



Instituto Politécnico  
de Castelo Branco  
Escola Superior  
de Tecnologia

# Implementação da Metodologia SMED na área da Maquinação CNC da Mecalbi

Licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial

Carlos Manuel dos Santos Sequeira  
Aluno nº 62007084

**Orientador**

Professor Doutor Nuno Octávio Garcia Fernandes

**Coorientador externo**

Engenheiro João Rui Gomes Moreira Pacau

Setembro de 2024



Instituto Politécnico  
de Castelo Branco  
Escola Superior  
de Tecnologia

## **Relatório de Estágio**

# **Implementação da Metodologia SMED na área da Maquinação CNC da Mecalbi**

**Licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial**

Carlos Manuel dos Santos Sequeira

Aluno nº 62007084

### **Orientador**

Professor Doutor Nuno Octávio Garcia Fernandes

### **Coorientador externo**

Engenheiro João Rui Gomes Moreira Pacau

Relatório de Estágio apresentado à Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco e Mecalbi para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Licenciatura, realizada sob a orientação científica Professor Doutor Nuno Octávio Fernandes, do Instituto Politécnico de Castelo Branco.

**Setembro 2024**

# Composição do júri

## **Presidente do júri**

Doutor Nuno Octávio Garcia Fernandes

Professor Coordenador da Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco

## **Vogais**

Doutor Paulo Jorge Sequeira Gonçalves

Professor Coordenador da Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco

Doutor Pedro Miguel Baptista Torres

Professor Adjunto da Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco

Engenheiro João Rui Gomes Moreira Pacau

Diretor Operacional da Mecalbi



## Dedicatória

Dedico este trabalho à minha família, cujo apoio inabalável foi a luz que guiou cada passo deste percurso acadêmico. Em especial, agradeço à minha esposa, Silvia, por ser o meu pilar, meu porto seguro e o meu maior incentivo, pelo seu amor incondicional, apoio constante e por acreditar em mim mesmo quando eu duvidava, proporcionando um lar cheio de paz e felicidade onde pude me dedicar aos meus estudos. Ao meu filho, João, por ser a minha maior fonte de inspiração e alegria, por me ensinar o que realmente importa na vida e me mostrar que tudo é possível quando se tem amor e dedicação, por me fazer sorrir todos os dias e me dar a força para continuar a lutar pelos meus sonhos.

Vocês são a razão do meu sucesso e a minha maior motivação.

Obrigado por tudo!



## Agradecimentos

Ao Professor Doutor Nuno Fernandes, meu orientador, e ao Engenheiro João Pacau da Mecalbi, meu coorientador externo, gostaria de expressar o meu mais profundo e sincero agradecimento pelo inestimável apoio e pelas valiosas orientações que me proporcionaram ao longo da minha jornada de estágio. A vossa experiência, conhecimento e dedicação foram fundamentais para o meu crescimento profissional e para o sucesso deste projeto.

À minha esposa e filho, dirijo um agradecimento especial, carregado de emoção e reconhecimento. O vosso apoio incondicional foi o pilar fundamental que me sustentou durante todo este processo. A vossa paciência, compreensão e incentivo constante foram a força motriz que me impulsionou a superar os desafios e a manter o foco nos meus objetivos. A vossa presença iluminou os dias mais difíceis e tornou esta jornada não apenas possível, mas também significativa e enriquecedora. Sou eternamente grato por estarem sempre ao meu lado, por me apoiarem incondicionalmente e por acreditarem em mim.

Aos meus colegas de trabalho, especialmente aos da área de Maquinação CNC, agradeço o vosso apoio e camaradagem, que foram essenciais para transformar este sonho em realidade. A vossa colaboração e boa disposição criaram um ambiente de trabalho positivo e motivador, que contribuiu significativamente para o meu desenvolvimento profissional.

A todos os que colaboraram direta ou indiretamente neste projeto, o meu sincero obrigado pelo apoio, amizade e compreensão. Agradeço aos meus familiares e amigos pelo incentivo constante e pelo suporte incondicional ao longo desta jornada académica. Sem o vosso apoio, este trabalho não teria sido possível.

Este percurso é o resultado de um esforço conjunto, e estou profundamente grato a cada um de vocês por terem tornado isso possível. A vossa colaboração, dedicação e apoio foram essenciais para o sucesso deste projeto. Agradeço do fundo do meu coração a todos os que contribuíram para este marco importante na minha vida profissional.



## Resumo

As organizações industriais para se manterem competitivas no mercado global atual necessitam de melhorar continuamente as suas operações. A redução dos tempos de *setup* ou de preparação é de extrema importância neste contexto, contribuindo para reduzir os tempos de produção e custos envolvidos, tornar os processos mais ágeis e flexíveis e melhorar a resposta ao cliente. O tempo de entrega do produto (bem ou serviço) ao cliente é um aspeto crucial que influencia significativamente a competitividade das empresas. Estabelecer e cumprir com prazos curtos de entrega é fundamental. O não cumprimento destes prazos pode acarretar penalizações financeiras e, em casos extremos, a perda de cliente e até mesmo o encerramento de empresas.

O presente estágio desenvolveu-se no âmbito da redução de *setups*, tendo sido delineado como objetivo principal a implementação da metodologia SMED (*Single Minute Exchange of Dies*) na produção de peças utilizando equipamentos de CNC (*Computer Numerical Control*). Para atingir este objetivo, procedeu-se numa primeira fase à caracterização da situação atual, abrangendo o levantamento dos tempos de *setup* dos programas CAM (*Computer-Aided Manufacturing*) associados à maquinação de cada tipo de peça. Procedeu-se ainda à realização de uma análise do tipo *Make or Buy*, com o propósito de determinar quais as peças que deveriam ser produzidas internamente e quais devem ser subcontratadas. Nesse contexto, foram ainda sugeridos possíveis processos produtivos alternativos, como a impressão 3D, para os casos em que os equipamentos produtivos existentes na Mecalbi não permitam alcançar os ganhos desejados.

A implementação da Metodologia SMED foi detalhada nas suas diversas etapas ao longo do trabalho, utilizando-se um algoritmo de *clustering* para agrupar as peças produzidas de acordo com as ferramentas de corte necessárias para a sua maquinação. Isto resultou numa redução de 16% no tempo de *setup* na fresagem, o que indica que foi necessário menos tempo para realizar os *setups*, em comparação com a metodologia seguida pelos operadores, baseado nas suas preferências individuais. Para as peças que são maquinadas por torneamento, a redução nos tempos de *setup* foi de 37%. O relatório explora detalhadamente as razões para esse resultado.

O presente trabalho constitui uma importante contribuição para melhorar a eficiência dos processos produtivos da empresa e fortalecer a sua competitividade no mercado em que se insere, alinhando-se com os princípios da produção *Lean*.

## Palavras chave

*Lean*, SMED, tempos de *setup*, maquinação CNC.



## Abstract

Industrial organizations need to continuously improve their operations to remain competitive in the current global market. Reducing setup times is extremely important in this context, as it helps reduce production times and costs, makes processes more agile and flexible, and improves customer responsiveness. The delivery time of the product (good or service) to the customer is a crucial aspect that significantly influences the competitiveness of companies. Establishing and meeting short delivery times is fundamental. Failure to meet these deadlines will result in financial penalties and, in extreme cases, the loss of customers and even the closure of companies.

This internship focused on the reduction of setups, with the primary objective of implementing the SMED (Single Minute Exchange of Dies) methodology in the production of parts using CNC (Computer Numerical Control) equipment. To achieve this objective, the first phase involved characterizing the current situation, including the collection of setup times for CAM (Computer-Aided Manufacturing) programs associated with the machining of each type of part. A *Make or Buy* analysis was also conducted to determine which parts should be produced internally and which should be subcontracted. In this context, alternative production processes, such as 3D printing, were suggested for cases where the existing production equipment at Mecalbi does not allow for the desired gains.

The implementation of the SMED methodology was detailed in its various stages throughout the work, using a clustering algorithm to group the parts produced according to the cutting tools required for their machining.

A 16% reduction in setup time was observed in milling, indicating that less time was needed to perform setups compared to the sequencing method defined by the operators based on their individual preferences. For parts machined by turning, a 37% gain was observed compared to the sequencing performed by the operators. The report explores in detail the reasons for this result.

This work constitutes an important contribution to improving the efficiency of the company's production processes and strengthening its competitiveness in the market, aligning with the principles of Lean production.

## Keywords

Lean, SMED, setup times, CNC machining.



# Índice geral

1.	Introdução .....	1
1.1.	Motivação .....	1
1.2.	Caracterização do Problema .....	2
1.3.	Objetivos.....	4
1.4.	Metodologia.....	5
1.5.	Organização do relatório.....	6
2.	Apresentação da Empresa.....	7
2.1.	Missão, Visão, Valores e Política Mecalbi.....	9
2.2.	Sistema de Gestão da Qualidade.....	10
2.3.	Processos da Mecalbi.....	11
2.4.	Interações entre processos .....	24
2.5.	Descrição das melhorias em curso nos processos da Mecalbi.....	25
2.6.	Descrição do processo de maquinação de peças.....	29
3.	Fundamentação Teórica e Revisão da Literatura .....	33
3.1.	Produção <i>Lean</i> .....	33
3.2.	Metodologia SMED.....	40
3.3.	Algoritmos de <i>Clustering</i> .....	43
3.4.	Revisão da Literatura .....	45
4.	Implementação do SMED na Maquinação de CNC .....	49
4.1.	Identificação dos equipamentos foco do estudo: .....	49
4.2.	Análise Make or Buy: .....	52
4.2.1.	Maquinação de peças de subcontratação / compra.....	53
4.2.2.	Peças maquinadas que requerem dois ou mais processos de fabrico.....	55
4.2.3.	Peças que necessitam de sistemas de fixação especiais.....	57
4.2.4.	Peças que requerem processos como pintura ou anodização.....	59
4.2.5.	Peças para incorporar (Soldar), em peças adquiridas.....	60
4.2.6.	Processo de arranque de apara versos processos aditivos.....	61
4.2.7.	Impressora 3D existente na Mecalbi.....	64
4.3.	Caracterização dos tempos de <i>setup</i> atuais .....	68
4.4.	Separação em <i>setup</i> interno do externo.....	82
4.5.	Conversão do <i>setup</i> interno em externo .....	89

4.6.	Racionalizar todos os aspetos da operação de setup .....	89
4.7.	Padronização das posições das Ferramentas.....	96
4.7.1.	Padronização da lista de ferramentas.....	98
4.8.	Padronização no desenvolvimento dos Equipamentos.....	102
5.	Agrupamento de Peças em Famílias de Produção: .....	105
5.1.	Algoritmo de Agrupamento .....	105
5.2.	Implementação do Algoritmo de Agrupamento:.....	109
5.3.	Aplicação Prática na Produção: .....	120
5.4.	Resultados e Análise .....	126
6.	Conclusões e Propostas de Trabalho Futuro .....	137
6.1.	Conclusões.....	137
6.2.	Limitações do Estudo .....	139
6.3.	Propostas de Trabalho Futuro.....	139
6.4.	Considerações Finais .....	140
	Referências bibliográficas.....	141
	Anexos A - Lista de maquinação do equipamento STCS-EVO500.....	144
	Anexos B - Lista de maquinação do equipamento STCS-EVO500TS .....	145
	Anexos C - Lista de maquinação do equipamento STCS-VMir .....	146
	Anexos D - Lista de maquinação da Opção Single Fixture do equipamento STCS-VMir .....	147
	Anexos E - Lista de maquinação do equipamento STCS-VMir Plus .....	148
	Anexos F - Lista de maquinação da Opção Single Fixture do equipamento STCS-VMir Plus .	149
	Anexos G - Lista de maquinação do equipamento STCS-VMir Plus UV .....	150

## Índice de figuras

Figura 1 - Metodologia adotada no trabalho.....	5
Figura 2 - Instalações da Mecalbi em Portugal .....	7
Figura 3 - Selo de Certificação Segundo a Norma ISO 9001:2015.....	11
Figura 4 - Fluxograma representativo do procedimento de Elaboração da Proposta [Fonte: Manual Mecalbi, 2020].....	13
Figura 5 - Fluxograma do processo de definição de requisitos e abertura de projeto externo [Fonte: Manual Mecalbi, 2020].....	14
Figura 6 - Fluxograma de análise/decisão sobre a necessidade de design e desenvolvimento [Fonte: Manual Mecalbi, 2020]. .....	16
Figura 7 - Fluxograma do processo de definição do produto - Produtos Standard, Customizados e Design e Desenvolvimento (D&D) [Fonte: Manual Mecalbi, 2020]. ...	16
Figura 8 - Fluxograma do Processo de Aprovisionamento [Fonte: Manual Mecalbi, 2020]. .....	19
Figura 9 - Fluxograma do Processo de Fabrico do Produto [Fonte: Manual Mecalbi, 2020]. .....	23
Figura 10 - Interações entre Processos [Fonte: Manual Mecalbi, 2020].....	24
Figura 11 – Fluxograma das datas de início e fim de produção .....	27
Figura 12 - Visão geral do Planeamento do Fabrico do Produto .....	29
Figura 13 – Zona de maquinação CNC da Mecalbi.....	30
Figura 14 - Layout da maquinação .....	31
Figura 15 - Conceitos básicos Lean e métodos [Adaptado de Dennis, 2007].....	34
Figura 16 -Abordagem das fases do SMED convencional. [Adaptado de Braglia, 2016] .....	42
Figura 17 - Diagrama de setup tradicional versus real. [Adaptado de Silvia Pellegrini, et al., 2012].....	43
Figura 18 - Matriz máquina / componente algoritmo Rank Order Clustering (ROC) [Adaptada de King, 1980].....	44
Figura 19 - Análise Pareto para as máquinas produzidas/vendidas dos equipamentos standard. ....	49
Figura 20 - STCS-EVO500.....	50
Figura 21 - STCS-EVO500TS.....	51
Figura 22 - STCS-VMir com Single Fixture e com Gabarito de retração customizado..	51

Figura 23 - STCS-VMir Plus com Single Fixture e com Gabarito de retração customizado .....	52
Figura 24 - STCS-VMir Plus UV .....	52
Figura 25 - Impressora XiP de Resina, Sistema de lavagem e o Sistema de cura.....	65
Figura 26 - Sistema de fixação de peças no processo de fresagem, denominada de prensa.....	69
Figura 27 - Sistema de fixação de peças no processo de torneamento, denominada de bucha de 3 grampos.....	69
Figura 28 - Sistema para efetuar o zero da peça por apalpação de forma automática.	70
Figura 29 - Sistema de aperto das ferramentas de corte no sistema de fresagem, denominado de cone porta pinças. ....	70
Figura 30 - Colocação dos cones porta pinças na máquina CNC. ....	71
Figura 31 - Sistema de medir a ferramentas por apalpação de forma automática. ....	71
Figura 32 - Maquinação da primeira peça.....	72
Figura 33 - Verificação da primeira peça e efetuar os ajustes necessários.....	72
Figura 34 – Sistemas de aperto da máquina FR004: Prensas CHICK QL1540 / Mesa de Vácuo VAC-MAT 600 x 400 .....	73
Figura 35 - Aplicação de Sistema para substituição rápida de prensa/mesa de vácuo. ....	90
Figura 36 - Aplicação de Mesa de Vácuo VAC-MAT 600 x 400.....	91
Figura 37 - Aplicação Prensas CHICK QL1540 .....	92
Figura 38 - Aplicação Prensas CHICK QL1540 / Mesa de Vácuo VAC-MAT 600 x 400	93
Figura 39 - “Armazéns” de ferramentas dos centros de maquinação (fresadoras).....	96
Figura 40 - “Armazéns” de ferramentas dos centros de Torneamento (tornos) .....	97
Figura 41 – Suportes para ferramentas no exterior das Máquinas.....	97
Figura 42 - Exemplo de uma peça onde a furação de passagem para parafusos não está padronizada. ....	103
Figura 43 - Peça utilizada no equipamento VMir Plus UV .....	104
Figura 44 - Peça utilizada nos equipamentos VMir e VMir Plus.....	104
Figura 45 – Descrição detalhada de cada código da referência do desenho das peças .....	111
Figura 46 – Exemplo de matriz com o algoritmo ROC para “HAAS Mill - PTFE - POM C” lista com as referências das peças e das ferramentas utilizadas.....	117

Figura 47 - Exemplo de matriz com o algoritmo ROC para “HAAS Mill - PTFE - POM C” com cálculo dos Pesos Binários .....	117
Figura 48 - Matriz final do algoritmo ROC para “HAAS Mill - PTFE - POM C” ordenada. ....	118
Figura 49 - Criação de projeto interno de maquinação .....	120
Figura 50 - Criação a lista “BOM” .....	120
Figura 51 - Criação a lista “BOM” com a sequência resultante da aplicação do algoritmo ROC.....	121
Figura 52 – Lista “BOM” criada e pronta para produção .....	121
Figura 53 - Lista de maquinação.....	122
Figura 54 – Aplicação para Auxílio do Operador CNC – MecView.....	123
Figura 55 - Aplicação de visualização com a lista das peças.....	123
Figura 56 - Aplicação de visualização com desenho técnico e lista de ferramentas ..	124
Figura 57 - Software SYSCNC, parque de máquinas da empresa Mecalbi.....	125
Figura 58 - Software SYSCNC com registo da Máquina FR005.....	125



## Lista de tabelas

Tabela 1 - Identificação das Máquinas CNC.....	30
Tabela 2 – Resumo do estudo realizados sobre a implementação da metodologia SMED .....	46
Tabela 3 - Resumo do estudo realizados sobre o algoritmo de agrupamento ROC.....	48
Tabela 4 - Lista de peças de subcontratação / compra.....	53
Tabela 5 - Lista de peças que requerem dois ou mais processos (Fresagem / Torneamento).....	56
Tabela 6 - Lista de peças maquinadas que necessitam sistemas de fixação especiais.	58
Tabela 7 - Lista de peças que requerem processos como pintura ou anodização .....	59
Tabela 8 - Lista de peças que são para incorporar (Soldar), em peças de Sheetmetal.	61
Tabela 9 - Tempos de Setup da impressão 3D .....	66
Tabela 10 - Comparação de custos Maquinação versos impressão 3D .....	67
Tabela 11 - Tempos de Setup dos Centros de Maquinação CNC FR003, FR005, FR008 e FR009 .....	75
Tabela 12 - Tempos de Setup do Centro de Maquinação CNC FR004 com prensas .....	76
Tabela 13 - Tempos de Setup do Centro de Maquinação CNC FR004 com Mesa de Vácuo (1/2) .....	77
Tabela 14 - Tempos de Setup do Centro de Maquinação CNC FR004 com Mesa de Vácuo (2/2) .....	78
Tabela 15 - Tempos de Setup do Centro de Torneamento TR001 .....	80
Tabela 16 - Tempos de Setup do Centro de Torneamento TR002 .....	81
Tabela 17 - Tempos de Setup dos Centros de Maquinação CNC FR003, FR005, FR008 e FR009 .....	83
Tabela 18 – Tempos de Setup do Centro de Maquinação CNC FR004 com prensas .....	84
Tabela 19 - Tempos de Setup do Centro de Maquinação CNC FR004 com Mesa de Vácuo antes de implementar o sistema de substituição rápida de prensa/mesa de vácuo (1/2) .....	85
Tabela 20 - Tempos de Setup do Centro de Maquinação CNC FR004 com Mesa de Vácuo antes de implementar o sistema de substituição rápida de prensa/mesa de vácuo (2/2) .....	86
Tabela 21 - Tempos de Setup do Centro de Torneamento TR001 .....	87
Tabela 22 - Tempos de Setup do Centro de Torneamento TR002 .....	88

Tabela 23 - Material necessário para aplicação de Sistema .....	91
Tabela 24 - Material necessário para aplicação da Mesa de Vácuo VAC-MAT 600 x 400 .....	92
Tabela 25 - Material necessário para aplicação das Prensas CHICK QL1540 .....	92
Tabela 26 - Tempos de Setup após a implementado o sistema de substituição “rápida” de prensa/mesa de vácuo (1/2) .....	94
Tabela 27 - Tempos de Setup após a implementado o sistema de substituição “rápida” de prensa/mesa de vácuo (2/2) .....	95
Tabela 28 - Listas de ferramentas da máquina TR001.....	99
<i>Tabela 29 - Listas de ferramentas da máquina TR002.....</i>	99
Tabela 30 - Listas de ferramentas dos Centros de Maquinação .....	100
Tabela 31 - Exemplo dos ajustes efetuados na Renumeração das ferramentas.....	101
Tabela 32 - Matriz Algoritmo ROC .....	106
Tabela 33 - Matriz Algoritmo ROC - Exemplo do Passo 1 .....	107
Tabela 34 - Matriz Algoritmo ROC - Exemplo do Passo 2 .....	107
Tabela 35 - Matriz Algoritmo ROC - Exemplo do Passo 3 .....	108
Tabela 36 - Matriz Algoritmo ROC - Exemplo do Passo 4 .....	108
Tabela 37 - Matriz Algoritmo ROC - Exemplo do Passo 5 .....	109
Tabela 38 - Exemplo dos Dados compilados.....	112
Tabela 39 - Exemplo do problema com a numeração.....	113
Tabela 40 - Amostra do resultado da renumeração das ferramentas.....	114
Tabela 41 - Tabela dinâmica resultante da análise ao MRP .....	115
Tabela 42 - Folha de Excel “Principal” para inserção das referências e quantidades	116
Tabela 43 - Sequência das peças resultante da aplicação do algoritmo ROC .....	119
Tabela 44 -Dados das ferramentas resultante da aplicação do algoritmo ROC.....	119
Tabela 45- Amostra da compilação dos resultados do MRP, com os projetos e as quantidades necessárias das peças a fabricar para a recolha dos tempos.....	126
Tabela 46 - Sequência das peças definida pelo operador para a Máquina TR002 .....	127
Tabela 47 - Sequência das peças definida pelo operador para a Máquina FR008 .....	128
Tabela 48 – Sequência das peças sugerida pelo Método ROC para a Máquina TR002 .....	129
Tabela 49 – Sequência das peças sugerida pelo Método ROC para a Máquina FR008 .....	130

Tabela 50 - Lista de Ferramentas resultante da aplicação do algoritmo ROC para a máquina TR002.....	131
Tabela 51 - Lista de Ferramentas resultante da aplicação do algoritmo ROC para a máquina FR008.....	132
Tabela 52 - Exemplo dos tempos obtidos para comparação dos métodos Maquinação Aleatória e Maquinação Sugerida pelo Método ROC .....	134
Tabela 53 - Comparação dos dados recolhidos no processo de torneamento .....	135
Tabela 54 - Comparação dos dados recolhidos no processo de fresagem .....	136



## **Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos**

- ALA – Average Linkage Algorithm
- BOM – Bill of Materials
- CAD – Computer Aided Design
- CAM – Computer Aided Manufacturing
- CIA – Cluster Identification Algorithm
- CNC – Computer Numerical Control
- D&D – Design e Desenvolvimento
- DCA – Direct Clustering Analysis
- FIFO – First In, First Out
- ISO – International Organization for Standardization
- JIT – Just-in-Time
- LIFO – Last In, First Out
- MPS – Master Production Schedule
- MRP – Material Requirements Planning
- PCB's – Printed Circuit Board
- ROC – Rank Order Clustering
- SGQ – Sistema de Gestão da Qualidade
- SLA – Single Linkage Algorithm
- SMED – Single Minute Exchange of Dies
- STCS – Shrinking Tube Control System
- TPS – Toyota Production System
- VBA – Visual Basic for Applications
- VSM – Value Stream Mapping
- WIP – Work in Process





# 1. Introdução

## 1.1. Motivação

A sociedade contemporânea atravessa um período de transformações profundas e rápidas, impulsionadas principalmente pela revolução tecnológica associada à indústria 4.0 e pela intensificação dos processos de globalização. Estas mudanças têm redefinido não apenas a forma como as empresas operam, mas também as expectativas e exigências dos consumidores. Num ambiente caracterizado por crescente volatilidade, incerteza, complexidade e ambiguidade dos mercados (Ptak and Smith, 2016) as organizações industriais enfrentam a necessidade de se adaptarem continuamente para permanecerem relevantes e competitivas.

