8	TROCA DE TURNO / LIMPEZA	1021,92	2,21%	83,57%	
9	AUXILIO A OUTRA MAQUINA	967,12	2,09%	85,66%	
10	FALTA DE FUNCIONARIO	803,23	1,74%	87,40%	
11	DIALOGO DIARIO DE SEGURANÇA (DDS)	801,28	1,74%	89,14%	
12	INSPECIONAR/MEDIR AMOSTRA	757,17	1,64%	90,78%	
13	CRIAÇÃO/AJUSTE PROGRAMA CNC	754,38	1,63%	92,41%	
14	TROCA DE CARRINHO	613,15	1,33%	93,74%	
15	AGUARDANDO CONTROLE DE QUALIDADE	550,30	1,19%	94,93%	C
16	FALTA FERRAMENTA POR QUEBRA	514,03	1,11%	96,04%	
17	DESLIGAMENTO LOCAL	478,91	1,04%	97,08%	
18	AGUARDANDO PRÓXIMAS OPERAÇÕES	356,43	0,77%	97,85%	
19	AMBULATÓRIO	213,07	0,46%	98,31%	
20	REDE CNC OU DATALAN INDISPONÍVEIS	137,97	0,30%	98,61%	
21	REGULAGEM/AJUSTE DURANTE PROCESSO	128,20	0,28%	98,89%	
22	FALTA DE PROGRAMA CNC	112,53	0,24%	99,13%	
23	TIRAR ZERAMENTO	101,53	0,22%	99,35%	
24	APONTANDO	62,73	0,14%	99,49%	
25	AGUARDANDO MANUTENÇÃO	61,65	0,13%	99,62%	
26	AGUA/BANHEIRO	54,42	0,12%	99,74%	
27	CHECK LIST ROTINA	36,67	0,08%	99,82%	
28	FALTA TALHA/PONTE ROLANTE	32,70	0,07%	99,89%	
29	FALTA DISPOSITIVOS	27,13	0,06%	99,95%	
30	AGUARDANDO PONTE ROLANTE	8,42	0,02%	99,97%	
31	PREENCHIMENTO DE DOCUMENTOS	7,80	0,02%	99,99%	
32	LIMPEZA DO POSTO DE TRABALHO	2,65	0,01%	99,99%	
33	COLISÃO	1,87	0,00%	100,00%	
34	MANUTENÇÃO CORRETIVA	0,97	0,00%	100,00%	
35	TROCA DE FERRAMENTAS (FIM VIDA UTIL)	0,88	0,00%	100,00%	
36	QUEBRA/TROCA DE FERRAMENTA(S)	0,73	0,00%	100,00%	
		42 783,54			

Figura 55 - Análise ABC dos eventos que motivaram as Paragens Não Planeadas na Danobat