No cerne destas transformações, está a procura contínua pela qualidade, produtividade e flexibilidade. As organizações são desafiadas a atender às expectativas dos clientes em termos de qualidade dos produtos, prazos de entrega cada vez mais reduzidos e personalização crescente destes, enquanto simultaneamente procuram melhorar/ otimizar os seus processos e reduzir os seus custos operacionais. Neste contexto, a capacidade de adaptação torna-se um referencial competitivo crucial.

A Mecalbi, empresa onde foi realizado este estágio, reconhece a importância estratégica de melhorar continuamente os seus processos produtivos nas diferentes áreas ou setores industriais da empresa, incluindo a área de maquinação de CNC. Esta área desempenha um papel fundamental na produção das peças ou componentes para os produtos (i.e., equipamentos) oferecidos pela empresa, e a eficiência operacional neste setor tem um impacto direto na competitividade global da empresa. Assim, com o objetivo de melhorar o desempenho dos processos produtivos neste setor, este trabalho aborda a temática dos tempos de *setup*, i.e., do tempo envolvido para preparar as máquinas de CNC para processar a próxima peça, com impacto nos tempos de produção e nos custos. Para tal será usada a Metodologia SMED (*Single Minute Exchange of Dies*) proposta por Shigeo Shingo (1985), no âmbito da designada produção *Lean* (Womack, Jones e Roos, 1990), a qual visa reduzir os tempos de *setup* a uma duração mínima - no contexto da Toyota a menos de 10 minutos. A metodologia SMED, ou troca rápida de ferramentas, tem como objetivo principal reduzir o tempo de *setup* das máquinas, viabilizando mudanças mais frequentes entre diferentes peças ou lotes de peças.

A implementação da Metodologia SMED no setor de maquinação de CNC da empresa representa uma abordagem estratégica para otimizar a utilização dos recursos, reduzir os tempos de inatividade das máquinas e aumentar a eficiência global dos processos de maquinação. Esta iniciativa está alinhada com a procura contínua da empresa pela excelência operacional e inovação.

## 1.2. Caracterização do Problema

A Mecalbi tem como compromisso primordial, a procura pela excelência operacional e pela satisfação do cliente. Para garantir isso, estabeleceu como um dos pilares fundamentais da sua política de qualidade, o rigoroso cumprimento dos prazos de entrega, aliado à excelência na qualidade dos produtos oferecidos. Atualmente, o planeamento da empresa está alicerçado numa produção por lotes, nomeadamente dos equipamentos standard, que são os mais vendidos.

Esses lotes de equipamentos são definidos mediante a análise do histórico de vendas mensais e das projeções de futuras encomendas fornecidas pelos clientes ao departamento comercial. Com base nisto, o departamento de aprovisionamentos, responsável pelas compras, procede à aquisição de materiais de fornecedores externos, incluindo componentes e outros itens não produzidos internamente. Entre esses itens estão as estruturas em chapa quinada, soldada e pintada, que são usadas na estrutura dos equipamentos produzidos pela empresa.

A produção das peças maquinadas internamente pelo setor de maquinação CNC é baseada na mesma metodologia de produção por lotes. Assim o responsável pelo departamento de aprovisionamento alerta o responsável do setor de maquinação CNC sobre as projeções de encomendas de equipamentos para o próximo período, de 4 a 5 semanas. Consequentemente, torna-se necessário realizar a maquinação das respetivas peças. Esta abordagem frequentemente resulta em excesso de stock, uma vez que a quantidade produzida é calculada para refletir todas as potenciais necessidades dos clientes. No entanto, essas previsões nem sempre se traduzem em encomendas reais, resultando no armazenamento de peças que podem não ser imediatamente necessárias.

Após a produção, as peças maquinadas são entregues e armazenadas no armazém de componentes da empresa, onde permanecem em stock até serem necessárias para a montagem dos equipamentos. Um dos problemas desta abordagem resulta do excesso de stock, o qual acarreta custos diretos de posse, envolvendo a imobilização de capital, a necessidade de alocar espaço e recursos para armazenar os componentes produzidos, e o risco de obsolescências devido à rápida evolução dos equipamentos produzidos pela empresa, mas também um aumento do trabalho em curso de fabrico no setor de maquinação CNC e consequentemente dos tempos de produção e eventualmente dos prazos de entrega.

Consciente da necessidade permanente de melhorar o seu sistema de produção e empenhada em manter-se na vanguarda da eficiência operacional, a Mecalbi vê na filosofia da produção *Lean* uma oportunidade para superar esses desafios. A implementação da produção *Lean*, que se concentra em 5 princípios fundamentais, mais à frente discutidos, e na eliminação do desperdício, promete reduzir o tempo de produção, minimizar o stock desnecessário, aumentar a eficiência operacional e elevar a competitividade da empresa no mercado. Assim, a Mecalbi está a apostar na

transição de um sistema de produção “empurrada” ou *push*, baseado em previsões e consequente na produção antecipada de quantidades que muitas vezes acabam em stock, para um sistema de produção “puxada” ou *pull*, que inicia a produção apenas em resposta às encomendas dos clientes. Para isso, adaptou o seu sistema de planeamento para ser baseado em encomendas, em vez de previsões, para gerar as necessidades de produção (i.e., ordens de produção) e de compra (i.e., encomendas).

A transição para a produção *pull*, com a consequente produção em lotes de menor quantidade, ou até unitária, tem evidenciado problemas que se encontravam de certa forma escondidos, e exacerbado outros. Um desses problemas, com impacto ao nível da maquinação de CNC, é a aumento do tempo de inatividade das máquinas. Com a necessidade de realizar *setups* mais frequentes devido à produção em lotes de menor quantidade e à maior diversidade de produtos que entra em produção, os operadores passam a estar mais ocupados com a realização de *setups*, o que resulta em tempos maiores de paragem das máquinas de CNC por falta de atendimento, já que os operadores são responsáveis por operar mais do que uma máquina.

A falta de atendimento das máquinas com a consequente subutilização destas pode levar a atrasos na execução dos trabalhos, e consequentemente ao aumento dos prazos de entrega. Além disso, a falta de supervisão contínua pode resultar em problemas de qualidade, desperdício de matéria-prima e até mesmo danos nas próprias máquinas de CNC devido a operações inadequadas. Tais situações podem ocorrer por diversos motivos, incluindo a quebra de ferramentas, falhas no fornecimento de energia ou a fixação inadequada da peça no sistema de fixação. Cada um destes problemas pode comprometer a eficiência do processo produtivo, resultando em peças defeituosas, tempo adicional para correção de problemas, e custos adicionais.

Para mitigar este problema, uma possível abordagem passa pela adição (i.e., contratação) de mais operadores para a maquinação de CNC. Contudo esta abordagem implica custos adicionais. Outra possível abordagem, que permitirá aumentar a eficiência operacional da empresa sem custos operacionais adicionais, passa pela redução dos tempos de *setup*. Isto pode incluir a implementação de sistemas de programação e planeamento mais eficazes, a formação de operadores multifuncionais para lidar com várias máquinas e a implementação da metodologia SMED para reduzir os tempos de *setup*. O presente estágio tem exatamente como objetivo a introdução da metodologia SMED na área de maquinação CNC da Mecalbi.

Esta iniciativa visa, não só melhorar os processos internos da empresa, mas também fortalecer a sua posição competitiva no mercado, capacitando-a para atender de maneira mais eficiente às necessidades e expectativas dos clientes.

### 1.3. Objetivos

O presente estágio tem como principal objetivo a implementação da metodologia SMED no setor de maquinação de CNC, enquadrada no contexto de produção *Lean* que a empresa procura adotar. O principal objetivo é reduzir os tempos de *setup* das máquinas ferramentas e assim reduzir os tempos de inatividade destas máquinas. Para tal, o trabalho tem como objetivos intermédios a caracterização da situação atual em termos de *setup*, e a realização de uma análise do tipo *Make or Buy* para determinar quais as peças que devem ser produzidas internamente e quais devem ser subcontratadas. Para os casos em que os equipamentos produtivos existentes na Mecalbi não permitam alcançar os ganhos desejados, serão também sugeridos processos produtivos alternativos, tais como processos aditivos ou de impressão 3D.

A caracterização da situação atual implica o levantamento de informação relativa às tarefas executadas e aos tempos envolvidos, especialmente os tempos de *setup* dos programas CAM relacionados com a maquinação de cada tipo de peça. Além disso, de acordo com a metodologia SMED, é necessário estabelecer padrões de trabalho que incluam a classificação e separação das tarefas em internas e externas, a conversão de tarefas internas em externas e a redução do conteúdo das tarefas internas e externas. No âmbito desta última, pretende-se identificar famílias de peças que recorram às mesmas ferramentas, que possam ser agrupadas, de forma que a sua fabricação possa ser considerada dentro de um mesmo *setup* ou com tempos mínimos de *setup*. Para tal será necessário identificar algoritmos de *clustering* e/ou regras de sequenciação que possam ser usadas.

Os tempos de *setup* consistem em tempos de preparação das máquinas de CNC para a execução (i.e., maquinação) da próxima peça ou lote de peças, garantido que esta(s) fique(m) em conformidade com os requisitos especificados pelo *design*. Esta preparação envolve um conjunto de operações, nomeadamente: a limpeza do sistema de fixação das peças a serem maquinadas para garantir que não haja resíduos que possam comprometer a precisão da maquinação, a fixação da peça no sistema de aperto, realizar o zero da peça, ou seja, definir a posição inicial de referência para o processo de maquinação, o aperto das ferramentas necessárias nos sistemas de fixação, conhecidos como cones de aperto, a colocação dos mesmos na máquina CNC e a medição das ferramentas para assegurar que atendem às especificações exigidas. Uma vez concluído este conjunto de operações, inicia-se a maquinação da primeira peça. Após a conclusão da maquinação, esta primeira peça é verificada ainda no sistema de fixação, realizando-se todos os ajustes necessários para garantir que a peça fique conforme os requisitos. O tempo de *setup* é considerado finalizado quando a primeira peça conforme é produzida.

## 1.4. Metodologia

A metodologia adotada para a realização deste trabalho no setor de maquinação de CNC da empresa encontra-se ilustrada na Figura 1 e é baseada na metodologia SMED.



Figura 1 - Metodologia adotada no trabalho

A metodologia SMED, como referido acima, visa a redução dos tempos de *setup*, envolvendo 4 fases.

Na *fase 0*, realizou-se a caracterização inicial, durante a qual foram recolhidos os dados específicos sobre os tempos de *setup* de diferentes peças nas diversas máquinas de CNC. A recolha decorreu durante o período de estágio, de fevereiro a maio de 2024. A análise incluiu a identificação de operações críticas e a avaliação das variáveis que impactam diretamente os tempos de *setup* das máquinas. De seguida realizou-se uma análise do tipo *Make or Buy* para determinar quais as peças que devem ser produzidas internamente e quais devem ser subcontratadas. Para as peças produzidas internamente, um subgrupo de equipamentos foi selecionado para aplicação das fases 1, 2 e 3 da metodologia SMED, com base numa análise de *Pareto*.

Na *fase 1*, realizou-se a identificação das operações de *setup*, transformando as operações internas (realizadas com a máquina parada) em operações externas (realizadas com a máquina em funcionamento).

Na *fase 2*, o foco esteve na conversão dos *setups* internos em externos sempre que possível, garantindo que as operações realizadas com a máquina parada sejam minimizadas. Serão implementados métodos para preparar ferramentas e peças antes da máquina parar, de forma a reduzindo os tempos de *setup* interno.

Na *fase 3*, foram estabelecidos padrões de trabalho e padronização das ferramentas para minimizar *setups* de troca de ferramenta. Isso inclui a criação de listas de ferramentas mais usadas e a organização de suportes externos às máquinas para fácil acesso. A colaboração entre os departamentos de maquinação e

desenvolvimento será fundamental para projetar peças que minimizem os tempos de fabricação e montagem, utilizando materiais e métodos de fixação padronizados.

Para identificar famílias de peças que utilizem as mesmas ferramentas e que possam ser agrupadas, será aplicado um algoritmo de *Clustering*. Este agrupamento permitirá que a fabricação das peças seja considerada dentro de um mesmo *setup* ou com tempos mínimos de *setup*.

## 1.5. Organização do relatório

O relatório está organizado em seis capítulos, cada um abordando uma parte específica do trabalho. No primeiro capítulo, é apresentada a contextualização do estudo, seguida pela motivação que justificou a escolha do tema. Este capítulo também define os objetivos pretendidos e descreve a estrutura geral que será seguida ao longo do relatório.

O segundo capítulo é dedicado à descrição da empresa em estudo, fornecendo uma visão geral das suas operações. São detalhados aspetos como o sistema de gestão da qualidade e as políticas da empresa, além de explorar os processos internos em três áreas principais: (i) Comercial/Definição do Produto; (ii) Aprovisionamento; e (iii) Fabrico do Produto, com ênfase na maquinação de CNC, que é o foco principal do trabalho. Além disso, o capítulo descreve os equipamentos específicos da Mecalbi que foram abordados durante o estágio.

O terceiro capítulo é apresentada a fundamentação teórica e uma revisão da literatura nos tópicos relevantes ao trabalho. Este capítulo inclui uma revisão sobre a produção *Lean* e sobre a metodologia SMED, entre outros.

No quarto capítulo, é discutida a metodologia adotada para o desenvolvimento do projeto, incluindo a implementação do SMED nas suas diversas fases. Aborda ainda a análise *Make or Buy*, considerando diversos critérios como a necessidade de processos de fabrico específicos, sistemas de fixação, e processos adicionais como pintura ou anodização.

O quinto capítulo aborda a aplicação de um algoritmo de *clustering*, no âmbito da fase 3 da metodologia SMED, visando identificar famílias de peças para maquinação. Este capítulo aborda as técnicas de preparação, cálculo e ordenação necessárias para a aplicação do algoritmo. Posteriormente, apresenta os resultados obtidos e a sua análise com implicações práticas na produção.

Por fim, o sexto capítulo refere-se à conclusão e propostas de trabalho futuro. Este resume as principais conclusões do projeto, discute as limitações encontradas e sugere possíveis propostas de trabalho futuro relacionados com o tema.

## 2. Apresentação da Empresa

A Mecalbi foi fundada em 2006 e tem sede em Castelo Branco, Portugal (Figura 2). A Mecalbi é uma empresa de renome na indústria automóvel, especializada em mecatrónica e, mais especificamente, em equipamentos de retração. O seu percurso desde a sua criação até aos dias atuais é marcado por um crescimento constante e uma evolução significativa nas suas operações e oferta de produtos.



*Figura 2 - Instalações da Mecalbi em Portugal*

Inicialmente concebida como uma empresa de mecatrónica, a Mecalbi iniciou a sua atividade por desenvolver soluções customizadas para atender às necessidades específicas dos clientes. No entanto, ao longo do tempo, a sua atenção voltou-se cada vez mais para o desenvolvimento e fabricação de equipamentos de retração, tornando-se um dos principais especialistas a nível global nesse segmento de mercado. Esse reposicionamento estratégico permitiu à Mecalbi consolidar a sua posição como uma referência no setor automóvel, atendendo às necessidades dos grandes fabricantes de cablagens em todo o mundo.

Uma das características que distinguem a Mecalbi é a ênfase na satisfação do cliente e na personalização de soluções tecnológicas e avançadas. Todos os projetos e produtos são desenvolvidos e produzidos internamente, o que não só garante um elevado padrão de qualidade, mas também permite à empresa oferecer um serviço de excelência e adaptar-se às exigências cada vez maiores do mercado. Essa abordagem orientada para o cliente é um dos pilares do sucesso da Mecalbi e tem sido fundamental para o seu crescimento global.

Atualmente, a Mecalbi é uma empresa global, com mais de 99% da sua produção destinada ao mercado externo. A sua presença nos quatro continentes, resulta de uma sólida rede de parceiros estratégicos que garantem suporte técnico e comercial em escala local. Essa expansão geográfica e a entrada em mercados internacionais afirmam o reconhecimento da Mecalbi como uma especialista mundial em equipamentos de retração. A Mecalbi destaca-se não apenas pela qualidade e eficiência dos seus produtos, mas também pela sua capacidade de inovação e flexibilidade para adaptar-se às exigências do mercado.

Para fortalecer a sua presença internacional e melhor atender às necessidades dos clientes, a Mecalbi estabeleceu duas filiais estratégicas: uma nos Estados Unidos e outra no México. Esta última, possui uma pequena área fabril, cuja proximidade com o mercado mexicano permite produzir pequenos projetos diretamente para atender às necessidades locais. Essas iniciativas demonstram o compromisso da Mecalbi em expandir os seus horizontes e oferecer soluções eficazes e adaptadas aos diferentes mercados em que atua.

A linha de produtos da Mecalbi abrange uma ampla e variedade de equipamentos, divididos em quatro categorias principais, nomeadamente:

- *Tecnologia de infravermelhos:* consiste na produção de calor através da emissão de radiação infravermelha, uma forma de energia eletromagnética situada entre as micro-ondas e a luz visível. Esta tecnologia é amplamente utilizada em aplicações industriais como a cura de revestimentos, aquecimento de materiais e retração de componentes plásticos, devido à sua capacidade de aquecer rapidamente e de forma uniforme.
- *Tecnologia de ar quente:* é semelhante aos secadores domésticos, porém em uma escala maior e capaz de atingir temperaturas muito mais altas. Essencialmente, essa tecnologia utiliza uma resistência elétrica para aquecer o ar que passa através dela. A passagem de ar pode ser impulsionada por um motor elétrico ou através do uso de ar comprimido.
- *Equipamentos de teste:* têm a finalidade de detetar imperfeições que possam ocorrer durante o processo de retração. Um dos principais objetivos deste processo é garantir que o cabo seja estanque nessa zona, i.e., que seja impermeável à humidade e que não permita a passagem de corrente elétrica para fora do cabo.
- *Equipamentos personalizados:* estes tipos de equipamentos são projetados para atender às necessidades específicas dos clientes, podendo ser customizações de equipamentos standard já existentes ou inteiramente novos, concebidos para aplicações exclusivas. Um exemplo é o desenvolvimento de um sistema automático com diversos dispositivos de retração e enfitamento integrados que deteta os vários componentes da cablagem, preparando-os e posicionando-os nas zonas de processamento.

Outro exemplo poderá ser um equipamento para monitorizar, controlar e assegurar que o *splice* da cablagem possui a quantidade correta de cola adicional antes da retração, garantindo a estanquicidade da área de retração. Cada um destes exemplos ilustra as soluções personalizadas oferecidas pela Mecalbi, que atendem às especificidades e necessidades únicas dos clientes.

Dentro destas quatro categorias, a empresa oferece uma gama diversificada de soluções, desde equipamentos standard até soluções altamente personalizadas para atender às necessidades específicas de cada cliente.

## 2.1. Missão, Visão, Valores e Política Mecalbi

O texto que se apresenta de seguida é uma transcrição do código de conduta da Mecalbi (Mod.0139.PT-B):

- *Missão:* Desenvolver e conceber produtos com soluções tecnologicamente ambiciosas na área de mecatrónica, através de processos eficientes e que satisfaçam as necessidades e expectativas dos clientes, com foco na qualidade e inovação.
- *Visão:* Ser considerado o melhor fornecedor pelos clientes da Mecalbi, dentro do âmbito da empresa.
- *Valores:*
  - *Pessoas:* Reconhecemos que o nosso mérito advém das pessoas envolvidas na nossa atividade. Garantimos o bem-estar e o desenvolvimento a nível profissional e pessoal dos nossos colaboradores.
  - *Trabalho em equipa:* Asseguramos o sucesso e crescemos dia após dia com o nosso trabalho em equipa. Fomentamos confiança e respeito através da cultura de cooperação que existe na nossa empresa.
  - *Ética e transparência:* Atuamos de forma ética e mantemos uma comunicação transparente com todos os envolvidos na nossa atividade.
  - *Inovação:* Estamos cientes de que a nossa posição no mercado depende da inovação e tecnologia que usamos. Inovamos no sentido de melhorar continuamente e fomentar o crescimento do negócio.
  - *Qualidade:* Criamos produtos de excelência que acompanham as tendências de mercado. É nossa prioridade oferecer a mais alta qualidade e garantir a satisfação dos nossos clientes.

- *Política Mecalbi:*
  - *Satisfação dos clientes:* Atuamos com foco na satisfação dos nossos clientes. Fazemos todos os esforços para superar as suas expectativas explícitas e implícitas. Criamos produtos e serviços alinhados com as necessidades dos clientes, através de soluções que garantem a qualidade, segurança, fiabilidade e os custos pretendidos.
  - *Satisfação da organização:* Visamos um crescimento sustentável da organização em todos os mercados em que atuamos. Rentabilizamos conscientemente os capitais investidos.
  - *Satisfação dos colaboradores:* Garantimos o bem-estar dos colaboradores através de um ambiente de trabalho salutar. Proporcionamos o desenvolvimento profissional e pessoal através de formações, avaliações de desempenho e reconhecimento de mérito.
  - *Satisfação dos parceiros e fornecedores:* Mantemos uma boa relação com parceiros e fornecedores. Honramos os compromissos estabelecidos e proporcionamos um crescimento sustentado conjunto.
  - *Satisfação da sociedade:* Queremos ser social e ambientalmente responsáveis. Implementamos medidas que contribuem para a sustentabilidade ambiental e estabelecemos relações com entidades públicas e sociais, de modo a contribuir para a criação de valor na comunidade. Garantimos o cumprimento legal e regulamentar das exigências aplicáveis à nossa atividade.

## **2.2. Sistema de Gestão da Qualidade**

A Mecalbi estabeleceu e mantém um rigoroso Sistema de Gestão da Qualidade que abrange todas as etapas do processo, desde o desenvolvimento até à comercialização de produtos e soluções tecnológicas no campo da mecatrônica. O sistema foi projetado para assegurar que todos os processos, procedimentos e atividades estejam alinhados com os padrões de qualidade e eficiência.

No âmbito da certificação pela ISO - *International Organization for Standardization*, a Mecalbi demonstrou o seu compromisso com a excelência ao obter uma série de certificações ao longo dos anos. Inicialmente, em 2010, a empresa conquistou a certificação ISO 9001, Figura 3, destacando o compromisso com a qualidade em todas as áreas de operação. Desde então, a Mecalbi expandiu o seu intuito, obtendo certificações adicionais nas suas operações internacionais. Em 2017, as filiais da empresa no México e nos Estados Unidos foram certificadas pela ISO 9001, validando a consistência dos processos de comercialização de produtos e soluções tecnológicas no campo da mecatrônica nessas regiões.

O compromisso da Mecalbi com a qualidade não parou por aí. Em 2021, a empresa ampliou ainda mais o desígnio de sua certificação ISO 9001 na filial mexicana, agora abrangendo não apenas a comercialização, mas também o desenvolvimento e a produção de produtos e soluções tecnológicas na área de mecatrônica. Isso destaca a constante procura da empresa pela excelência em todas as fases do ciclo de vida do produto, desde a concepção até a entrega ao cliente.

Essas certificações não apenas validam a dedicação da Mecalbi à qualidade, mas também proporcionam aos clientes a confiança de que estão a adquirir produtos e soluções tecnológicas que atendem aos mais altos padrões de desempenho e confiabilidade na área de mecatrônica.



*Figura 3 - Selo de Certificação Segundo a Norma ISO 9001:2015*

## 2.3. Processos da Mecalbi

Os principais processos da Mecalbi são os seguintes:

- Processo de Gestão – Planeamento, Melhoria e Revisão do SGQ
- Processo de Suporte – Marketing e Recursos Humanos
- Processo de Realização do Produto:
  - Comercial / Definição do Produto
  - Aprovisionamento
  - Fabrico do Produto

O processo de Realização do Produto é o foco do presente trabalho, abrangendo os processos mencionados acima.

O processo Comercial / Definição Do Produto é da responsabilidade dos gestores Comercial e de Desenvolvimento, sendo que os principais objetivos destes processos são:

- Fazer a ligação da empresa com o cliente, numa atitude permanente de cooperação e parceria com este;
- Desenvolver atividades com o objetivo de garantir a satisfação do cliente, assegurando a definição de prazos de entrega realistas que atendam às

necessidades dos clientes e a entrega do melhor produto ao menor custo industrial.

- A ligação ao cliente é da responsabilidade do departamento comercial, respondendo aos pedidos de propostas comerciais, orçamentos e encomendas. A Figura 4 representa um fluxograma que descreve detalhadamente este processo, com um foco específico nas responsabilidades do departamento comercial. O objetivo primordial deste departamento é criar propostas em resposta a consultas de potenciais clientes ou projetos.

O processo de Elaboração da Proposta tem início com a “Consulta de Cliente”, em que o departamento Comercial recebe uma consulta ou pedido de um potencial cliente. A partir deste momento, o departamento Comercial inicia a “Abertura de Proposta/Análise de requisitos do Cliente,” um processo que implica a análise atenta dos requisitos do cliente. Durante este processo, há um momento crítico em que se verifica se existem “Dúvidas?” em relação aos requisitos do cliente. Se existirem dúvidas, o processo divide-se em duas opções: a primeira é o “Esclarecimento com Cliente,” em que o departamento comercial comunica diretamente com o cliente para esclarecer todas as dúvidas e obter informações adicionais. A segunda opção ocorre quando o projeto envolve produtos técnicos ou outras situações complexas, nesse caso, o departamento comercial pode solicitar apoio técnico ao departamento de “Design & Desenvolvimento” para uma análise mais aprofundada das soluções técnicas.

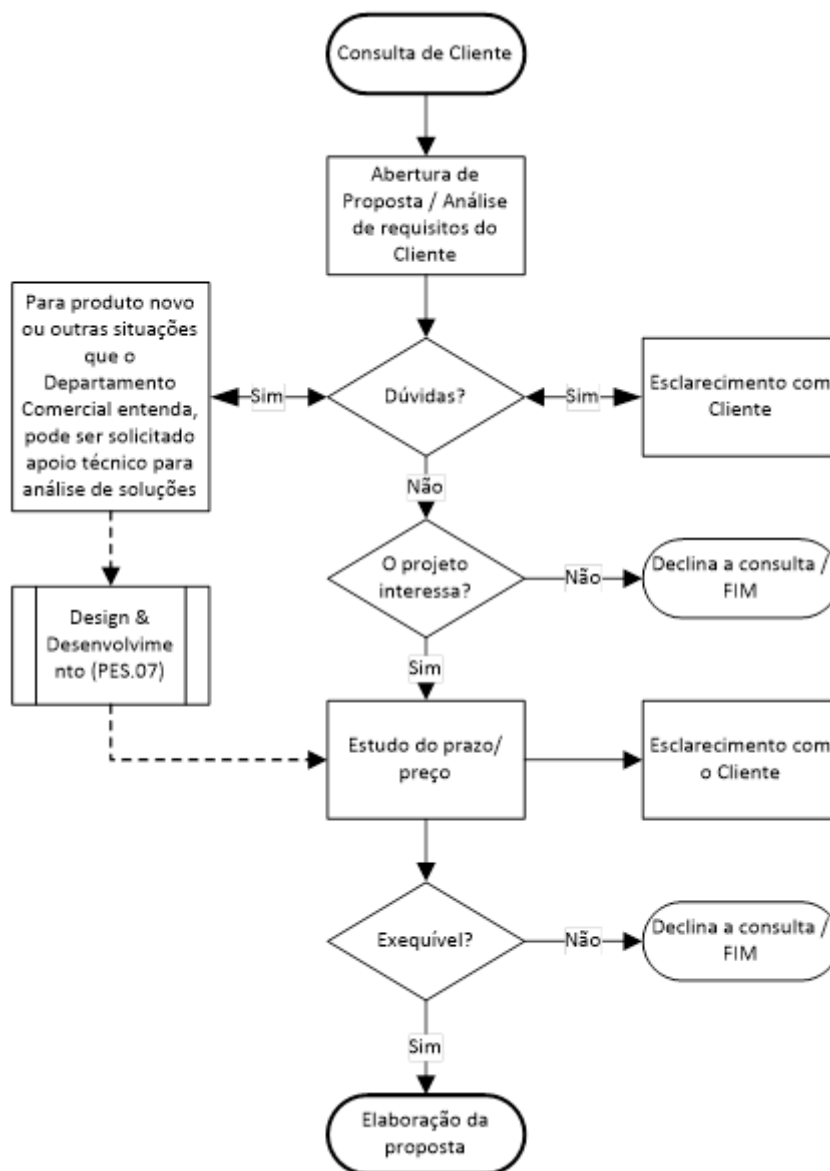


Figura 4 - Fluxograma representativo do procedimento de Elaboração da Proposta [Fonte: Manual Mecalbi, 2020].

Após o esclarecimento das dúvidas, o processo continua com o “Estudo do prazo/preço,” no qual o departamento comercial avalia os custos e prazos associados ao projeto. Simultaneamente, verifica novamente com o cliente para garantir que todos os aspetos estejam alinhados. Neste ponto, uma nova questão pode colocar-se: “É Exequível?” Esta visa determinar se o projeto é viável, com base nos custos, prazos e recursos disponíveis. Se a resposta for negativa, o processo termina com um “Declina a consulta/FIM.” Por outro lado, se o projeto for considerado exequível, o departamento Comercial avança para a fase de “Elaboração da Proposta.” Aqui, é criada uma proposta formal que inclui detalhes sobre custos, prazos e outros termos e condições relevantes.

Este fluxograma assegura que todas as etapas do processo, desde o primeiro contacto com o cliente até à entrega da proposta, sejam cuidadosamente geridas e documentadas. A sua estrutura facilita uma comunicação eficaz com o cliente e garante que as necessidades e requisitos sejam atendidos de forma eficiente.

O fluxograma da Figura 5 descreve o processo de definição de requisitos e abertura de projeto, que ocorre após a elaboração de uma proposta pelo departamento Comercial.

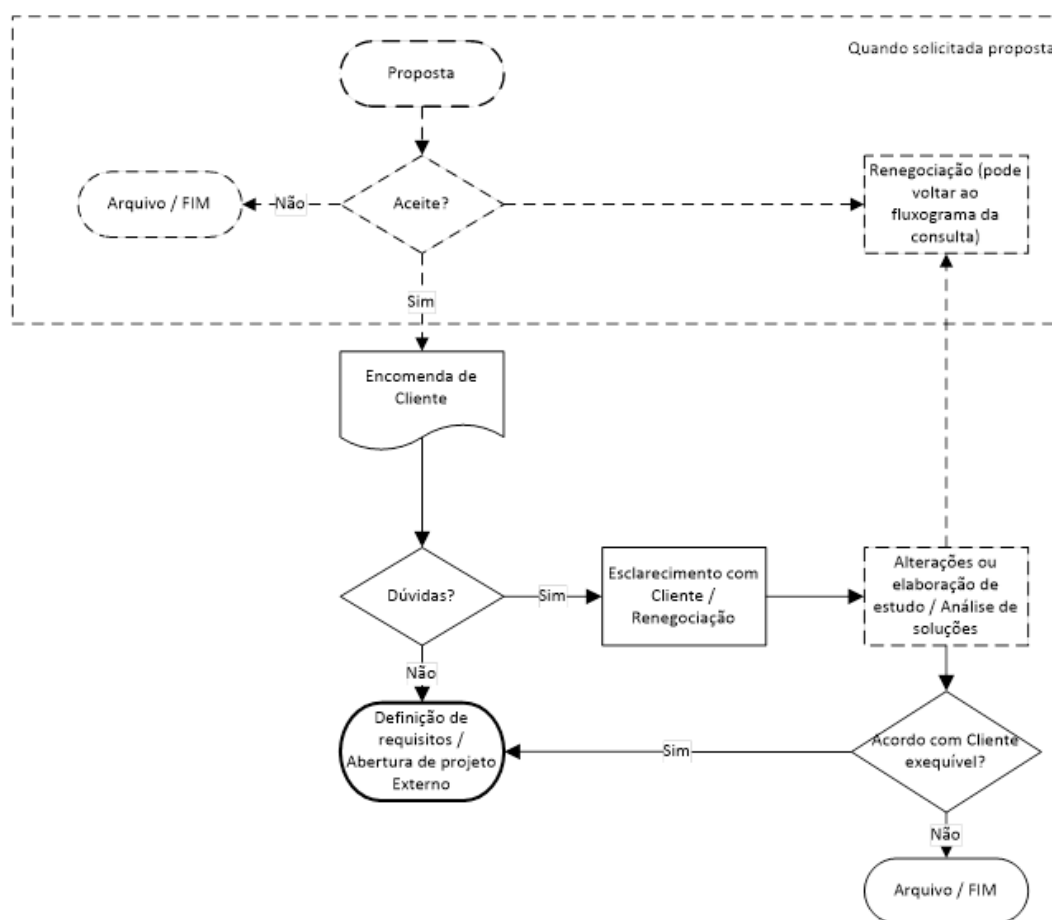


Figura 5 - Fluxograma do processo de definição de requisitos e abertura de projeto externo [Fonte: Manual Mecaldi, 2020].

O processo inicia-se após a elaboração da proposta pelo departamento comercial e a aceitação da mesma pelo cliente. Se a proposta for aceite, o processo avança para a definição dos requisitos do projeto externo, fase na qual são formalizados os requisitos específicos, incluindo requisitos funcionais, de segurança e ambientais, bem como de qualidade, necessários para a execução do projeto. No entanto, se a proposta não for aceite, o processo termina e a proposta é arquivada. Caso a proposta não seja aceite, existe a opção de renegociar os termos desta. Isso envolve a revisão e possível alteração dos termos da proposta, numa tentativa de alcançar

um acordo com o cliente. Durante a renegociação, podem ser feitas alterações na proposta ou realizar uma análise mais detalhada das soluções possíveis. Se a renegociação levar a um acordo com o cliente, a encomenda é colocada, marcando o início efetivo do projeto externo.

O próximo passo é verificar se existem dúvidas por parte do cliente em relação aos requisitos do projeto. Se o cliente não tiver dúvidas, o processo prossegue com a definição dos requisitos do projeto externo. No entanto, se surgirem dúvidas, é necessário esclarecê-las através de comunicação direta com o cliente ou, se necessário, realizar nova renegociação com possível ajuste dos termos da proposta. Finalmente, é feita uma avaliação para determinar se o acordo com o cliente é exequível. Se o acordo não for viável, o processo é arquivado. Caso o acordo seja considerado exequível, o processo prossegue com a definição dos requisitos do projeto externo.

Este fluxograma foi concebido para assegurar que todas as etapas do processo, desde a elaboração da proposta até à efetiva abertura do projeto externo, sejam conduzidas de forma estruturada e eficiente. O foco principal está na comunicação com o cliente e na adaptação dos termos do projeto de acordo com as necessidades e viabilidade, garantindo que todas as etapas sejam coordenadas de forma precisa e transparente. No caso de ter sido efetuada uma proposta, e esta ser aceite pelo cliente, o departamento comercial identifica a proposta como adjudicada, e esta passa de forma automática no sistema de gestão da informação da empresa (Promec) a projeto externo. A encomenda do cliente para além de ser registada no sistema de gestão da informação deve ficar arquivada em suporte digital na pasta do projeto. A encomenda formal do cliente é rececionada antes da entrega do produto. Sempre que existam alterações dos requisitos por parte do Cliente, estas são registadas e transmitidas pelo Departamento Comercial às áreas relevantes.

Antes do envio da proposta ao cliente e/ou após a encomenda deste, é efetuada uma análise pelos departamentos comercial e de desenvolvimento dos requisitos transmitidos pelo cliente. Dessa análise resultará a decisão sobre a necessidade ou não de implementação de *design* e desenvolvimento (D&D), como é possível verificar na Figura 6.

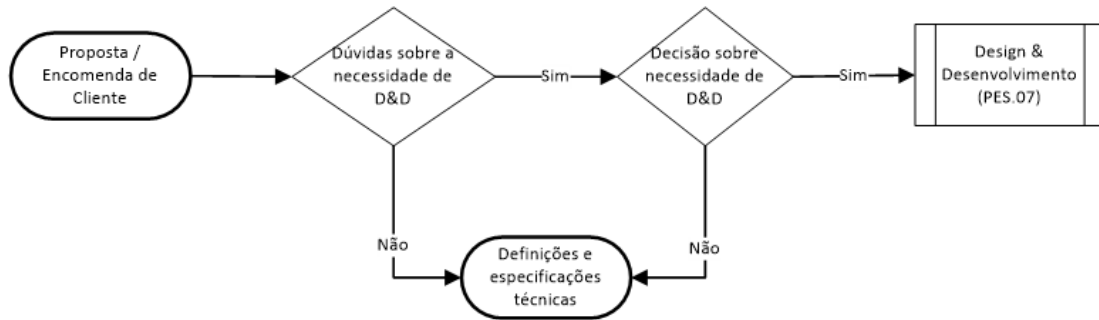


Figura 6 - Fluxograma de análise/decisão sobre a necessidade de design e desenvolvimento [Fonte: Manual Mecalbi, 2020].

A definição do produto - Produtos Standard, Customizados e Design e Desenvolvimento (D&D) encontra-se detalhada no fluxograma da Figura 7. Este fluxograma descreve o processo que ocorre após a fase de “Definições e Especificações Técnicas” no desenvolvimento de um produto. O objetivo é garantir que os produtos sejam desenvolvidos e fabricados de forma eficaz e eficiente, atendendo a todas as especificações técnicas e requisitos do cliente.

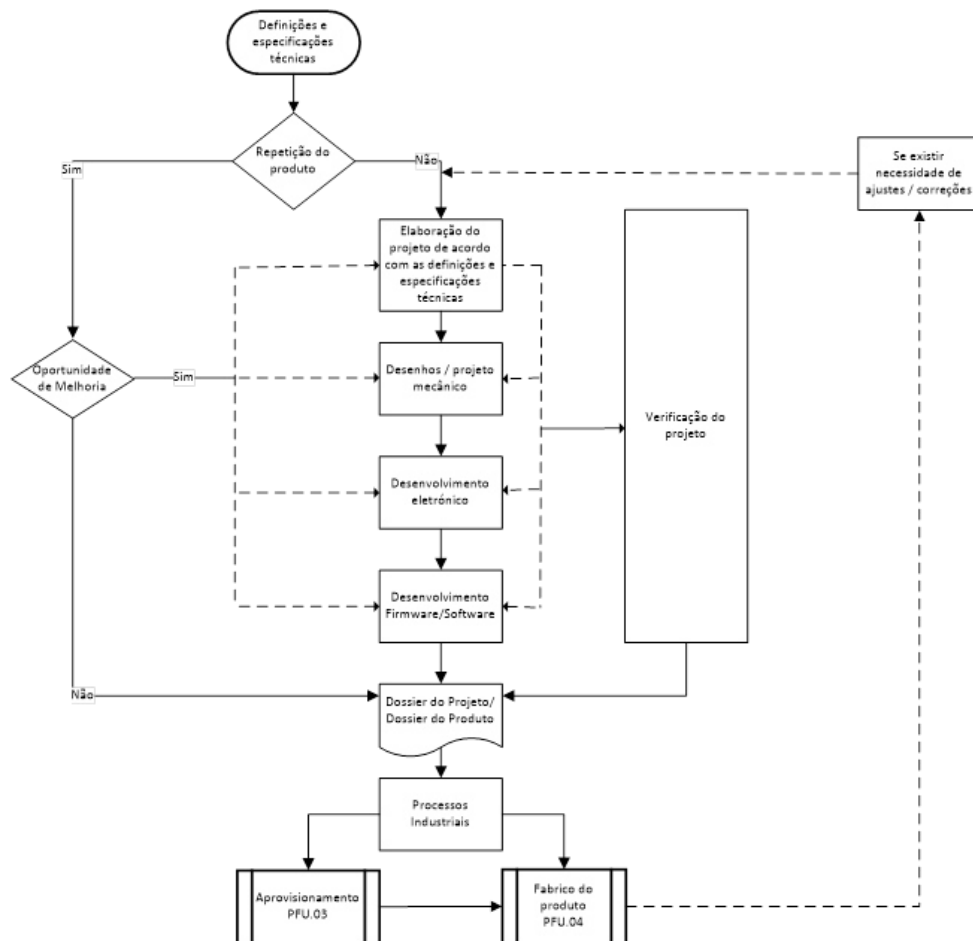


Figura 7 - Fluxograma do processo de definição do produto - Produtos Standard, Customizados e Design e Desenvolvimento (D&D) [Fonte: Manual Mecalbi, 2020].

Após a definição das especificações técnicas, a primeira consideração é se o produto em questão é repetido, ou se já foi produzido anteriormente. Se for uma repetição, existe a oportunidade de avaliar se há espaço para melhorias no produto existente. Caso não haja produtos semelhantes, o processo avança para a criação do “Dossier do Projeto/Dossier do Produto”, que contém todos os detalhes essenciais para orientar o desenvolvimento e a produção do produto. Se existir oportunidade de melhoria, o processo prossegue com a elaboração do projeto, incluindo as especificações técnicas, desenhos mecânicos e desenvolvimento eletrônico.

Após a conclusão, é realizada uma verificação rigorosa para garantir que o projeto atenda às especificações. Uma vez verificado e finalizado, o “Dossier do Projeto/Dossier do Produto” é criado e transmitido ao departamento de “Processos Industriais.” Este departamento é responsável por garantir que o produto seja fabricado de acordo com as especificações. As informações também são transmitidas aos departamentos de “Aprovisionamento” e “Fabrico do Produto.” Estes departamentos trabalham em conjunto para adquirir os materiais necessários e fabricar o produto de acordo com as especificações técnicas. Se, durante a fabricação, forem identificadas necessidades de ajustes ou correções no projeto, este retorna às etapas de desenvolvimento para implementar essas mudanças. Após as correções, o projeto é novamente verificado.

Este fluxograma assegura um processo estruturado, desde a elaboração do projeto do produto até à sua produção, permitindo que os produtos atendam às especificações técnicas e sejam aperfeiçoados continuamente quando necessário. Isso garante a qualidade e a conformidade com os padrões ao longo de todo o ciclo de desenvolvimento e fabricação do produto.

O Dossier do projeto contém toda a informação do produto a desenvolver com base nas definições e especificações técnicas, composta por documentação técnica necessária. O Dossier do produto é aplicável aos produtos *standard*, sendo que este tem por base a documentação existente no dossier do projeto. Toda a informação técnica que constitui o Dossier do produto, pode ser consultada a partir do sistema de gestão da informação Promec.

De forma a monitorizar o processo de Comercial/Definição do Produto, são usados os seguintes indicadores:

- *Percentagem de posições de encomendas fora do prazo de entrega:* mede a percentagem de encomendas ou pedidos de clientes que não foram entregues dentro dos prazos acordados. Pode ser resultado de atrasos na produção, problemas de logística ou outras questões relacionadas com o processo de entrega. Acompanhar essa percentagem é vital para garantir a satisfação dos clientes e manter relações comerciais sólidas.
- *Percentagem de não conformidades imputadas ao desenvolvimento:* mede a percentagem de não conformidades ou defeitos em produtos que podem ser

atribuídos à fase de desenvolvimento ou projeto. Identificar a percentagem de não conformidades relacionadas ao desenvolvimento é importante para melhorar o processo de *design* e minimizar problemas de qualidade na fase de fabrico e produção.

- *Desvio entre custo industrial e preço de venda*: avalia a diferença entre o custo real de produção de um produto (custo industrial) e o preço pelo qual esse produto é vendido aos clientes. Se o preço de venda for significativamente superior ao custo industrial, a empresa terá uma margem de lucro positivo, contudo poder ser menos competitiva face à concorrência. No entanto, um desvio negativo indica que o custo de produção é maior do que o preço de venda, o que pode levar a perdas financeiras. É fundamental para a empresa manter esse desvio sob controlo para assegurar a rentabilidade dos produtos comercializados.

Em resumo, a percentagem de posições de encomendas fora do prazo de entrega está relacionada com o cumprimento de prazos de entrega aos clientes, afetando diretamente a satisfação do cliente e a gestão de relacionamentos comerciais. A percentagem de não conformidades imputadas ao desenvolvimento quantifica problemas de qualidade relacionados com decisões de *design* e especificações, ajudando a melhorar o processo de desenvolvimento de produtos. Finalmente, o desvio entre custo industrial e preço de venda avalia a rentabilidade dos produtos, comparando o custo de produção com o preço pelo qual são vendidos. Garantir um desvio positivo é essencial para a saúde financeira da empresa.

Estes indicadores são cruciais para o departamento comercial e de definição de produtos, pois ajudam a manter a qualidade dos produtos, a satisfação dos clientes e a rentabilidade da empresa.