Paragens Não Planeadas na Hwacheon					
Referência	Paragens Não Planeadas	Tempo (min)	Percentagem Relativa	Percentagem Acumulada	Classe
1	PREPARAÇÃO	17121,12	40,46%	40,46%	A
2	PARADA NÃO JUSTIFICADA	8235,83	19,46%	59,93%	
3	TROCA DE TURNO / LIMPEZA	2155,93	5,10%	65,02%	
4	AGUARDANDO OPERAÇÕES ANTERIORES	1840,07	4,35%	69,37%	
5	REUNIÃO/TREINAMENTO	1328,12	3,14%	72,51%	B
6	AGUARDANDO CHEFE/PREPARADOR/ENGENHARIA	1231,98	2,91%	75,42%	
7	RECUPERAÇÃO E RETRABALHO	1073,1	2,54%	77,96%	
8	CRIAÇÃO/AJUSTE PROGRAMA CNC	983,11	2,32%	80,28%	
9	AUXILIO A OUTRA MAQUINA	954,32	2,26%	82,53%	
10	FALTA DE FUNCIONARIO	791,76	1,87%	84,40%	
11	DIALOGO DIARIO DE SEGURANÇA (DDS)	783,27	1,85%	86,26%	
12	INSPECIONAR/MEDIR AMOSTRA	741,92	1,75%	88,01%	
13	CARGA E DESGARGA DE MATERIAIS	734,47	1,74%	89,75%	
14	FALTA DE PROGRAMA CNC	637,38	1,51%	91,25%	
15	AGUARDANDO CONTROLE DE QUALIDADE	620,9	1,47%	92,72%	C
16	FALTA FERRAMENTA POR QUEBRA	616,05	1,46%	94,17%	
17	DESLIGAMENTO LOCAL	521,12	1,23%	95,41%	
18	AGUARDANDO PRÓXIMAS OPERAÇÕES	379,5	0,90%	96,30%	
19	APONTANDO	324,76	0,77%	97,07%	
20	REDE CNC OU DATALAN INDISPONÍVEIS	317,31	0,75%	97,82%	
21	REGULAGEM/AJUSTE DURANTE PROCESSO	209,39	0,49%	98,32%	
22	TROCA DE CARRINHO	183,42	0,43%	98,75%	
23	TIRAR ZERAMENTO	141,9	0,34%	99,08%	
24	AMBULATÓRIO	94,53	0,22%	99,31%	
25	AGUARDANDO MANUTENÇÃO	68,12	0,16%	99,47%	
26	AGUA/BANHEIRO	57,17	0,14%	99,60%	
27	CHECK LIST ROTINA	49,37	0,12%	99,72%	
28	FALTA TALHA/PONTE ROLANTE	47,45	0,11%	99,83%	
29	FALTA DISPOSITIVOS	26,67	0,06%	99,90%	
30	AGUARDANDO PONTE ROLANTE	19,82	0,05%	99,94%	
31	PREENCHIMENTO DE DOCUMENTOS	10,3	0,02%	99,97%	
32	LIMPEZA DO POSTO DE TRABALHO	8,7	0,02%	99,99%	
33	COLISÃO	5,42	0,01%	100,00%	
		42314,28			

Figura 56 - Análise ABC dos eventos que motivaram as Paragens Não Planeadas na Hwacheon

Paragens Não Planeadas na Eumach					
Referência	Paragens Não Planeadas	Tempo (min)	Porcentagem Relativa	Porcentagem Acumulada	Classe
1	PREPARAÇÃO	13137,39	41,82%	41,82%	A
2	PARADA NÃO JUSTIFICADA	4312,74	13,73%	55,55%	
3	AGUARDANDO OPERAÇÕES ANTERIORES	3101,21	9,87%	65,43%	
4	AGUARDANDO CHEFE/PREPARADOR/ENGENHEIRA	1956,24	6,23%	71,65%	B
5	CARGA E DESGARGA DE MATERIAIS	952,31	3,03%	74,69%	
6	REUNIÃO/TREINAMENTO	826,80	2,63%	77,32%	
7	RECUPERAÇÃO E RETRABALHO	743,28	2,37%	79,69%	
8	AUXILIO A OUTRA MAQUINA	735,10	2,34%	82,03%	
9	TROCA DE TURNO / LIMPEZA	632,15	2,01%	84,04%	
10	TROCA DE CARRINHO	563,12	1,79%	85,83%	
11	DIALOGO DIARIO DE SEGURANÇA (DDS)	536,12	1,71%	87,54%	
12	INSPECIONAR/MEDIR AMOSTRA	453,32	1,44%	88,98%	
13	CRIACAO/AJUSTE PROGRAMA CNC	438,12	1,39%	90,38%	
14	FALTA DE FUNCIONARIO	431,23	1,37%	91,75%	
15	AGUARDANDO CONTROLE DE QUALIDADE	421,56	1,34%	93,09%	
16	AMBULATÓRIO	381,95	1,22%	94,31%	
17	DESLIGAMENTO LOCAL	331,28	1,05%	95,36%	
18	AGUARDANDO PRÓXIMAS OPERAÇÕES	321,23	1,02%	96,38%	
19	FALTA FERRAMENTA POR QUEBRA	214,31	0,68%	97,07%	
20	REDE CNC OU DATALAN INDISPONÍVEIS	189,31	0,60%	97,67%	
21	REGULAGEM/AJUSTE DURANTE PROCESSO	141,95	0,45%	98,12%	
22	FALTA DE PROGRAMA CNC	110,02	0,35%	98,47%	
23	TIRAR ZERAMENTO	93,75	0,30%	98,77%	
24	APONTANDO	75,25	0,24%	99,01%	
25	AGUARDANDO MANUTENÇÃO	59,27	0,19%	99,20%	
26	AGUA/BANHEIRO	59,12	0,19%	99,39%	
27	CHECK LIST ROTINA	55,22	0,18%	99,56%	
28	FALTA TALHA/PONTE ROLANTE	32,80	0,10%	99,67%	
29	FALTA DISPOSITIVOS	26,47	0,08%	99,75%	
30	AGUARDANDO PONTE ROLANTE	22,97	0,07%	99,82%	
31	PREENCHIMENTO DE DOCUMENTOS	14,55	0,05%	99,87%	
32	LIMPEZA DO POSTO DE TRABALHO	12,35	0,04%	99,91%	
33	COLISÃO	8,88	0,03%	99,94%	
34	MANUTENÇÃO CORRETIVA	8,68	0,03%	99,96%	
35	TROCA DE FERRAMENTAS (FIM VIDA UTIL)	6,50	0,02%	99,99%	
36	QUEBRA/TROCA DE FERRAMENTA(S)	4,57	0,01%	100,00%	
		31411,11			