O gestor do processo de aprovisionamento é o responsável do aprovisionamento, tendo este processo os seguintes objetivos:

- Desenvolver e implementar estratégias de compra e procura;
- Suprimir as necessidades de aprovisionamento garantindo, uma boa relação entre qualidade, preço e prazo de entrega;
- Assegurar que não há ruturas ou excesso de stock e que o produto comprado, que incorpora os produtos da Mecalbi, está em conformidade com os requisitos de compra especificados;
- Assegurar que os fornecedores de materiais que incorporem os produtos da Mecalbi são selecionados e avaliados de acordo com a sua aptidão para fornecer produto conforme.

A ligação aos fornecedores é da responsabilidade do aprovisionamento. O fluxograma representado na Figura 8, descreve o processo completo de aquisição de materiais e produtos, desde a identificação da necessidade até à disponibilização

para uso ou envio. Cada etapa é essencial para garantir que a empresa adquira os materiais de forma eficiente e cumpra os padrões de qualidade estabelecidos.

O processo de aquisição de materiais inicia-se com a identificação da necessidade de compra, que pode surgir em diversas situações, tais como a reposição de stock, a incorporação de materiais necessários para a fabricação dos produtos, ou o fornecimento direto a clientes. Essas necessidades são identificadas pelo departamento de aprovisionamento.

Quando surgem necessidades específicas, como o desenvolvimento de um novo equipamento que requer componentes que ainda nunca foram adquiridos, essas necessidades são formalmente comunicadas ao departamento de aprovisionamento por meio de requisições de materiais. Este departamento é responsável por coordenar e executar todo o processo de compra.

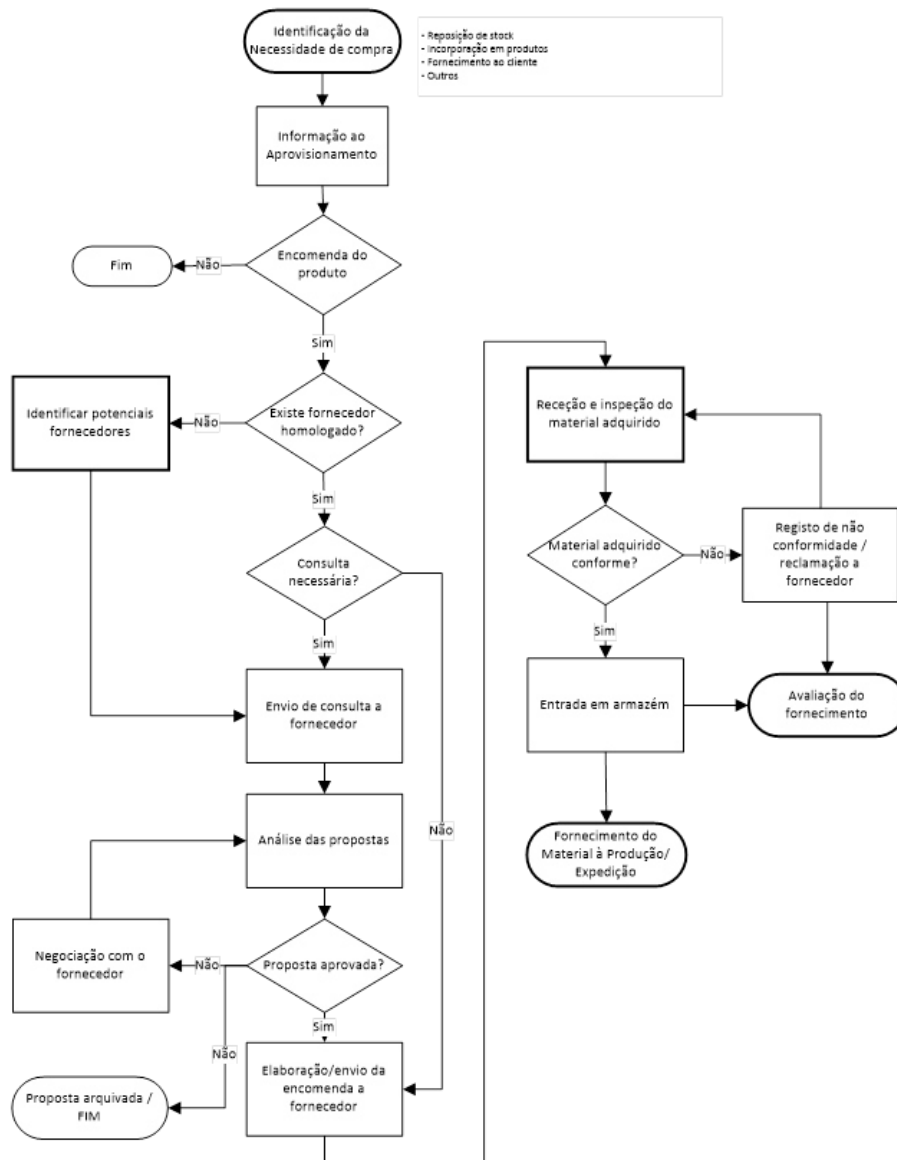


Figura 8 - Fluxograma do Processo de Aprovisionamento [Fonte: Manual Mecalbi, 2020].

O departamento de aprovisionamento primeiro verifica se já existe um fornecedor homologado para o material ou produto em questão. Caso não haja um fornecedor previamente aprovado, é necessário identificar potenciais fornecedores e solicitar propostas de fornecimento aos mesmos. Dependendo da natureza da necessidade, o departamento pode realizar consultas a diversos fornecedores para obter propostas competitivas e garantir as melhores condições de aquisição.

As propostas recebidas são analisadas para determinar a melhor opção em termos de preço, qualidade e prazos de entrega. Se for identificada uma proposta satisfatória, a encomenda é preparada e enviada ao fornecedor selecionado. No entanto, se nenhuma proposta atender aos critérios estabelecidos, o departamento de aprovisionamento pode entrar em negociações com o fornecedor para melhorar as condições. Se as negociações não forem bem-sucedidas ou se não houver propostas adequadas, o processo é arquivado. Após a encomenda ser entregue pelo fornecedor, o material é recebido e inspecionado para garantir que corresponde às especificações e padrões de qualidade esperados.

Se o material for considerado conforme, é armazenado adequadamente e fica disponível para ser utilizado na produção de produtos ou para ser expedido diretamente aos clientes, conforme as necessidades previamente identificadas. No caso de o material não estar conforme, é feito um registo de não conformidade ou reclamação ao fornecedor para resolver o problema. Após a resolução dos problemas de não conformidade, o desempenho do fornecedor é avaliado para garantir a melhoria contínua do processo de aquisição.

De forma a monitorizar o processo de aprovisionamento, encontra-se definidos os seguintes indicadores:

- *Valor em stock do final do ano:* refere-se ao valor total dos materiais, produtos ou componentes que a empresa tem em stock no final de um ano fiscal. É uma medida importante para avaliar o montante de recursos financeiros que estão atualmente investidos em stock. Uma gestão eficiente do stock visa manter este valor o mais baixo possível, ao mesmo tempo em que garante que a empresa tenha o suficiente para atender à procura dos clientes e evitar custos associados a rotura de stock.
- *Classificação de fornecedores:* constitui-se por ser um sistema que avalia e classifica os fornecedores com base em vários critérios, como qualidade dos produtos, cumprimento de prazos de entrega e preços competitivos. É uma ferramenta importante, pois ajuda a empresa a identificar se os fornecedores que estão a desempenhar bem e aqueles que podem necessitar de melhorias. Serve ainda para tomar decisões informadas sobre quais os fornecedores a continuar com parcerias.
- *Número de posições de encomendas fora do prazo por fornecedor selecionado:* rastreia o número de encomendas ou pedidos que não foram entregues pelo

fornecedor dentro dos prazos acordados. É um indicador crítico da eficiência da gestão de fornecedores, sendo que, um alto número de posições de encomendas fora do prazo pode levar a atrasos na produção e afetar negativamente a capacidade da empresa de cumprir os seus compromissos com os clientes.

- *Número de não conformidades por fornecedor selecionado:* conta o número de casos em que os materiais ou produtos fornecidos por um fornecedor não estão em conformidade com os requisitos de qualidade ou especificações acordadas, que podem incluir defeitos, problemas de qualidade ou quaisquer desvios dos padrões estabelecidos. Este indicador ajuda a empresa a identificar fornecedores que podem precisar de melhorar a qualidade dos seus produtos ou processos.
- *Evolução de preços por artigos selecionados:* monitoriza a variação de preços ao longo do tempo para artigos específicos que são comprados pela empresa e permite acompanhar se os preços estão a aumentar ou a diminuir para identificar tendências de custos.

Em resumo, estes indicadores descritos são ferramentas valiosas para a gestão do aprovisionamento. Permitem à empresa controlar os seus custos, avaliar a performance dos fornecedores, garantir a qualidade dos materiais adquiridos e tomar decisões informadas para otimizar o processo de aprovisionamento e, assim, contribuir para o sucesso geral da organização.

O gestor do processo de Fabrico do Produto é o responsável da Produção, tendo este processo os seguintes objetivos:

- Planear a produção de forma a otimizar a capacidade produtiva, assegurando uma resposta atempada aos pedidos de fornecimento dos clientes;
- Fabricar o produto assegurando que este cumpre todos os requisitos durante a realização e sobretudo antes da entrega ou fornecimento ao cliente.

O processo começa com a abertura de um projeto, seja ele interno ou em resposta a uma solicitação externa. Esse projeto pode envolver o desenvolvimento de um novo produto ou a produção de um já existente. O primeiro passo é verificar se existe um dossier completo e documentado para o produto ou projeto em questão. Caso não exista, o processo regressa ao departamento de Comercial/Definição do Produto para garantir que toda a documentação necessária seja completa antes de prosseguir. Após a validação do dossier, segue-se para a verificação da disponibilidade dos materiais necessários para a produção. Se os materiais não estiverem disponíveis, o processo retorna ao departamento de Aprovisionamento para adquiri-los.

Com os materiais à disposição, inicia-se o planeamento do fabrico do produto, tendo em consideração todas as especificações e requisitos do projeto. Se a

maquinação for necessária para produzir as peças, é avaliado se já existe uma programação CAM. Se não houver, o processo segue para a programação CAM e, posteriormente, para a maquinação das peças. Após a maquinação, verifica-se se as peças produzidas estão em conformidade com as especificações. Caso não estejam, o processo regressa para rever a programação CAM e refazer a maquinação.

As peças maquinadas conformes são armazenadas adequadamente no armazém, prontas para serem utilizadas na montagem do produto final. O processo prossegue com a montagem eletromecânica do produto, onde componentes mecânicos e eletrônicos são assemblados de acordo com as especificações, desenhos e instruções de montagem, nesta área, são efetuados alguns testes de funcionalidade mecânica, assegurando que a montagem se encontra em conformidade. Após a montagem, procede-se à Inspeção e Ensaio final de todos os equipamentos produzidos, onde o produto é minuciosamente inspecionado assegurando a sua correta funcionalidade e se o mesmo cumpre para com os requisitos do cliente, e padrões de qualidade, antes da colocação do produto na área de embalagem e expedição.

Caso no decorrer do processo se verifique alguma anomalia no produto final, é realizada uma investigação para identificar as causas. Dependendo da situação, o processo pode retornar a fases anteriores, como o planeamento do fabrico do produto, a montagem de PCB's (*Printed Circuit Board*) ou a montagem eletromecânica, até que o objetivo de produzir um produto conforme seja alcançado.

A Figura 9 ilustra o fluxo de associado a este processo, desde a sua abertura até à entrega final, assegurando a qualidade dos produtos e a satisfação do cliente. Cada departamento desempenha um papel fundamental neste processo.

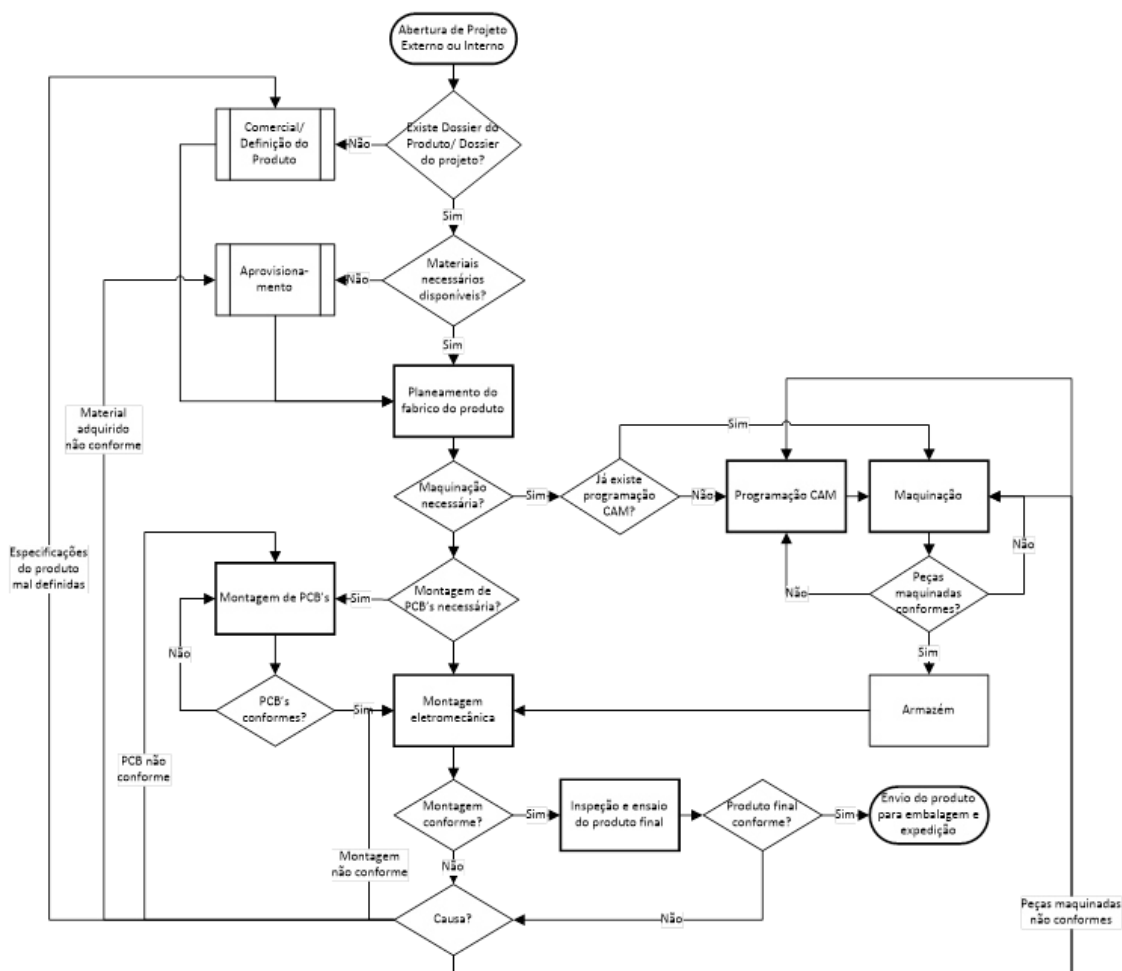


Figura 9 - Fluxograma do Processo de Fabrico do Produto [Fonte: Manual Mecalbi, 2020].

De forma a monitorizar o processo de fabrico do produto, são usados os seguintes indicadores pela empresa:

- *Percentagem de não conformidades imputadas à maquinação:* mede a percentagem de não conformidades ou defeitos em produtos fabricados que podem ser atribuídos especificamente à etapa de maquinação no processo de fabrico. A análise dessa percentagem, ajuda a empresa a identificar se os problemas de qualidade estão a ocorrer durante a fase de maquinação, o que pode exigir ajustes ou melhorias nessa etapa do processo de fabrico.
- *Percentagem de não conformidades imputadas à montagem:* mede a percentagem de não conformidades ou defeitos em produtos fabricados que podem ser atribuídos à etapa de montagem no processo de fabrico. Ao acompanhar essa percentagem, a empresa pode determinar se os problemas de qualidade estão a ocorrer principalmente durante a fase de montagem.
- *Produtividade:* mede a eficiência do processo de fabrico em relação aos recursos utilizados, como horas-homem e horas-máquina. Este indicador

ajuda a empresa a avaliar a eficiência geral do processo de fabrico, identificar áreas que podem ser otimizadas e aumentar a produção sem aumentar os custos.

Em resumo, a percentagem de não conformidades imputadas à maquinação identifica problemas de qualidade relacionados à fase de maquinação do processo de fabrico; a percentagem de não conformidades imputadas à montagem identifica problemas de qualidade associados à fase de montagem do processo de fabrico e a produtividade mede a eficiência global do processo de fabrico, indicando o quão eficazmente os recursos são utilizados para produzir bens ou produtos.

A monitorização destes indicadores é crucial para garantir que o processo de fabrico seja eficiente, eficaz e produza produtos de alta qualidade, o que é fundamental para a satisfação do cliente e para a competitividade da empresa no mercado.

## 2.4. Interações entre processos

Os departamentos de Comercial/Definição do Produto, Aprovisionamento e Fabrico do Produto interagem desde a elaboração da proposta até à expedição do produto final, como ilustrado na Figura 10.

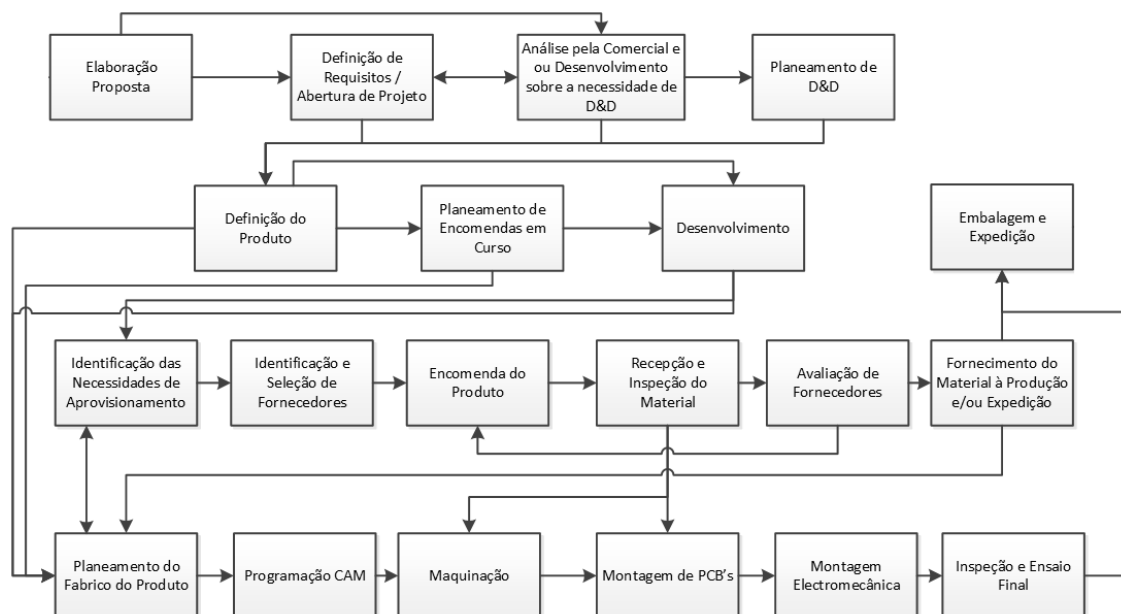


Figura 10 - Interações entre Processos [Fonte: Manual Mecalbi, 2020].

No departamento Comercial/Definição do Produto são elaboradas as propostas comerciais em resposta a solicitações de clientes. Essas propostas levam à definição

dos requisitos do projeto, detalhando os aspetos técnicos e comerciais necessários. A equipa de Comercial e/ou Desenvolvimento analisa esses requisitos para determinar se é necessário realizar atividades adicionais de *design* e desenvolvimento para atender às necessidades do cliente. Caso seja necessário, é feito o planeamento dessa fase.

A Definição do Produto ocorre após a fase de *design* e desenvolvimento, consolidando todas as especificações técnicas e requisitos necessários para a produção. Paralelamente, o planeamento das encomendas em curso é efetuado para determinar como e quando os materiais e componentes necessários serão adquiridos. Enquanto isso, o departamento de Aprovisionamento identifica as necessidades de aquisição de materiais com base no planeamento prévio. São então identificados e selecionados fornecedores adequados, aos quais são feitas as encomendas dos materiais necessários. Após a receção desses materiais, eles passam por uma fase de inspeção rigorosa para garantir que atendem aos padrões de qualidade estabelecidos. Os fornecedores são também avaliados quanto ao seu desempenho, qualidade e cumprimento de prazos. O material aprovado é, então, disponibilizado para a produção do produto ou para ser expedido aos clientes, dependendo das necessidades da empresa.

O departamento de Fabrico do Produto planeia como o produto será fabricado, considerando o material recebido e as especificações do produto. A produção assistida por computador (CAM) é realizada para otimizar os processos de maquinação e fabrico. A maquinação envolve o processamento dos materiais para criar peças ou componentes de acordo com as especificações. Se aplicável, as placas de circuito impresso são montadas, e componentes eletromecânicos são montados para criar o produto final. O produto é então inspecionado e submetido a ensaios finais para garantir que atende às especificações e padrões de qualidade.

Finalmente, o produto é devidamente embalado e expedido para os clientes. Este processo abrange todas as etapas, desde a conceção do produto até à produção e entrega final, assegurando a qualidade do produto e a satisfação do cliente. Cada departamento desempenha um papel crucial na execução eficaz deste processo.

## **2.5. Descrição das melhorias em curso nos processos da Mecalbi**

Como todos os sistemas de SGQ têm o compromisso com a melhoria contínua, a Mecalbi não é exceção, nesse sentido a Mecalbi encontra-se num período de transição dos seus processos internos. Com a implementação de ferramentas *Lean*, através da reengenharia de processos, a Mecalbi está a implementar um sistema de produção que considera ágil e flexível, orientado pelo conceito de produção puxada (“*pull*”).

Anteriormente, o processo produtivo da Mecalbi seguia o modelo de produção empurrada (“*push*”), onde estava orientada para a formação de stock com base em previsões de procura ou histórico de vendas, adotando uma estratégia de produção por lotes, sem ligação direta à procura real. Com o projeto de inovação produtiva e digitalização de processos, a empresa reestruturou os seus métodos para implementar um sistema de produção mais ágil, focado nas necessidades reais dos clientes.

Diferentemente do sistema anterior, em que os colaboradores desempenhavam múltiplas tarefas, o novo paradigma permite um foco mais específico nas atividades e a normalização da produção. Isso facilita a adaptação do trabalho em curso, reduzindo o “*lead time*” e tornando o processo mais eficiente. Esta abordagem também contribui para a diminuição do excesso de produção, otimização dos custos de armazenamento e um controlo mais eficaz do stock, alinhando a produção às reais necessidades dos clientes.

Como resultado, a Mecalbi pretende uma utilização mais eficiente dos recursos, um aumento da produtividade e uma redução dos tempos de espera para os clientes.