Figura 57 - Análise ABC dos eventos que motivaram as Paragens Não Planeadas na Hwacheon

APÊNDICE 6. IMAGENS RELACIONADAS À SIMULAÇÃO INDUSTRIAL

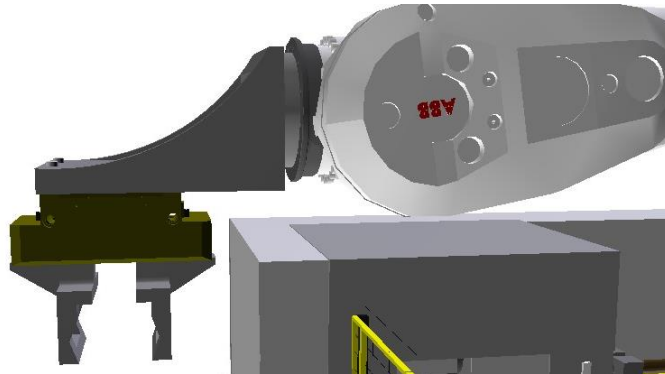


Figura 58 – “Garras”

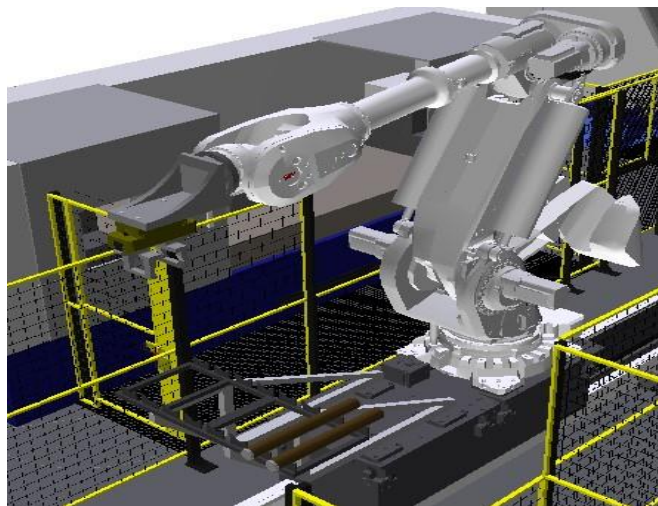


Figura 59 - Buffer dependente do Robô

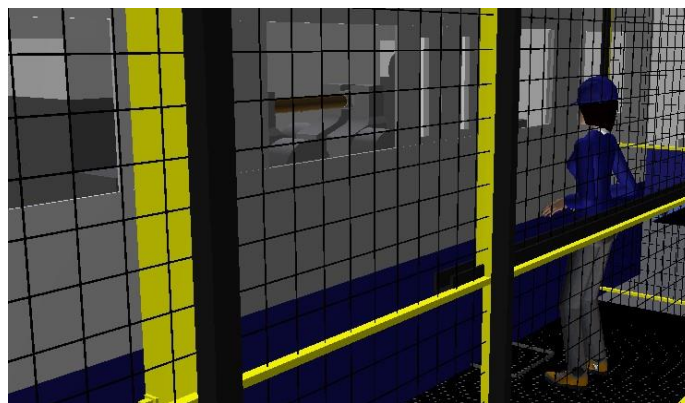


Figura 60 - Realização de Setup