Para isso, a Mecalbi está a adaptar o seu sistema de planeamento para ser baseado em encomendas, em vez de previsões, gerando as necessidades de produção (ordens de produção) e de compra (encomendas) de forma mais eficiente. A implementação do sistema MRP (*Material Requirements Planning*) está a ser crucial nesse processo, permitindo gerar necessidades de encomenda a fornecedores e de produção das peças maquinadas internamente nas máquinas CNC.

Para gerir a transição, foi criada uma nova função, a de Técnico de Planeamento, cuja responsabilidade inclui, entre outras funções, o lançamento de projetos em produção, levando em consideração restrições como necessidades comerciais, capacidades de produção e otimização de fluxos e stocks. Este técnico também utiliza ferramentas desenvolvidas internamente, como o MRP (*Material Requirement Planning*), que agiliza os planos de compras de materiais necessários para cumprir o planeamento de produção, baseando-se na procura dos clientes. Além disso, utiliza a ferramenta *Heijunka*, que nivela a produção com base na disponibilidade dos materiais e na capacidade instalada de mão de obra.

As *Bill of Materials* (BOM), são essenciais para o tratamento eficiente da informação, pois identificam os materiais constituintes de cada equipamento. Ao conhecer as reais necessidades, as quantidades em stock e as encomendas em curso, torna-se possível identificar rapidamente os materiais em falta. Com base nos *outputs* destas ferramentas, o Técnico de Planeamento define o MPS (*Master Production Schedule*), ou Plano Mestre de Produção, estabelecendo prioridades, prazos de início e fim de produção (Figura 11), mão de obra necessária e datas de entrega ao cliente, para todos os equipamentos e tipos de projetos, conforme a procura do cliente.

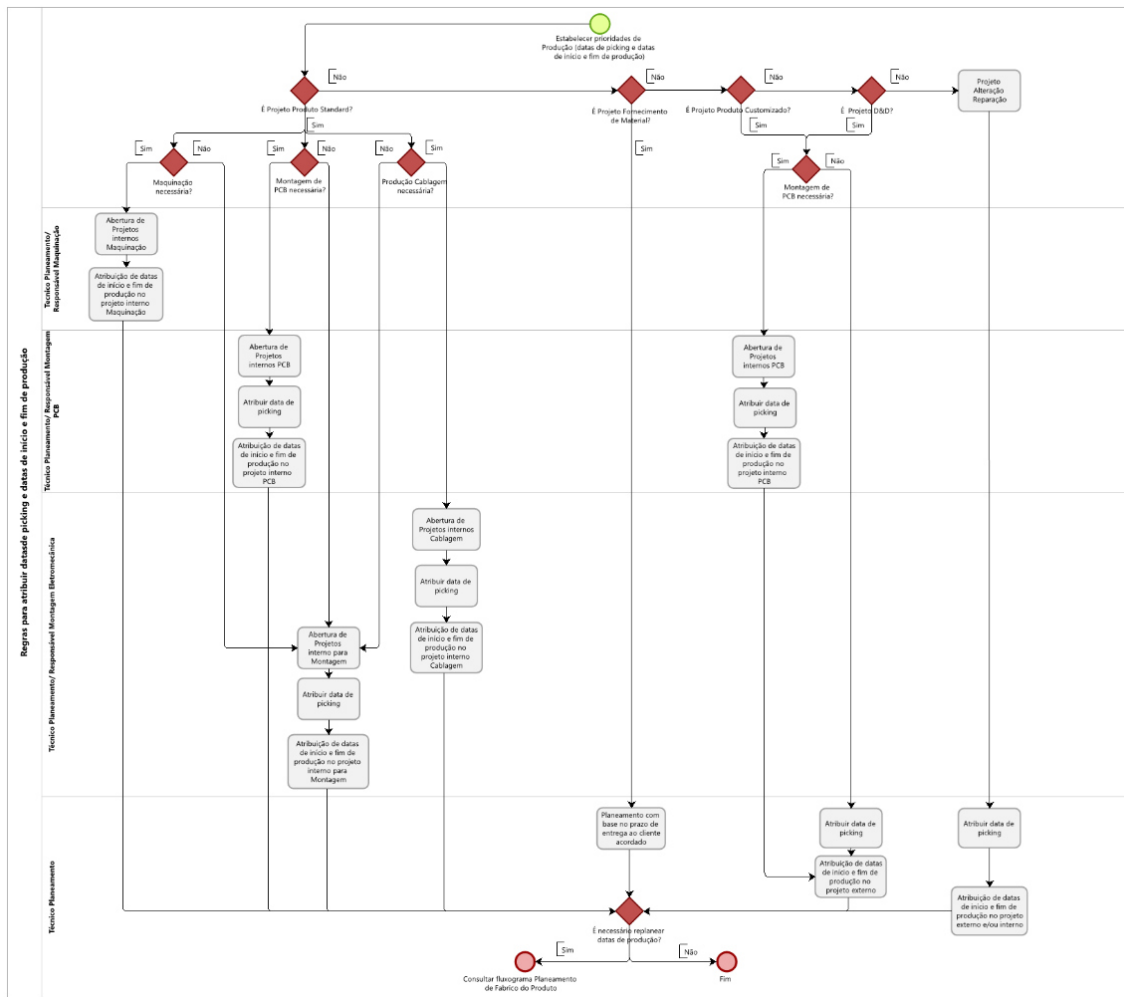


Figura 11 – Fluxograma das datas de início e fim de produção

Com a aquisição do armazém automático para componentes, surgiu a necessidade de integrar o ERP (*Enterprise Resource Planning*) da Mecalbi, desenvolvido internamente e integrado no sistema de gestão interna (Promec), com o software de gestão do armazém inteligente, *Power Pick*, responsável pelo controlo das entradas e saídas de stock. O sistema desenvolvido baseia-se na criação de ordens de *Picking*, que são enviadas para o *Power Pick*, permitindo gerir a saída de materiais de forma eficiente, organizados por tipo de kit e célula de produção a ser abastecida.

De acordo com o que está previsto para produção, o MRP percorre as *Bill of Materials* (BOM), identificando o que há em quantidade suficiente, o que tem stock reduzido e o que necessita ser encomendado. Este processo gera recomendações de encomenda, que podem ser aceites, recusadas ou ajustadas pelo responsável de aprovisionamento. É essencial também considerar os materiais já encomendados, mas que ainda não foram recebidos no armazém, bem como o stock que está virtualmente reservado, e que, por esse motivo, não pode ser contabilizado para novos lotes de produção.

No departamento comercial, não se observaram alterações, pelo menos no que diz respeito à abertura de projetos. Para os projetos de fornecimento de material, foi adicionado ao procedimento existente a necessidade de abertura de uma lista de *picking*, permitindo que os operadores do armazém forneçam os componentes da encomenda ao departamento de expedição, que os enviará ao cliente.

No caso dos projetos definidos como projetos standard, foi incluído o trabalho do técnico de planeamento, que consiste em abrir um projeto interno associado ao projeto externo. Este projeto interno permite agrupar vários projetos externos e diferentes equipamentos, proporcionando uma consolidação eficiente dos recursos e das tarefas envolvidas.

O técnico de planeamento é responsável por carregar as *Bill of Materials* (BOM) de cada equipamento em cada projeto interno. Em seguida, o *MRP* (*Material Requirements Planning*) é executado para determinar se há algum componente em falta ou se todos os itens necessários estão em stock, permitindo o início do planeamento. No caso de haver falta de materiais, são emitidas ordens de encomenda aos diversos fornecedores pelo técnico de compras, solicitando datas de entrega específicas para cada item listado nas notas de encomenda.

Para as peças que são maquinadas internamente pelo departamento de maquinação da Mecalbi, o processo é similar ao dos componentes externos. As necessidades são comunicadas ao responsável de maquinação, que abre um projeto interno de maquinação com a listagem das peças em falta, atribuindo datas de conclusão para cada uma. Uma vez efetuadas as encomendas dos componentes e aberto o projeto interno de maquinação com as datas de chegada dos componentes e de conclusão das peças de maquinação definidas, o técnico de planeamento corre novamente o *MRP*. Este processo permite identificar a data de chegada do último componente, com base na qual é planeada a montagem dos equipamentos.

Para o planeamento da montagem dos equipamentos, o técnico de planeamento utiliza a aplicação *Heijunka*, que facilita um planeamento nivelado da montagem. Esta aplicação baseia-se nos tempos padrão dos vários equipamentos montados na Mecalbi e no número de trabalhadores disponíveis na semana em análise, fornecendo assim um prazo estimado de conclusão para a montagem de cada equipamento. O passo seguinte é abrir a lista de *picking* para que os técnicos de armazém saibam quais componentes fornecer à montagem e em que data específica.

Nos projetos customizados, cada pedido do cliente desencadeia a criação de um projeto externo específico pelo departamento comercial, que transpassa o caderno de encargos ao departamento de desenvolvimento. O *design* do equipamento é então personalizado de acordo com as especificações do cliente, resultando num pedido externo. Para cada projeto customizado, é criado um *Bill of Materials* (BOM), detalhando os componentes necessários para a produção do produto final. Alguns desses componentes são fabricados internamente pela empresa, enquanto outros são subcontratados a parceiros que garantem a eficiência e qualidade dos mesmos.

Em seguida, o técnico de planeamento executa o MRP (*Material Requirements Planning*) para determinar os componentes em falta. O processo inicia-se com a aquisição dos materiais essenciais em falta para a produção dos equipamentos. Após efetuadas as encomendas e inseridas as respetivas datas nas notas de encomenda, bem como as datas de fabricação das peças maquinadas internamente, das cablagens e das PCB's, o MRP é executado novamente para determinar a data em que todas as condições estarão reunidas. Com base na data em que todos os componentes estarão disponíveis, procede-se ao planeamento do fabrico do produto, como ilustrado na Figura 12.

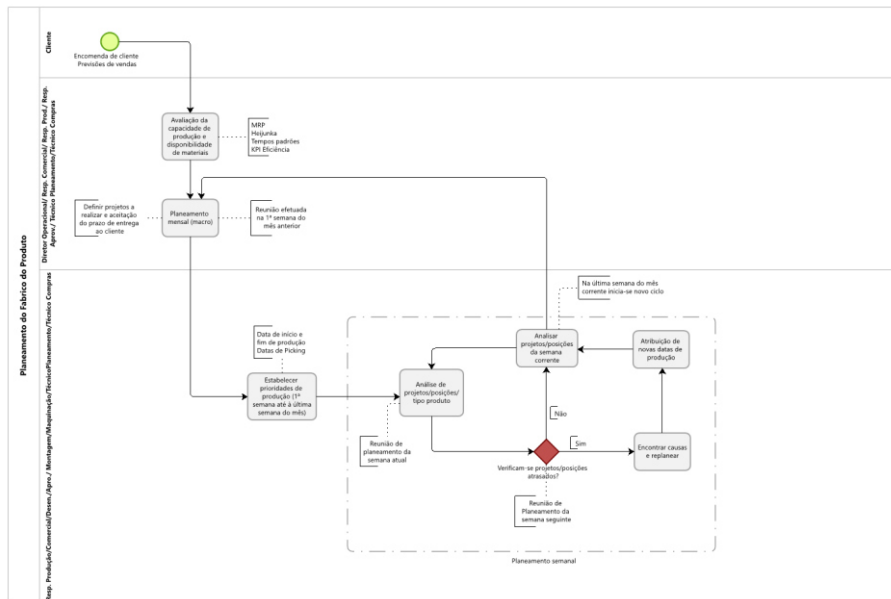


Figura 12 - Visão geral do Planeamento do Fabrico do Produto

Uma vez concluídas todas as etapas anteriores e caso a data de entrega prevista seja cumprida, o equipamento é submetido a inspeção e testes de qualidade para garantir a sua conformidade. Em caso de não cumprimento da data de entrega, é necessário um replaneamento, seguido do processo de acompanhamento da montagem. Por fim, a última etapa do processo da Mecalbi consiste no embalamento dos equipamentos, preparando-os para expedição e entrega ao cliente.

## 2.6. Descrição do processo de maquinação de peças

Após descrição dos principais processos da empresa e de como estes interagem, e uma vez que o foco deste estágio incide particularmente no setor de maquinação de peças, é importante detalhar o processo produtivo nesta área.

O setor de maquinação da Mecalbi é uma área de especialização, constituída por um parque de máquinas avançado e uma equipa qualificada. Abarca um total de sete máquinas com tecnologia CNC, incluindo quatro centros de maquinação de três eixos, um centro de maquinação de cinco eixos, e dois centros de torneamento. Isto permite à empresa lidar com uma ampla diversidade de projetos. Estas máquinas encontram-se identificadas na Tabela 1. Adicionalmente a Figura 13 apresenta uma imagem da zona de maquinação da empresa, enquanto a Figura 14 apresenta o *layout* do espaço fabril no setor de maquinação.

*Tabela 1 - Identificação das Máquinas CNC*

Máquina	Identificador
EMCO TURN 155	TR001
HAAS ST10	TR002
HAAS VF2	FR003
HAAS VF2	FR004
HAAS VF2 SS	FR005
HAAS VF2 SS	FR008
HAAS UMC 500	FR009

Legenda:  
FR = Fresadora  
TR = Torno



*Figura 13 – Zona de maquinação CNC da Mecalbi*

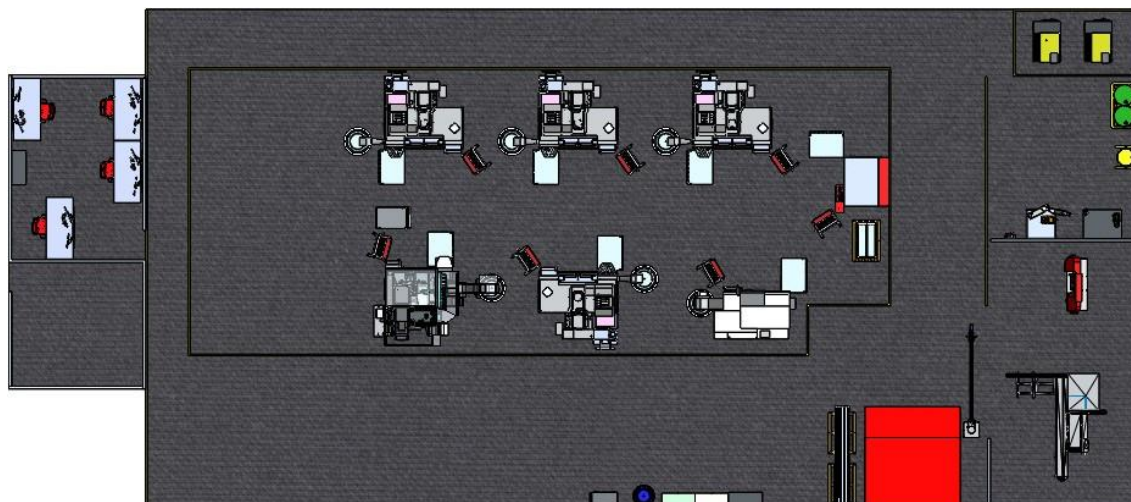


Figura 14 - Layout da maquinação

Para operar as sete máquinas existem sete operadores, distribuídos em dois turnos de oito horas. Essa distribuição é de 4 operadores no primeiro turno e 3 no segundo. Isto garante em média de 1,75 máquinas por operador no primeiro turno, e 2,3 máquinas por operador no segundo.

Os programas CNC são previamente elaborados com base num software de CAD/CAM e disponibilizados aos operadores para a execução das peças nas máquinas CNC. Essa abordagem garante uma precisão consistente e eficiência no fluxo de trabalho.

No processo de fabricação, o operador é responsável pela seleção das peças a serem maquinadas, baseando-se na sua experiência e conhecimento prático. Esta seleção inclui a determinação da sequência de produção que lhe parece mais adequada, levando em consideração diversos fatores, como as ferramentas disponíveis na máquina no momento, as dimensões das peças e o tipo de operação a executar. Esse método reflete a prática atualmente em vigor na produção de peças.

Em termos de materiais usados recorre-se ao alumínio (e.g., ligas EN-AW 5083 e EN-AW 7075), aço inoxidável (e.g., AISI 304), *Borate* e diversos plásticos (e.g., POM, PTFE e PVC). A transição entre diferentes materiais requer uma limpeza minuciosa das máquinas para evitar qualquer contaminação cruzada das limalhas. Para iniciar a maquinação das peças, a matéria-prima é previamente cortada. Este corte é realizado no armazém de matérias-primas, que recebe as ordens de corte do responsável da maquinação da empresa. A matéria-prima cortada é então disponibilizada aos operadores das máquinas CNC. Com a matéria-prima preparada, os operadores fixam a mesma no sistema de fixação da máquina e referenciam a peça nas coordenadas X, Y e Z. Em seguida, os operadores analisam as ferramentas necessárias para a maquinação, desmontando, montando e ajustando-as conforme necessário, utilizando o sistema interno de medição de ferramentas da máquina. Após essa preparação, o programa de maquinação é transferido para a máquina e

executado. No final da execução, o operador verifica as medidas da peça em relação ao desenho técnico, efetuando ajustes conforme necessário para garantir a precisão exigida. Operações de acabamento são repetidas quantas vezes forem necessárias até que todas as dimensões estejam dentro das tolerâncias especificadas.

Este processo é repetido para cada etapa da maquinação da peça. O operador deve girar manualmente a peça no sistema de fixação tantas vezes quantas forem necessárias, dependendo das operações requeridas em cada face da peça. Essas operações são denominadas apertos. O operador garante a qualidade e precisão em todas as peças fabricadas ao realizar esses ajustes cuidadosos em cada etapa do processo.

### 3. Fundamentação Teórica e Revisão da Literatura

A revisão da literatura a seguir apresentada tem como principal objetivo efetuar um enquadramento teórico aos temas abordados neste trabalho. Esta revisão tem como base a implementação da metodologia SMED no setor de maquinação de CNC da empresa, orientada pelos princípios da produção *Lean* e de melhoria contínua.

#### 3.1. Produção *Lean*

A competitividade nos mercados é um aspeto crucial para a Melcalbi e por isso, a capacidade da empresa se adaptar à mudança é bastante importante. Deste modo, a adoção dos princípios da filosofia de produção *Lean* poderá originar uma série de aspetos positivos para a empresa, com impacto nas suas operações. De facto, os princípios da produção *Lean* centrados na melhoria contínua e na redução do desperdício têm resultado em aumentos de eficiência e produtividade das empresas industriais, com tem vindo a ser relatado em diversos estudos (e.g. Shah e Ward, 2003; Womack e Jones, 1996; Liker, 2004).

A produção *Lean* procura a redução/ eliminação de desperdícios, limitando as atividades de produção aquelas que agregar valor ao produto do ponto de vista do cliente. A sua origem está no *Toyota Production System* – TPS (1950) desenvolvido por Taiichi Ohno e Eiji Toyoda e descrito em livro como o “*The Toyota Way*” de Jeffrey Liker (2004). A Figura 15 apresenta o *Lean* como uma casa com dois grandes pilares, o *Just-in-Time* (JIT) e o *Jidoka*, alicerçados na melhoria contínua, na padronização (standarização) do trabalho, impulsionados pela identificação e remoção de desperdícios, com o objetivo de proporcionar produtos (bens ou serviços) de elevada qualidade, a baixo custo, e em prazos reduzidos. Os pilares do *Lean* são os seguintes:

- *Jidoka*: significa que sempre que uma condição não se encontra na sua normalidade, i.e., de acordo com o standard desenvolvido, os operadores podem proceder à paragem dos equipamentos ou das operações em causa, para se identificar e remover a causa raiz dos problemas (Sugimori et. al, 1977). Ou seja, o *Jidoka* tem o objetivo de tornar os problemas visíveis para todos como o objetivo de prevenir a ocorrência de anormalidades e a sua repetição (Sundar et. al, 2014).
- *Just-in-Time* (JIT): significa produzir apenas o que é necessário, na quantidade necessária e quando é necessário, como forma a criar fluxo, reduzir o stock e reduzir os prazos de produção (Sugimori et. al, 1977). Para tal é necessário o foco na eliminação de todas as formas desperdícios. O JIT pode ser alcançado pela implementação da produção puxada ou *Pull*.

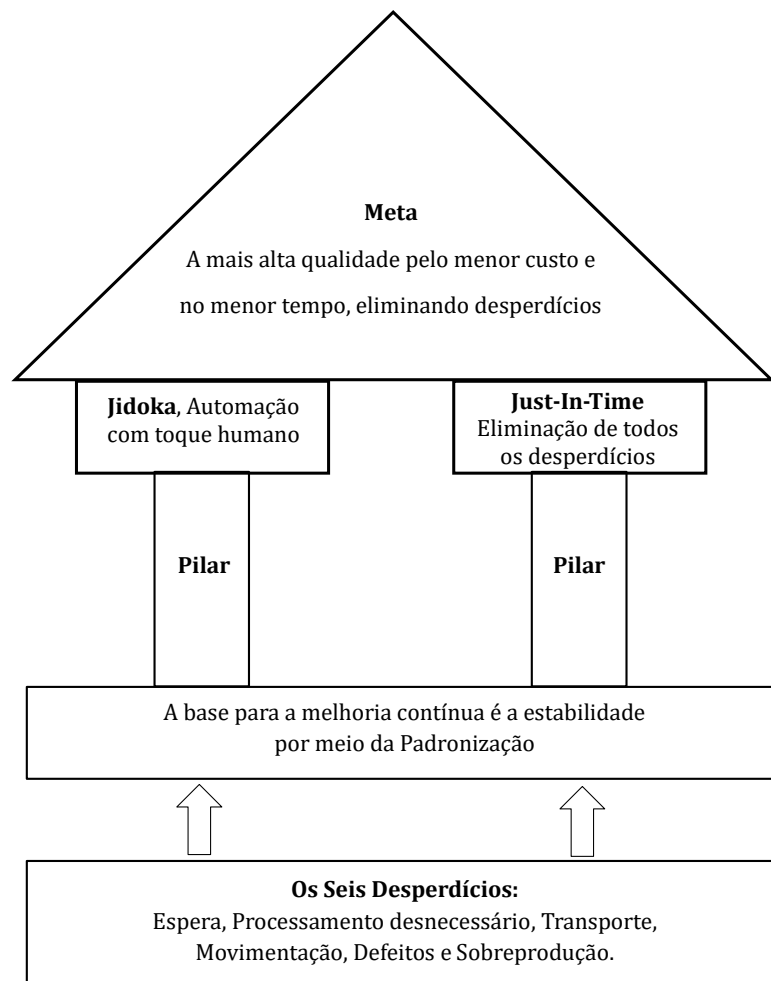


Figura 15 - Conceitos básicos Lean e métodos [Adaptado de Dennis, 2007]

Para a implementação do *Lean*, é necessário ter em mente um conjunto de princípios, de modo a orientar toda a organização, tendo como principal objetivo a redução de desperdícios e a criação de valor para o cliente. Assim, de acordo com Womack e Jones (2003), os cinco princípios do *Lean* são os seguintes:

- **Valor:** É aqui que ocorre a definição de valor dada pelo cliente. Isto significa, que esta definição não é efetuada pela empresa, mas sim, pelo cliente. Assim sendo, é fundamental que as organizações compreendam exatamente quais as necessidades dos seus clientes, e como satisfazê-las. Na literatura existe uma série de formas de definir o desperdício, no entanto, Liker (2004) define-o como sendo uma atividade que não cria qualquer valor e que o cliente não se encontra disposto a pagar.
- **Fluxo de valor:** Diz respeito à realização das atividades, que permite que o produto chegue ao cliente. Estas podem ser classificadas de três formas: atividades de valor acrescentado (deverão ser otimizadas), atividades de

valor não acrescentado (deverão ser eliminadas) e atividades de valor não acrescentado, mas que são necessárias (deverão ser reduzidas).

- *Fluxo contínuo*: Para garantir a criação de valor, é essencial que ocorra um fluxo contínuo ao longo do processo de produção. Este princípio, o terceiro na filosofia *Lean*, enfatiza a importância de eliminar interrupções e gargalos, promovendo a produção unitária, onde cada etapa do processo flui para a próxima. A ausência de *bottlenecks* é crucial, pois qualquer interrupção pode resultar em ineficiências e atrasos, comprometendo a eficácia da produção e a satisfação do cliente.
- *Sistema Pull*: Significa que a produção é efetuada, i.e., iniciada, em resposta aos pedidos (encomendas) do cliente. Isto permite a redução de stocks e dos prazos de produção. Esta abordagem permite associar a produção com a logística, produzindo apenas o que o cliente solicita, ao ritmo que o mesmo pretende.
- *Perfeição*: O último princípio consiste na procura pela perfeição. O seu objetivo foca-se na eliminação de desperdícios e na melhoria contínua, como também na criação de valor ao cliente, originando uma constante procura pela satisfação dos clientes.

Tendo em conta que um dos objetivos da Produção *Lean* consiste na eliminação de desperdícios (Thürer et. al, 2016), então na sua implementação, isto também deverá ser tido em conta. Ohno (1997) considera que a verdadeira melhoria na eficiência surge quando se produz zero desperdício. De acordo com a compreensão japonesa de desperdício, esta junta 3 termos japoneses, que na literatura, estão interligados entre si:

- *Muda*: significa desperdício ou inutilidade, ou seja, tudo aquilo que não acrescenta valor;
- *Mura*: quando ocorre variação no volume de produção, contudo isto poderá ser eliminado, procurando reduzir a variabilidade na produção;
- *Muri*: significa sobrecarga, ou seja, quando ocorre trabalho que excede a sua capacidade, que pode ser reduzida, através da uniformização do trabalho;

Segundo Ohno (1988) e Shigeo Shingo (1989) os desperdícios de produção podem ser categorizados em 7 tipos, como identificados a seguir:

- *Sobreprodução*: Corresponde a produzir mais que o necessário (Shingo, 1989), ou seja, aquilo que se produz a mais, em relação ao que é realmente preciso. Este aspeto é uma consequência de previsões de procura inadequadas ou de tempos de *setup* elevados. Produção em excesso resulta em custos e prazos de entrega mais elevados, dificultando a deteção de anormalidades, e comprometendo a eficiência (Okpala, 2014).

- *Espera*: corresponde aos tempos de espera e paragens, ou seja, ao período pelo qual pessoas, máquinas ou materiais se encontram parados, para a suas tarefas. Estes não acrescentam valor. Segundo Okpala (2014) estes resultam em desperdícios de tempo, aumento de custo de produção, e consequentemente, numa redução de lucro. Existe um conjunto de fatores que contribuem para isto, como elevados tempos de *setup*, falta de material, ausência de comunicação, ou um mau funcionamento dos equipamentos por manutenção inadequada.
- *Transporte*: representa a ineficiência no transporte de materiais ou produtos (Liker, 2004), ou seja, qualquer movimento que não crie valor. Excesso de produção, produção em grandes lotes, ou até mesmo um layout inapropriado, segundo Okpala (2014), correspondem às principais causas deste desperdício.
- *Existências ou stock*: representa matérias-primas, trabalho em curso e produtos acabados, entre outros, que se encontram em excesso, resultando em maiores custos de posse, e prazos de produção (Liker, 2004).
- *Processamento desnecessário*: este tipo, de acordo com Ohno (1988) representa operações realizadas desnecessariamente, para a obtenção do produto ou algo que é produzido e que não é valorizado pelo cliente (Shingo, 1989), também aponta que essas operações não agregam valor ao cliente e, portanto, são consideradas desperdícios para além disto, Liker (2004) define este tipo de desperdício como qualquer atividade que introduz ineficiências no processo de produção. Isso pode ser causado por diversos fatores, como o uso inadequado de ferramentas, má configuração dos equipamentos produtivos, ou um *design* do produto que exige etapas adicionais de processamento sem acrescentar valor ao produto final. Essas ineficiências resultam em tempo e recursos gastos desnecessariamente, aumentando os custos de produção e reduzindo a competitividade da empresa.
- *Movimentação*: corresponde a todos os movimentos realizados ao nível do posto de trabalho que não são necessários e que não permitem a adicionar valor ao produto (Ohno, 1988).
- *Defeitos*: representa produtos não conformes podendo resultar na insatisfação dos clientes. Este tipo de desperdício poderá originar ainda perdas de tempo e de recursos, originando retrabalho, ou até mesmo sucata, pelo que isto está associado a um aumento do custo (Okpala, 2014).

Jekiel (2010), para além de considerar os sete desperdícios mencionados acima, acrescenta e defende também a existência de um oitavo desperdício, sendo ele:

- *Não aproveitamento do potencial humano*. Este oitavo desperdício, reflete que as organizações podem perder oportunidades significativas de melhoria e inovação ao não envolver adequadamente os colaboradores no processo de

tomada de decisão, solução de problemas e identificação de oportunidades de melhoria. Esta lacuna no envolvimento efetivo dos trabalhadores pode ter consequências profundas para a eficácia operacional e a capacidade de adaptação das organizações.

Ao negligenciar o potencial humano, as empresas correm o risco de desperdiçar recursos valiosos, como criatividade, motivação, comprometimento e conhecimento prático detido pelos colaboradores. Isso pode levar a processos operacionais menos eficientes, falta de inovação, perda na qualidade dos produtos ou serviços e, em última instância, insatisfação dos funcionários. Portanto, é imperativo que as organizações reconheçam a importância de promover uma cultura que estimule ativamente a participação dos colaboradores. Isso implica a criação de um ambiente onde a partilha de ideias seja incentivada, o trabalho em equipa e a aprendizagem contínua sejam valorizados. Ao fazer isso, as empresas não apenas amenizam o desperdício associado à subutilização do potencial humano, mas também promovem o desenvolvimento de uma força de trabalho mais comprometida, produtiva e inovadora.

Para a implementação dos princípios do *Lean* têm sido desenvolvidas diversas ferramentas e técnicas, que de seguida se agrupam de acordo com os dois pilares acima referidos.

*Exemplos de ferramentas associadas ao Jidoka são as seguintes:*

- *Andon:* O sistema *Andon* é uma ferramenta visual que permite que os operadores parem a linha de produção quando detetam problemas, como defeitos de qualidade, mau funcionamento da máquina ou falta de material. Isso permite uma resposta rápida e eficaz aos problemas, evitando a produção de itens defeituosos.
- *Poka-Yoke (Prevenção de Erros):* O *Poka-Yoke* consiste em dispositivos ou métodos projetados para prevenir a ocorrência de erros humanos ou defeitos de qualidade. Isso pode incluir dispositivos físicos, como gabaritos, guias ou sensores, que impedem a execução de uma etapa incorreta do processo.
- *Automação com Detecção de Defeitos:* Esta é uma técnica em que sistemas automatizados são equipados com sensores e algoritmos para detetar defeitos ou anomalias durante a produção. Se um problema é identificado, a máquina pode interromper automaticamente a produção ou alertar os operadores para tomar medidas corretivas.
- *Formação Multidisciplinar:* Os operadores são formados para serem polivalentes e para terem a capacidade de identificar e resolver problemas de forma rápida e eficiente. Isso inclui a formação em técnicas e solução de problemas, recorrendo a vários métodos:

- *Os 5 porquês*: Tem como objetivo garantir que a raiz de um determinado problema é encontrada (i.e. a verdadeira causa), e não apenas os sintomas superficiais, sejam corrigidos.
- *Diagrama de Causa-Efeito*: O diagrama de causa-efeito, também conhecidos como diagramas de *Ishikawa* é uma ferramenta utilizada para identificar as potenciais causas de um problema ou efeito.
- *Brainstorming*: O brainstorming também pode ser chamado de tempestade de ideias, é uma técnica de dinâmica de grupo, criada na década de 1940 por Alex Faickney Osborn. É principalmente uma atividade desenvolvida para promover a inovação e estimular a criatividade individual ou de um grupo cativando a criatividade em equipa com o objetivo de tentar encontrar a melhor solução para um determinado problema.
- *Análise de Pareto*: A Análise de *Pareto*, também conhecida como o princípio de *Pareto* ou 80/20 é uma ferramenta estatística que permite selecionar um número reduzido de fatores que influenciam um grande número de resultados. A maioria dos problemas (80%) são resultante de apenas algumas causas (20%). Nota: Vilfredo Pareto foi economista, nos finais do sec. XIX e observou que 80% da riqueza era detida por apenas 20% da população.

#### *Exemplo de ferramentas associadas ao JIT:*

- *Kanban*: O sistema *Kanban* é uma ferramenta visual que ajuda a controlar o fluxo de produção e a movimentação de materiais através do uso de cartões. Os cartões ou sinais visuais são usados para autorizar a produção ou movimentação de itens apenas quando necessário, com base na procura proveniente de jusante. Existem diferentes tipos de *Kanban*, e.g. de Produção, de Movimentação de Fornecedor. Por exemplo, os últimos podem ser usados para a coordenação estreita com os fornecedores de forma a garantir que os materiais e componentes sejam entregues apenas quando são necessários, evitando assim o acumular de stocks e reduzindo os tempos de espera.
- *Heijunka (box)*: é uma ferramenta visual específica utilizada para implementar o conceito de *Heijunka*, que se refere ao nivelamento da produção. Normalmente, a *Heijunka Box* é uma estrutura física com a forma de uma caixa dividida em seções. Esta ferramenta organiza e exibe o plano de produção para uma linha de produção ou célula de trabalho específica. A *Heijunka Box* permite distribuir a carga de trabalho de forma uniforme ao longo do tempo, garantindo que a produção se mantenha estável, mesmo quando há variações na procura por diferentes produtos. Ela é usada frequentemente para ajudar a programar e coordenar a produção, alcançando o nivelamento desejado e evitando flutuações que podem causar desperdícios e ineficiências.

- *Value Stream Mapping (VSM)*: Esta é uma ferramenta que ajuda a identificar e visualizar todos os processos envolvidos na entrega de um produto, bem ou serviço, desde o fornecimento de matéria-prima até a entrega ao cliente final. O mapeamento do fluxo de valor ajuda a identificar desperdícios e oportunidades de melhoria ao longo do fluxo de valor.
- *Layout Célular*: O *layout* em células ou celular organiza máquinas, equipamentos e áreas de trabalho em células de produção autónomas e especializadas. Isso permite que as equipes trabalhem em conjunto de maneira eficiente, minimizando o transporte e o tempo de espera entre processos. A organização por células aumenta a flexibilidade ao nível da variação de capacidade e contribui para reduzir os prazos de produção.
- *SMED (Single-Minute Exchange of Dies)*: é uma metodologia desenvolvida por Shigeo Shingo, um dos principais engenheiros pela implementação da *Toyota Production System (TPS)*, com o objetivo de reduzir os tempos de *setup* em processos de produção. A metodologia SMED é detalhada na secção seguinte.

*Exemplos de ferramentas associadas aos alicerces do Lean:*

- *Kaizen (Melhoria Contínua)*: O *Kaizen* é uma filosofia que incentiva a melhoria contínua em todas as áreas da organização. Isso envolve o envolvimento de todos na identificação de oportunidades de melhoria e na implementação de mudanças incrementais. As atividades de *Kaizen* são fundamentais para sustentar os ganhos obtidos com o JIT ao longo do tempo.
- *Padronização (Standardized Work)*: A padronização de processos e procedimentos é de facto uma metodologia essencial que pode ser aplicada como parte integrante da implementação do *Jidoka*. Os desafios enfrentados por muitas organizações, reside na padronização do trabalho e na procura por maneiras de aumentar a eficiência dos processos, enquanto se reduzem os custos, o *lead time* e se alcançam níveis elevados de qualidade e produtividade (Garza et. al, 2012). A padronização ou *Standardized Work* corresponde a uma ferramenta de melhoria contínua, que tem como objetivo efetuar o trabalho com segurança e o mais eficaz possível, envolvendo instruções de trabalho específicas para cada processo, de forma a realizar cada tarefa mais eficientemente. Esta técnica tem como objetivo reduzir a variabilidade dos processos, melhorando simultaneamente o desempenho destes (Lima & Martins, 2017). De acordo com Feng e Ballard (2008), o pilar do *Standardized Work* são as instruções de trabalho, pois através da especificação das mesmas para cada tarefa, permitirá a identificação de potenciais erros ou desvios na realização das mesmas, como ainda estabelecer uma sequência exata e correta, e assim, entender mais facilmente onde é possível melhorar. Desta forma, a padronização de trabalho permite a

redução de falhas, contribuindo para uma melhoria do fluxo de trabalho (Feng & Ballard, 2008). Contudo, é importante destacar que padronização não é sinónimo de rotinas monótonas (Lima & Martins, 2017). Ou seja, o objetivo da padronização não passa por tornar as tarefas repetitivas, mas sim obter uma diminuição da variabilidade, através da definição de melhores métodos de trabalho (Liker & Meier, 2007), pelo que esta ferramenta possui três elementos básicos: tempo de ciclo, sequência de produção e WIP (Citeve, 2012). Para tal, de acordo com Liker e Meier (2007) é necessário, primeiramente identificar etapas críticas no processo de trabalho, para posteriormente, obter uma melhoria na definição do método de trabalho e assim, treinar todos os colaboradores, de acordo com o método desenvolvido. Esta preparação corresponde a um aspeto fundamental, pois a resistência à mudança representa uma enorme dificuldade, que poderá comprometer o sucesso desta técnica.

De acordo com Michael Ballé (2016), as instruções de trabalho necessitam de ter em consideração determinados aspetos: O que realmente interessa ao cliente, ou seja, o que cria valor para o cliente; Sequência das tarefas, ou seja o que está certo ou errado na realização de cada tarefa; e o uso correto das ferramentas e informação; ou seja a quem se deve recorrer, quando certa situação não está em conformidade.

### 3.2. Metodologia SMED

De acordo com Black (1998) o tempo de *setup* compreende o tempo envolvido para preparar a máquina ou equipamento para processar a próxima peça ou produto, representando um período de inatividade do equipamento. Tratando-se de um tempo não produtivo, a redução do tempo de *setup*, representa o principal objetivo da metodologia SMED.

O *SMED* (*Single-Minute Exchange of Dies*) ou troca rápida de Ferramentas é uma metodologia que pode ser vista como parte integrante ou necessária à implementação do *Just-in-Time* (JIT). O SMED remonta aos anos 50 do século passado, quando Shigeo Shingo dirigia um estudo de melhoria da eficiência na fábrica da Mazda Toyo Kogyo em Hiroshima que visava eliminar os estrangulamentos na produção causados por prensas de estampagem. Ao realizar o estudo Shingo percebeu que as operações de *setup* poderiam ser de dois tipos:

- *Setup interno*: em que tempo de preparação envolvido representa todas operações que apenas são realizáveis com a máquina parada.
- *Setup externo*: em que tempo de preparação envolvido representa todas operações que podem ser realizadas com a máquina em funcionamento.

Em 1957, também em Hiroshima, Shigeo Shingo foi convidado a desenvolver um estudo na Mitsubishi Heavy Industries com o objetivo de melhorar a capacidade produtiva de uma retificadora utilizada para maquinar a base dos motores. Analisando a produção, Shingo verificou que a marcação para centragem e dimensionamento da base do motor era realizado na própria retificadora o que reduzia significativamente a utilização da mesma. A solução consistiu na instalação de uma segunda mesa na retificadora que permitiu a realização das operações de *setup* separadamente. A aplicação desta medida contribuiu para um aumento de 40% na produção.

O terceiro momento no desenvolvimento da metodologia SMED surgiu em 1969 quando o gestor da fábrica *Toyota Motor Company* propôs a Shingo a redução dos tempos de *setup* de uma prensa que requeria quatro horas para cada operação de *setup*. A separação, cuidadosa, dos tempos de preparação internos e externos bem como a melhoria de cada um deles individualmente possibilitou uma redução efetiva dos tempos de *setup* passando, ao fim de seis meses, a duração total das operações de *setup* na prensa para noventa minutos. A direção determinou um novo objetivo que visou a redução do tempo de *setup* para menos de três minutos. Ao fim de três meses de trabalho, através da conversão de *setup* internos em *setup* externos, o objetivo proposto foi alcançado. A este novo conceito e na esperança de que todos os *setups* se realizem em minutos, Shingo chamou-lhe *Single Minute Exchange of Die* - SMED (Shingo et. al, 2000).

Segundo Shingo (2000) o SMED é uma abordagem científica para a redução do tempo de *setup*, que pode ser aplicada em qualquer fábrica e em qualquer máquina. A metodologia, segundo Shingo, assenta em quatro fases (ver Figura 16):

- *Fase 0 ou preliminar*: Situação inicial, onde não existe distinção entre *setup* interno e externo. Nesta fase o trabalho que poderia ser executado externamente é eventualmente realizado internamente o que leva a tempos longos de *setup*.
- *Fase 1*: Separar o *setup* interno do externo. Considerada a fase mais importante para atingir com sucesso a implementação de uma metodologia SMED. Nesta etapa é conveniente observar detalhadamente as condições do *setup* no espaço fabril, para isso pode fazer-se uma análise contínua da produção recorrendo a cronometragens, filmagens ou até a entrevistas aos operadores.
- *Fase 2*: Converter o *setup* interno em externo. A fase 2 visa converter o máximo de operações internas em externas. A classificação das operações deve ser revista para garantir que não existem operações externas classificadas como internas. Devem ser encontrados meios para converter as operações realizadas com a máquina parada em operações realizáveis com a máquina em funcionamento como, por exemplo, pela realização prévia de aquecimentos, montagens e centragens.

- Fase 3:** Racionalizar todos os aspetos da operação de *setup*. Pretende-se uma melhoria sistemática de cada elemento da operação de *setup* interno e externo. Nesta fase deve ser analisado em detalhe cada elemento da operação de modo encontrar soluções que permitam a redução de tempos e eventualmente a eliminação de algumas operações do *setup*. As fases 2 e 3 podem ser aplicadas em simultâneo.

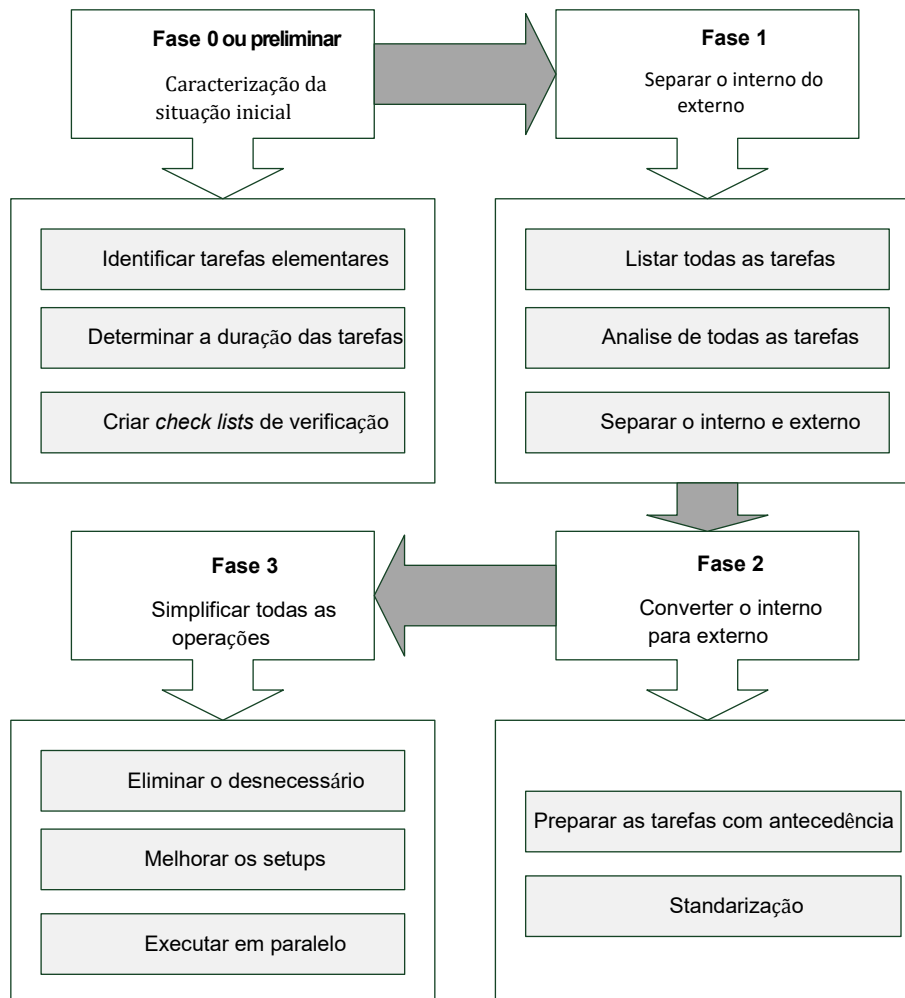


Figura 16 -Abordagem das fases do SMED convencional. [Adaptado de Braglia, 2016]

O tempo de *setup*, ou tempo de troca, é definido como o intervalo de tempo desde a conclusão da última peça boa de um lote até a conclusão da primeira peça boa do próximo lote. Tradicionalmente, quando alguém se referia a troca, geralmente falava apenas sobre operações de montagem e desmontagem de ferramentas. No entanto, a verdadeira troca é mais longa e engloba todas as atividades necessárias para que a máquina esteja pronta para produzir uma nova peça. A Figura 17 ilustra o processo

de comparação entre o tempo de troca tradicional e o tempo de troca real dentro do processo.

O tempo gasto na produção da primeira peça boa do novo lote também deve ser incluído no tempo de *setup*. É importante considerar esse tempo porque a primeira peça de um novo lote frequentemente é produzida em “*Safe Run*”, com tempos de ciclo mais longos do que o normal, pois geralmente são efetuados ajustes adicionais ou pode ser necessário efetuar alguns testes antes de operar a máquina no modo automático.

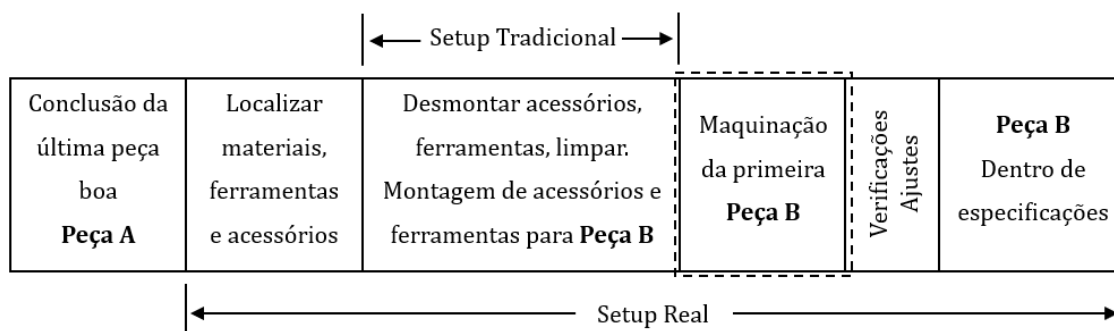


Figura 17 - Diagrama de setup tradicional versus real. [Adaptado de Silvia Pellegrini, et al., 2012]

### 3.3. Algoritmos de *Clustering*

Existem diferentes algoritmos de *clustering* na literatura como a seguir indicado, contudo apenas alguns são aplicáveis no problema em estudo, ou seja, no agrupamento de peças para maquinação,

Nas últimas décadas, diversos métodos ou algoritmos foram desenvolvidos para resolver o problema de formação de famílias de máquinas e peças, utilizando critérios como o custo total de movimentação, a utilização das máquinas, o tempo de *setup* e de execução. Chu (1989) classifica esses métodos em manipulação de matriz, agrupamento hierárquico e não-hierárquico, programação matemática, e técnicas heurísticas.

Entre os algoritmos baseados na manipulação de matrizes, destacam-se o ROC de King (1980), o *Direct Clustering Analysis* (DCA) de Chan e Milner (1982) e o *Cluster Identification Algorithm* (CIA) de Kusiak e Chow (1987). No agrupamento hierárquico, as similaridades e diferenças entre máquinas são calculadas para maximizar as similaridades e minimizar as diferenças, como exemplificado pelo *Single Linkage Algorithm* (SLA) de McAuley (1972) e o *Average Linkage Algorithm* (ALA) de Seifoddini (1989). Os métodos não-hierárquicos, repetitivos por natureza, incluem o Zodiac de Chandrasekharan e Rajagopalan (1987) e o *Graphics* de Srinivasan e Narendran (1991).

Algoritmos como os de Vohra et al. (1990) e Askin (1991) também são usados para formação de células. Todos esses algoritmos visam agrupar máquinas em células e peças em famílias, proporcionando boas soluções, exceto quando há muitos elementos excepcionais. Nesse caso, a formação de células fracionadas pode ser uma alternativa eficaz, conforme observado por Wemmerlov e Hyer (1989) e mencionado por Murthy e Srinivasan (1995).

O Algoritmo *Rank Order Clustering* (ROC) é uma técnica usualmente para a criação de famílias de produção introduzido por King (1980). O ROC foi inicialmente desenvolvido para resolver problemas associados à produção em células de tecnologia de grupo, mas que pode ter um potencial positivo de aplicação no problema em estudo no âmbito deste trabalho. O algoritmo ROC funciona classificando e reordenando uma matriz máquina/componente (ou peça), tal como representado na Figura 18, com base na frequência e importância das interações entre máquinas e componentes (Chandrasekharan & Rajagopalan, 1986).

		Componente											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Máquina	1									1	1	1	
	2		1		1			1					1
	3	1				1			1				
	4	1		1					1				
	5		1		1			1					1
	6	1		1		1			1				
	7						1			1	1	1	
	8		1		1			1					1
	9			1		1			1				
	10						1			1	1	1	

Figura 18 - Matriz máquina / componente algoritmo Rank Order Clustering (ROC) [Adaptada de King, 1980]

A metodologia ROC começa com uma matriz binária (Figura 18), que representa a relação entre máquinas e componentes, onde cada célula indica se um determinado componente é processado por uma máquina específica. O algoritmo ROC classifica as máquinas e componentes de acordo com a frequência de uso, reorganizando a matriz para que as interações mais frequentes fiquem próximas à diagonal principal. Este processo iterativo continua até que não seja possível reordenar mais a matriz, indicando assim grupos naturais de máquinas e componentes (Selim & Askin, 1991)

O algoritmo ROC proporciona uma abordagem sistemática e repetível para agrupar máquinas e componentes (ou peças). O ROC introduziu uma abordagem matematicamente fundamentada para este tipo de problemas (Burbidge, 1963). Comparado com outras técnicas de formação de grupos, como métodos de análise de cluster e heurísticas diversas, estudos demonstram que o ROC pode produzir

resultados comparáveis ou superiores, especialmente na minimização de gargalos e no balanceamento de carga entre células de produção (Joines & King, 1998).

### 3.4. Revisão da Literatura

Neste subcapítulo, é revista a literatura sobre a aplicação da metodologia SMED na maquinação CNC, bem como sobre a utilização do algoritmo ROC na formação de famílias de produtos em máquinas CNC. A pesquisa foi realizada em agosto de 2024, utilizando a base de dado e *Scopus*. O processo de pesquisa foi estruturado com o uso das seguintes *strings* de pesquisa:

- *Para SMED*: “smed OR (single AND minute AND exchange AND dies) AND (cnc OR machining)”.
- *Para o Algoritmo de clustering*: “roc OR (rank AND order AND clustering) AND (cnc OR machining)”.

Para aprimorar os resultados e garantir que os artigos selecionados fossem relevantes, foram aplicadas as seguintes restrições:

- Área de Conhecimento: “Limited to Engineering”
- Tipo de Publicação: “Limited to Article”
- Tipo de Acesso: “Limited to All *Open Access*”.

Após a aplicação desses filtros, a lista de artigos resultante foi analisada por meio da leitura dos títulos e resumos. Foram descartados os artigos que não se enquadravam nos objetivos do estudo, bem como aqueles para os quais não foi possível obter o acesso ao artigo completo (*Open Access*).

É importante destacar que, nesta base de dados e com as *strings* não foi identificado nenhum estudo que aplicasse o algoritmo ROC para o agrupamento de peças fabricadas especificamente em máquinas CNC, o que evidencia uma lacuna na literatura (*research gap*) nesta área. Os casos encontrados utilizaram o algoritmo ROC principalmente para a formação de famílias de produção em contextos de tecnologia de grupo.

Com o objetivo de realizar uma revisão da literatura mais detalhada, a pesquisa foi ampliada à base de dados *Science Direct*, utilizando as mesmas *strings* de pesquisa, porém, devido às diferenças nas funcionalidades e limitações das bases de dados, foram aplicadas as seguintes restrições:

- Tipo de Publicação: “Limited to Research articles”.
- Área de Conhecimento: “Limited to Engineering”.
- Tipo de Acesso: “Limited to Open access & Open archive”.

- Título da Publicação: “Limited to Procedia Engineering”.

Após aplicar os filtros, os artigos selecionados foram avaliados por meio da leitura dos títulos e resumos, tendo sido descartados aqueles não estavam alinhados com os objetivos do estudo ou duplicados entre as diferentes bases de dados.

Mesmo após a pesquisa nas bases mencionadas, optou-se por incluir também a base de dados *Mendeley*. Para manter a consistência, foram utilizadas as mesmas *strings* de pesquisa, com a seguinte restrição:

- Tipo de Acesso: “Limited to Open Access”.

Os resultados obtidos estão resumidos na Tabela 2 e Tabela 3, estes apresentam os artigos selecionados para cada uma das pesquisas, respectivamente. Os estudos selecionados fornecem uma visão abrangente das práticas adotadas e dos resultados obtidos em diferentes contextos industriais, destacando os desafios e benefícios da aplicação da metodologia SMED e do algoritmo de agrupamento ROC.

Tabela 2 – Resumo do estudo realizados sobre a implementação da metodologia SMED

Referências	Resumo dos artigos
Beata Oleksiak et al., 2023	O estudo foi efetuado numa empresa que fabrica perfis em alumínio para a indústria da construção. A empresa utiliza máquinas CNC, para fresar perfis destinados a portas, janelas e fachadas. O objetivo foi reduzir os tempos de <i>setup</i> dessas máquinas aplicando o método SMED. Implementações como a reorganização dos postos de trabalho e a introdução de leitores de código de barras resultaram numa diminuição significativa dos tempos de <i>setup</i> , excedendo 20% em todas as máquinas analisadas. Especificamente, a reorganização dos postos de trabalho reduziu os tempos de <i>setup</i> em aproximadamente 61% na máquina 1, 52% na máquina 2 e 12% na máquina 3. Além disso, os leitores de código de barras permitiram uma redução de 88% no tempo de carregamento dos programas.
Rodrigo Borges et al., 2019	O estudo foi realizado numa empresa do setor de moldes para calçados, focado na aplicação do sistema <i>Single-Minute Exchange of Die</i> (SMED) no setor CNC da empresa. A empresa produz moldes usados na fabricação de calçados. O objetivo do estudo era reduzir o tempo de <i>setup</i> (preparação das máquinas CNC) para aumentar a eficiência da produção. Os resultados mostraram uma redução de 60% no tempo de <i>setup</i> , com uma média de aproximadamente 7 minutos, e um aumento na capacidade produtiva do setor em cerca de 3%. Houve também uma diminuição na incidência de erros nas peças maquinadas devido à padronização dos processos.

<p>Roberto Leme et al., 2018</p>	<p>O estudo foi efetuado numa empresa do setor metalúrgico, localizada em Campinas, São Paulo, especializada na produção de componentes para automóveis. A empresa adotou um modelo <i>Lean-Green</i> para avaliar a ecoeficiência do seu centro de maquinação, combinando a ferramenta de troca rápida de moldes (SMED) com a medição da Pegada de Carbono (CF).</p> <p>O estudo envolveu a aplicação do SMED para reduzir os tempos de inatividade das máquinas, bem como a análise da Pegada de Carbono associada às operações de maquinação. Os resultados revelaram uma redução de até 88% no tempo de inatividade e de até 81% na Pegada de Carbono, além de um aumento de 3% na ecoeficiência geral.</p>
<p>Siyu Chena et al., 2016</p>	<p>O estudo foi executado numa empresa de injeção de plásticos dedicada à produção em massa, com uma ampla gama de produtos. A pesquisa focou-se no processo de troca de moldes, conhecido como SMED (<i>Single Minute Exchange of Die</i>), em várias linhas de produção, o que demonstra a necessidade frequente de mudanças de configuração nos processos de produção da empresa. O objetivo principal foi identificar e reduzir o tempo excessivo de troca entre linhas de produção, utilizando ferramentas de gestão baseadas na metodologia Seis Sigma, em combinação com sistemas de software como SAP e JMP.</p> <p>O estudo visava melhorar a eficiência do processo de troca de moldes nas linhas de produção, através de métodos de análise de dados e melhorias sistemáticas. Como resultado, o tempo médio de troca foi reduzido de 113 minutos para 89 minutos, tendo atingido os 79 minutos como melhor tempo de troca, o que representa uma melhoria de 40%.</p>
<p>Patel Chintan Kumar, 2012</p>	<p>O estudo foi realizado na empresa Patel Chintan Kumar, que produz componentes utilizando máquinas CNC. A empresa fabrica platinas. O estudo analisou a implementação da metodologia de redução de <i>setups</i> (SMED) para aumentar a produtividade. Antes da implementação, o tempo de inatividade devido a <i>setups</i> era de 113,75 horas. Após a implementação, esse tempo foi reduzido para 59,75 horas. Consequentemente, a produtividade aumentou de 17 platinas por mês para 44 platinas no mesmo período. A implementação da metodologia SMED demonstrou ser eficaz na redução do tempo de inatividade e no aumento da capacidade produtiva.</p>

*Tabela 3 - Resumo do estudo realizados sobre o algoritmo de agrupamento ROC*

Referências	Resumo dos artigos
S. Karthikeyan et al., 2012	<p>O estudo foi realizado numa empresa especializada na produção de componentes de manufatura. A investigação concentrou-se na formação de células de máquinas, no agendamento para sistemas de manufatura processados em células, utilizando métodos heurísticos. A pesquisa visou otimizar a eficiência da produção ao melhorar a formação e o agendamento dessas células de manufatura, que são grupos de máquinas configuradas para trabalhar de forma independente numa linha de produção.</p> <p>Os resultados demonstraram que a aplicação de métodos heurísticos pode melhorar significativamente a eficiência da produção, reduzindo os tempos de processamento e os custos associados ao sistema de manufatura.</p>

## 4. Implementação do SMED na Maquinação de CNC

Este capítulo aborda o estudo realizado pela aplicação da metodologia descrita no subcapítulo 1.4 no setor de maquinação CNC da empresa, visando a redução dos tempos de *setup*. Primeiramente, são identificados os equipamentos produzidos que serão o foco do estudo, detalhando as suas principais características. Posteriormente é realizada uma *Análise Make or Buy* para as peças desses equipamentos, comparando os custos de produção interna com a subcontratação de peças específicas. Por fim o processo de implementação do SMED de acordo com as suas várias fases, é apresentado.

### 4.1. Identificação dos equipamentos foco do estudo:

Uma vez que a Mecalbi possui uma diversidade elevada de produtos, i.e., equipamentos, que podem ser oferecidos ao cliente, identificam-se de seguida aqueles que foram os mais vendidos no ano de 2023. Para tal foi realizada uma análise de *Pareto*. A análise de *Pareto* tem como base o princípio dos 80/20 e permite categorizar os produtos, de acordo com a sua importância, onde tipicamente 20% dos produtos são responsáveis por 80% das unidades vendidas.

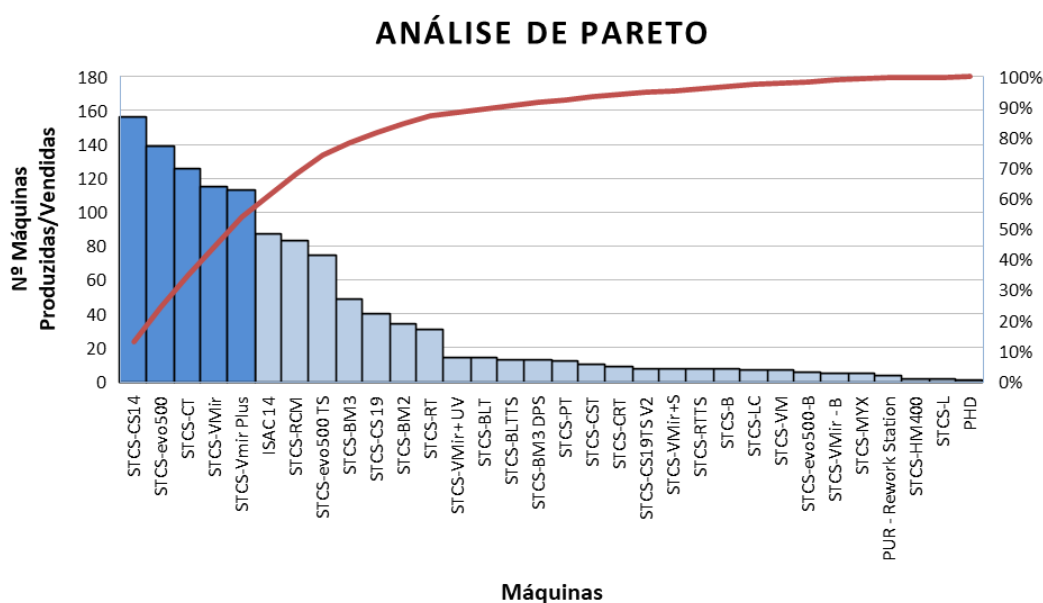


Figura 19 - Análise Pareto para as máquinas produzidas/vendidas dos equipamentos standard.

Os resultados desta análise encontram-se representado na Figura 19. De acordo com os resultados obtidos, dos 32 equipamentos standard existentes na empresa para os quais foi realizada a análise, cerca de 5 (i.e. 20%) dos modelos representam

53,9% das vendas. Estes 5 equipamentos são os seguintes: STCS-CS14, STCS-evo500, STCS-CT, STCS-VMir e STCS-VMir Plus.

Devido ao tempo disponível para a realização do estudo durante o estágio, e à preferência da empresa em concentrar os esforços em determinados equipamentos, o estudo foi restringido a duas famílias de produtos, nomeadamente as famílias EVO e VMir. Dentro dessas famílias, foram analisados os seguintes cinco produtos:

- STCS-EVO500
- STCS-EVO500TS
- STCS-VMir com Single Fixture
- STCS-VMir Plus com Single Fixture
- STCS-VMir Plus UV

Os equipamentos selecionados para esta análise foram escolhidos devido à sua semelhança estrutural e funcional, bem como por compartilharem a mesma tecnologia de radiação por infravermelhos.

Recentemente, estes equipamentos passaram por um processo de revisão, no qual foram implementadas várias melhorias técnicas. A decisão do foco nesses equipamentos específicos fundamenta-se na expectativa de que a uniformidade e as melhorias recentes facilitarão a sua produção, podendo obter-se ganhos significativos de produtividade na fabricação destes equipamentos.

O STCS-evo500, Figura 20, é um equipamento projetado para o processamento de tubos termo retráteis, utilizando resistências de infravermelhos como base. Sua conceção visa uma aplicação em bancada de trabalho e destina-se ao processamento de um cabo por cada ciclo de trabalho. Além disso, possui comunicação integrada com máquinas de soldadura por ultrassons, oferecendo diversos modos operacionais.



*Figura 20 - STCS-EVO500*

O equipamento STCS-EVO500TS, Figura 21, representa uma evolução significativa em relação à máquina anterior, o STCS-EVO500, utilizando um sistema baseado em um display com tela sensível ao toque que permite a comunicação em rede. Possui várias características de nova geração, como *Ethernet*, USB, HDMI para conexão externa de *display*, WI-FI, entre outros.



Figura 21 - STCS-EVO500TS

O STCS-VMir, Figura 22, é um sistema de retração que utiliza a tecnologia por infravermelhos. Projetado para aplicações em bancada de trabalho, este sistema pode processar vários produtos simultaneamente. A sua versatilidade é destacada pela capacidade de ser utilizada em diversas aplicações, uma vez que é equipada com um sistema de rápida troca entre gabaritos. Os gabaritos são personalizados de acordo com as especificações das aplicações, tornando-os ideais para cenários especiais.



Figura 22 - STCS-VMir com Single Fixture e com Gabarito de retração customizado

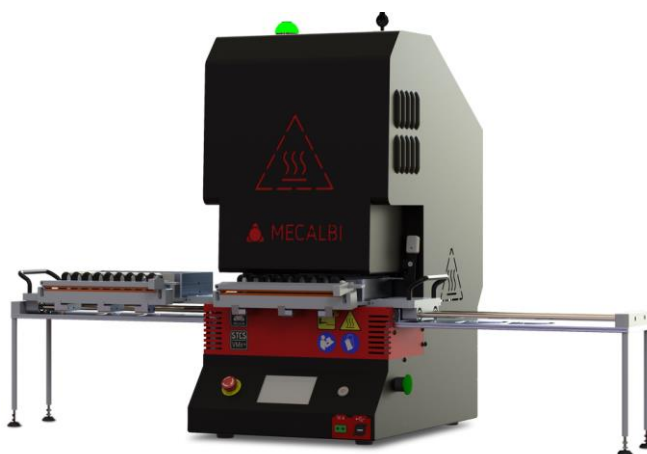
O equipamento STCS-VMir Plus, Figura 23, com Single Fixture é uma variação do equipamento STCS-VMir, Figura 22, mantendo a base tecnológica desse modelo. No entanto, a principal distinção reside na dimensão do gabarito da área de retração, que foi adaptada para medir 225mm x 100mm. Essa alteração na dimensão do gabarito proporciona uma capacidade diferente de retenção, adequada para aplicações específicas que demandam uma área de trabalho com essas dimensões

específicas. Portanto, embora seja baseado no STCS-VMir, essa variante se destaca por oferecer uma área de retenção maior, atendendo a necessidades particulares de produção.



*Figura 23 - STCS-VMir Plus com Single Fixture e com Gabarito de retração customizado*

O STCS-VMir Plus UV, Figura 24, representa uma evolução do equipamento STCS-VMir Plus, incorporando um sistema de visão que melhora significativamente o controle de todo o processo. Essa adição possibilita verificações automáticas de qualidade, tais como detecção da presença e posição de componentes, identificação de terminais contaminados ou com excesso de cola. Esta máquina oferece uma versatilidade notável, pois é equipada com um mecanismo de fixação de retração rápido e o sistema de visão pode ser configurado para se adequar a diferentes tipos de produtos. Essa capacidade de adaptação a diversas aplicações faz do STCS-VMir Plus UV uma escolha ideal para uma variedade de cenários de produção.



*Figura 24 - STCS-VMir Plus UV*

## **4.2. Análise Make or Buy:**

As peças selecionadas para uma análise *Make or Buy* fazem parte das listas de materiais (BOM) dos equipamentos identificados no subcapítulo anterior.

Adicionalmente foram seguidos os seguintes critérios na seleção de peças para análise:

- Necessidade de alteração de componentes de compra.
- Exigência de dois ou mais processos de fabrico.
- Complexidade geométrica que requer sistemas de fixação especiais.
- Necessidade de enviar peças para parceiros externos para processos que não são realizados internamente.

Para a análise são projetados os custos associados à produção interna em comparação com a subcontratação dessas mesmas peças a fornecedores externos. Identificaram-se as peças que podem ser fabricadas internamente, bem como aquelas que podem ser subcontratadas a terceiros. Esta análise permitiu segmentar as peças em cinco grupos distintos, para os quais serão elaboradas tabelas detalhando os custos de cada processo e os custos das soluções propostas. Os grupos considerados são os seguintes:



- Maquinação de peças de subcontratação / compra.
- Peças maquinadas que, internamente, requerem dois ou mais processos de fabrico.
- Peças maquinadas que necessitam de sistemas de fixação especiais.
- Peças que requerem processos como pintura ou anodização.
- Peças que são para incorporar (Soldar), em peças de *Sheetmetal*.

Além disso, serão exploradas alternativas de produção, como a utilização de processos aditivos.

#### 4.2.1. Maquinação de peças de subcontratação / compra

Na Tabela 4 apresentam-se uma listagem das peças que requerem processos de maquinação subsequentes à sua receção dos fornecedores externos. Abrange tanto os componentes e as peças adquiridos diretamente como aqueles obtidos através de subcontratação.

Tabela 4 - Lista de peças de subcontratação / compra

Fotos Pictures	Ref, Mecalbi Mecalbi Ref.	Custo componente de compra ( Subcontratação / Compra )	Custo Mecalbi ( Componente + Maquinação )	Custo Fornecedor Cubotonic
	23-07-0047	2,80 €	21,16 €	4,30 €
	23-25-0046	6,47 €	15,03 €	7,45 €

Para estas peças foi efetuado um levantamento das etapas de produção necessárias, destacando-se as intervenções específicas de maquinação que são realizadas internamente após a entrega dos componentes e das peças de subcontratação vindos dos fornecedores. A análise realizada revela que, por exemplo, a referência 23-07-0047 é obtida por subcontratação e posteriormente alterada pelo setor de maquinação da Mecalbi. Para a fabricação desta peça, utiliza-se o processo de corte a laser, que impossibilita a realização da operação de boleado em ambas as faces. Até o momento, não havia sido considerado solicitar ao fornecedor o fornecimento da peça completamente acabada, o que incluiria uma operação de maquinação adicional após o corte a laser. Dessa forma, a peça, após ser recebida do fornecedor, era finalizada pela Mecalbi, com o boleamento realizado internamente nas máquinas CNC.

Para cálculo do custo industrial da peça, foi tido em consideração o custo inicial de aquisição de 2,80€, ao qual são adicionados os custos de operação realizadas internamente na Mecalbi, no centro de custos associado à maquinação CNC. Foi considerado o tempo de *setup* e de maquinação dessas peças, multiplicado pelo custo por hora, totalizando 21,16€. O fornecedor foi contatado por forma a que executasse também o processo subsequente, permitindo que a Mecalbi recebesse a peça já acabada. O orçamento obtido foi de 4,30€. Comparando com os 21,16€, a Mecalbi reduzirá o custo desta peça em aproximadamente 80%.

Este pedido foi feito devido à necessidade de um acabamento escovado após o corte a laser, um processo que a Mecalbi não possui. Além disso, durante a execução da maquinação, as peças frequentemente sofriam riscos, comprometendo a qualidade final.

Adicionalmente, essa mudança evita a necessidade de dois espaços distintos de armazenamento para as diferentes referências: a peça recebida do fornecedor e a peça com as operações efetuadas pelo setor de maquinação da Mecalbi. Isso também previne a possibilidade de mistura acidental das peças, já que os operadores de armazém ocasionalmente confundem as duas referências. Dessa forma, atribuir ao fornecedor a execução completa do processo não só diminui os custos, como também melhora a qualidade do produto final, otimiza a gestão de armazenamento e minimiza os erros humanos.

No que diz respeito à referência 23-25-0046, trata-se de um componente mecânico standard no mercado que, devido à sua aplicação no equipamento, não pode ser fornecido pelo fornecedor conforme as especificações da Mecalbi. Portanto, o componente necessita de modificações realizadas pelo setor de maquinação da Mecalbi.

Inicialmente, o componente tem um custo de compra de 6,47€, mas, somando aos custos das modificações realizadas, resulta em um custo unitário de 15,03€.

Foi realizada uma pesquisa junto a diversos fornecedores para encontrar uma alternativa viável a este componente. Identificou-se a referência SHPSNA6 do fornecedor *Misumi*, com um custo de 8,92€ em comparação aos 15,03€ dos custos atuais. Embora esta referência seja semelhante à utilizada atualmente e já presente, de um dos lados, os furos oblongos que são maquinados no setor de maquinação da Mecalbi, ela não é totalmente compatível. Seriam necessários ajustes nas peças onde será aplicada, como a substituição das furações de parafusos M6 por M5, entre outras alterações. Por esse motivo, conclui-se que essa não é uma solução viável.

Mediante isto, desenhou-se o componente de compra para ser considerado uma peça de subcontratação, uma vez que a Mecalbi não possui os processos de corte a laser e de quinagem de chapas, que são os mais adequados para a fabricação deste tipo de peças. Com o componente convertido em peça de subcontratação, foi solicitada uma cotação para a produção da peça já com as modificações necessárias a um dos atuais parceiros da Mecalbi. A proposta recebida foi muito satisfatória, com um valor de 7,45€ por unidade, demonstrando-se competitiva. Com esta redução de valores a Mecalbi irá ter uma redução de 50% no custo deste componente.

Adicionalmente, foi realizada uma análise do consumo desta peça, revelando uma necessidade anual de aproximadamente 1500 unidades. Para minimizar as movimentações e os custos associados a processos que não agregam valor, como o custo de posse, foi acordado com o parceiro a entrega faseada conforme as necessidades da Mecalbi.




É de todo o interesse da Mecalbi alargar este estudo a todas as peças que se encontram nesta situação. Durante a realização deste estudo, também foi identificada uma falta de sensibilização interna para este tipo de questões, bem como a necessidade de definir de forma clara a área responsável pela implementação das melhorias necessárias, com o objetivo de adotar medidas que promovam a redução de custos.

Nesse sentido, recomenda-se que as áreas de Produção, Desenvolvimento e Compras colaborarem de forma integrada, criando sinergias para atingir o objetivo comum de redução de custos na produção dos equipamentos.

#### **4.2.2. Peças maquinadas que requerem dois ou mais processos de fabrico**

Ao analisar a viabilidade de realizar os processos internamente ou subcontratar a produção das peças a empresas com capacidade de maquinação adequada, foi levado em consideração os custos de matéria-prima, mais o tempo de *setup* e de maquinação dessas peças, multiplicado pelo valor hora do centro de custo, definindo assim o custo Mecalbi apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Lista de peças que requerem dois ou mais processos (Fresagem / Torneamento)

Fotos Pictures	Ref, Mecalbi Mecalbi Ref.	Custo Mecalbi ( MP + MO )	Custo Fornecedor Machining CNC	Custo Fornecedor Pontec
	23-25-0155	18,55 €	2,79 €	3,94 €
	23-17-0131	16,17 €	2,89 €	1,84 €
	23-25-0112	11,27 €	3,36 €	1,69 €

É fundamental salientar que a maquinação dessas peças é de natureza complexa e necessita de máquinas especializadas para garantir os padrões de qualidade desejados. Sem tais recursos específicos, os custos associados à produção dessas peças podem tornar-se exorbitantes. Portanto, a falta de máquinas adequadas ou a tentativa de produção sem os equipamentos apropriados resultam em custos significativamente elevados e pode comprometer a qualidade final dos produtos.

Após a análise apresentada na Tabela 5, pode-se concluir que a maquinação dessas peças internamente pelo setor de maquinação da Mecalbi representa um custo significativo comparado aos valores apresentados por dois fornecedores, Machining CNC e Pontec. Esse custo elevado deve-se ao tempo considerável gasto na movimentação das peças entre diferentes máquinas, como do processo de torneamento para o processo de fresagem. Cada uma dessas máquinas envolve custos tanto de *setups* quanto na fabricação de sistemas de fixação adequados para evitar danos às peças durante a maquinação. Fixações inadequadas podem resultar em peças não conformes, impactando negativamente a qualidade final do produto. Esses processos são essenciais para otimizar a fabricação e garantir a qualidade desejada.

Considerando os custos já apresentados para as respectivas peças, foi identificado três possíveis abordagens para otimizar o processo de produção deste tipo de peças. A primeira abordagem envolve subcontratar essas peças a empresas que possuam máquinas CNC especializadas para este tipo de peças. Aproveitar a experiência e os recursos dessas empresas, podemos reduzir custos. A segunda opção é investir em uma nova máquina CNC que esteja configurada para realizar todas as operações de maquinação de uma só vez, eliminando a necessidade de *setups* extensos e a movimentação das peças entre diferentes processos, resultando assim na redução de custos operacionais. A terceira alternativa é definir uma quantidade mínima de produção para que os tempos de *setup* não sejam maiores que os tempos de execução, incentivando a produção em lotes maiores para reduzir os custos por peça, semelhante às práticas dos nossos parceiros que oferecem descontos baseados na quantidade encomendada.

A aquisição de uma nova máquina CNC representa um investimento significativo que, no momento, está fora dos planos da empresa. Além disso, definir uma quantidade mínima de produção aumentaria o stock dessas peças, o que vai contra o novo paradigma da empresa, que visa reduzir os custos de posse e adotar uma produção sob a procura para atender às necessidades de produção.

Diante dessas considerações, a decisão mais adequada a curto prazo é a subcontratação dessas peças. Essa abordagem proporcionará uma redução substancial nos custos por referência, conforme detalhado abaixo:

- *23-25-0155*: O custo atual na Mecalbi é de 18,55€, enquanto o custo do fornecedor mais barato, Machining CNC, é de 2,79€. Isso resulta em uma redução de custo de aproximadamente de 85%.
- *23-17-013*: O custo atual na Mecalbi é de 16,17€, e o custo do fornecedor mais barato, Pontec, é de 1,84€. A redução de custo é de aproximadamente de 89%.
- *23-25-0112*: O custo atual na Mecalbi é de 11,27€, e o custo do fornecedor mais barato, Pontec, é de 1,69€. Isso representa uma redução de custo de aproximadamente de 85%.

Portanto, a subcontratação dessas peças não só está alinhada com os objetivos estratégicos da empresa, como também oferece uma economia significativa em comparação com os custos atuais.

#### **4.2.3. Peças que necessitam de sistemas de fixação especiais**

Ao analisar a viabilidade de realizar internamente os processos de produção ou subcontratar a fabricação deste tipo de peças que exigem sistemas de fixação especiais, como mesas de vácuo ou fixação por parafusos, a avaliação foi conduzida considerando os custos envolvidos.

A análise dos custos diretos foi abrangente, incluindo não apenas os custos de materiais e mão de obra diretamente associados à produção das peças, mas também os custos relacionados à manutenção das máquinas e dos sistemas de fixação. Além disso, foram considerados o consumo adicional de energia necessário para a criação do vácuo.












Essa análise, apresentada na Tabela 6, oferece uma visão detalhada dos custos associados à fabricação interna de cada peça pelo setor de maquinação CNC da Mecalbi. Com base nos dados obtidos, foi possível comparar os custos das duas opções disponíveis: produção interna e subcontratação a fornecedores. Esta comparação fornece uma base sólida para a tomada de decisão estratégica pela Mecalbi.

Com os valores apurados, pode-se concluir que a maquinação deste tipo de peças na Mecalbi não é competitiva, apresentando custos em algumas referências mais do dobro do que os parceiros da Mecalbi conseguem oferecer. Para a Mecalbi ser competitiva, seria necessário aumentar a quantidade de produção de cada tipo de peças, por forma a que os tempos de *setup* não sejam maiores que os tempos de execução. Esta prática poderia ser similar à adotada pelos nossos parceiros, que oferecem descontos conforme as quantidades encomendadas, incentivando a produção em quantidades. Isso permitiria deixar pelo menos uma máquina a maquinar de forma autónoma e sem supervisão do operador, proporcionando a oportunidade de dedicar-se por inteiro a outra máquina. Uma das razões da inoperacionalidade das máquinas é a necessidade de supervisão do operador devido a serem peças unitárias ou de lotes muito reduzidos.

Analisando os valores apresentados na Tabela 6 conclui-se que será possível alcançar uma redução substancial nos custos por referência, com uma média de aproximadamente 50% para o conjunto das 11 referências analisadas.

Considerando todos os aspetos envolvidos, a decisão mais apropriada é optar pela subcontratação deste tipo de peças. Esta abordagem garante a melhor solução financeira para a empresa, proporcionando uma significativa economia de custos.

Tabela 6 - Lista de peças maquinadas que necessitam sistemas de fixação especiais

Fotos Pictures	Ref, Mecalbi Mecalbi Ref.	Custo Mecalbi ( MP + MO )	Custo Fornecedor Machining CNC	Custo Fornecedor Pontec
	23-17-0208	34,97 €	17,83 €	25,99 €
	23-17-0159	18,61€	7,92 €	6,56 €
	24-23-0141	243,75 €	155,20 €	94,39 €
	23-25-0200	39,15 €	17,83 €	25,99 €
	24-23-0142	99,21€	42,70 €	50,25 €
	23-25-0209	43,11€	51,60 €	30,71€
	23-25-0211	41,45 €	51,60 €	29,21€
	24-23-0151	111,17 €	111,00 €	53,06 €
	24-23-0152	101,52 €	111,00 €	52,88 €
	24-23-0154	13,05 €	8,10 €	6,60 €
	23-48-0002	246,48 €	155,20 €	119,76 €

#### 4.2.4. Peças que requerem processos como pintura ou anodização

Este ponto distinto dos anteriores, pois a Mecalbi, não possuindo capacidade interna para realizar os processos de pintura ou anodização, precisa subcontratar essas operações de acabamento após a conclusão das etapas de maquinação.

O processo atual envolve operações de logística e transporte, o que aumenta tanto o custo das peças quanto o tempo de produção. Para otimizar esse fluxo, a solução foi procurar fornecedores alternativos que possam fornecer as peças já acabadas, garantindo a qualidade do acabamento, os prazos de entrega e os custos.

A subcontratação dessas peças permite à Mecalbi manter o foco nas suas competências principais, ao mesmo tempo em que se beneficia da experiência e infraestrutura de parceiros especializados.

Na Tabela 7 está a única peça que requer este tipo de acabamento na lista dos equipamentos que foram o foco deste estudo.

Tabela 7 - Lista de peças que requerem processos como pintura ou anodização

Fotos Pictures	Ref, Mecalbi Mecalbi Ref.	Custo Mecalbi ( MP + MO + Tratamento)	Custo Fornecedor Machining CNC	Custo Fornecedor Pontec
	24-23-0153	50,25 €	9,60 €	5,00 €

Dada a natureza dispendiosa e demorada do processo de envio das peças para tratamento, a subcontratação da produção completa, incluindo os tratamentos de anodização ou pintura, é a solução mais econômica. Essa abordagem permite uma redução de custos na ordem de aproximadamente 90%. Ao delegar a produção e o tratamento a parceiros especializados, a Mecalbi pode eliminar os custos e desafios logísticos associados ao transporte das peças, simplificando o fluxo de trabalho interno e garantindo que os tratamentos sejam aplicados conforme os padrões de qualidade exigidos.

Portanto, a decisão de subcontratar a produção completa deste tipo de peças, incluindo todos os tratamentos necessários, é a mais vantajosa para a empresa. Essa solução não apenas reduz os custos, mas também liberta recursos internos, permitindo que a equipe da Mecalbi se concentre em atividades que realmente agregam valor.

#### 4.2.5. Peças para incorporar (Soldar), em peças adquiridas

Neste ponto, foi avaliada a possibilidade de realizar as operações de soldadura internamente, em comparação com a subcontratação desse serviço a terceiros. No entanto, as instalações da Mecalbi não foram projetadas para processos de soldadura, que exigem sistemas de extração de fumos, os quais a empresa não possui.

Conclui-se assim que essa opção não é viável no momento, pois implicaria a aquisição e reestruturação das instalações para acomodar esse tipo de processo, além da necessidade de adquirir máquinas específicas e contratar operadores qualificados.


Dada a complexidade e os custos envolvidos, a subcontratação da soldadura a terceiros é a alternativa mais adequada. Essa decisão elimina a necessidade de investimentos iniciais substanciais e reduz a complexidade operacional interna.

No entanto, a decisão de subcontratar a soldadura por si só não é suficiente. A fabricação interna das peças e o envio posterior para o fornecedor acarretam os mesmos encargos logísticos e de transporte já discutidos para peças que requerem processos como pintura ou anodização. Para minimizar esses custos, foram realizados contatos com fornecedores de *sheetmetal* para verificar se eles poderiam fabricar as peças diretamente. Contudo, constatou-se que esses fornecedores não possuem a capacidade interna para tal.

Diante disso, foi avaliado o consumo dessas peças no ano transato, tendo sido verificado que a referida peça, teve um consumo de 1070 unidades. Com base nesse consumo, sugere-se a produção de uma quantidade suficientemente elevada e o envio ao fornecedor. O fornecedor deverá então gerir o stock dessas peças, solicitando reposições com antecedência para evitar rupturas de stock.

Mesmo assim, analisando os valores de custo de fabricação interna e subcontratação da peça, indicados na Tabela 8, conclui-se que a Mecalbi não é competitiva na fabricação desta peça, pois os custos de matéria-prima somados com os custos de produção da respetiva peça fica a 10,66€ unitário, enquanto o fornecedor Pontec, apresentou o valor mais baixo, a Mecalbi conseguirá reduzir o custo com esta peça em 91%. No entanto, é importante notar que a Mecalbi tem produzido esta peça sempre que é necessária, evitando assim criar stock da mesma, o que tem aumentado o custo de produção deste tipo de peças. Por outro lado, os fornecedores estipularam uma quantidade mínima de pelo menos 100 unidades para conseguirem fazer preços competitivos.

Tabela 8 - Lista de peças que são para incorporar (Soldar), em peças de Sheetmetal

Fotos Pictures	Ref, Mecalbi Mecalbi Ref.	Custo Mecalbi ( MP + MO )	Custo Fornecedor Machining CNC	Custo Fornecedor Pontec
	23-25-0156	10,66 €	1,05 €	0,97 €

Mais uma vez, é necessário encontrar um compromisso entre a redução de stocks e os custos excessivos de produção de peças, devido à produção ser unitária ou em quantidades reduzidas. Portanto, a decisão de subcontratar as peças e as operações de soldadura, colocando o fornecedor a gerir o stock dessas peças, não apenas otimiza os recursos internos da Mecalbi, mas também contribui para a sustentabilidade financeira e operacional da empresa.

Em resumo, a análise detalhada dos custos e benefícios associados à subcontratação das operações de soldadura, juntamente com a gestão de stock pelo fornecedor, revela-se como a opção mais viável para a empresa.

#### 4.2.6. Processo de arranque de apara versus processos aditivos

Na indústria moderna, a qualidade e os custos de produção são fatores cruciais que determinam a escolha dos métodos de fabrico. Entre os métodos mais utilizados para a produção de peças, destacam-se os processos de arranque de apara e os processos aditivos. Cada um destes métodos possui características únicas que influenciam a sua aplicação em diferentes contextos industriais.

Os processos de arranque de aparas, também conhecidos como maquinação, envolvem a remoção de material de um bloco sólido para obter a forma desejada. Este método, tradicional e amplamente utilizado, é reconhecido pela sua capacidade de alcançar altos níveis de precisão e excelentes acabamentos superficiais. No entanto, apresenta desvantagens significativas, como o desperdício de material e os elevados custos associados ao descarte dos resíduos gerados. Além disso, a operação de máquinas CNC exige manutenção frequente e mão de obra especializada, o que contribui para custos adicionais significativos.

Por outro lado, os processos aditivos, como a impressão 3D, representam uma abordagem mais recente e inovadora. Estes métodos constroem as peças adicionando material camada por camada, permitindo a criação de geometrias complexas e reduzindo significativamente o desperdício de material. A impressão 3D tem vindo a ganhar destaque não só pela sua versatilidade e rapidez na prototipagem, mas também pelos benefícios ambientais e de sustentabilidade que oferece em comparação com os métodos tradicionais de fabrico. No entanto, o processo aditivo por injeção de molde foi descartado para produções de pequenas

séries ou unitárias devido ao elevado custo associado à criação dos moldes e ao baixo consumo deste tipo de peças.

A escolha entre processos de arranque de aparta e processos aditivos não é trivial e depende de uma análise cuidadosa de diversos fatores, incluindo a complexidade do *design*, o tipo de material, as necessidades (quantidades) de produção e os custos envolvidos. Este capítulo visa explorar as vantagens e desvantagens de cada método, proporcionando uma visão abrangente que possa guiar na escolha do processo mais adequado para diferentes aplicações industriais.

#### *Vantagens do Processo de Arranque de Aparta:*

- *Precisão e Tolerânciamto:* Os processos de maquinação conseguem atingir altos níveis de precisão e tolerâncias muito rigorosas, essenciais para peças que requerem exatidão dimensional. Este nível de precisão é fundamental em indústrias como a aeronáutica e a automóvel, onde pequenos desvios podem comprometer a segurança e a funcionalidade.
- *Acabamento Superficial:* A maquinação pode proporcionar excelentes acabamentos superficiais, reduzindo a necessidade de processamentos adicionais de acabamento. Isto é particularmente importante em peças que exigem superfícies lisas e sem defeitos, como componentes óticos e moldes para injeção de plásticos.
- *Material Versátil:* Os processos de arranque de aparta são adequados para uma ampla variedade de materiais, incluindo metais, plásticos e madeiras, independentemente das suas propriedades físicas e mecânicas. Esta versatilidade permite a utilização de materiais com características específicas para diferentes aplicações.
- *Resistência e Durabilidade:* As peças produzidas por maquinação tendem a ser muito resistentes e duráveis, sendo adequadas para aplicações que exigem alta resistência mecânica e durabilidade ao longo do tempo, como ferramentas de corte e componentes estruturais.
- *Consistência na Produção em Massa:* A maquinação é ideal para a produção em massa de peças uniformes e consistentes. Isto é crucial em linhas de produção automatizadas onde a consistência e a repetibilidade são essenciais para manter a qualidade e a eficiência.
- **Desvantagens do Processo de Arranque de Aparta:**
- *Desperdício de Material:* O processo gera uma quantidade significativa de resíduos, uma vez que o material é removido de um bloco inicial. Este desperdício pode representar um custo adicional, tanto em termos de material como de descarte dos resíduos.
- *Custo:* Os processos de arranque de aparta podem ser caros devido ao uso intensivo de máquinas, ferramentas e energia, especialmente para pequenas

séries de produção. Além disso, a manutenção e a substituição das ferramentas de corte adicionam custos adicionais.

- *Tempo de Produção:* A maquinação pode ter tempos de ciclo elevados, especialmente para peças complexas que requerem múltiplas operações. Isto pode atrasar o tempo de entrega e aumentar os custos de produção.
- *Complexidade Geométrica Limitada:* Há limitações na criação de geometrias extremamente complexas, que podem ser difíceis ou impossíveis de alcançar com métodos subtrativos. Isto pode limitar a inovação e a capacidade de produzir peças com *designs* avançados.

#### *Vantagens dos Processos Aditivos (Impressão 3D):*

- *Complexidade Geométrica:* Os processos aditivos são capazes de produzir geometrias altamente complexas e detalhadas que seriam difíceis ou impossíveis de alcançar com métodos tradicionais de maquinação. Isto permite a criação de *designs* inovadores e a otimização de estruturas para reduzir peso e aumentar a eficiência.
- *Redução de Desperdício:* Os processos aditivos minimizam o desperdício de material, uma vez que apenas o material necessário é utilizado para criar a peça. Esta eficiência material contribui para a sustentabilidade e a redução de custos com matéria-prima.
- *Rapidez na Prototipagem:* A impressão 3D permite a rápida criação de protótipos, acelerando o processo de desenvolvimento de produtos. Isto é especialmente útil em fases de *design* e de testes, onde, por vezes, são necessárias alterações de rápida execução.
- *Customização e Personalização:* Os processos aditivos facilitam a produção de peças customizadas e personalizadas, adaptadas às necessidades específicas dos clientes. Isto é vantajoso em mercados onde a personalização é valorizada, como na medicina (próteses personalizadas) e na moda.
- *Menor Custo Inicial:* Para pequenas produções e prototipagem, o custo inicial dos processos aditivos pode ser menor em comparação com os métodos tradicionais de maquinação, uma vez que não requerem moldes ou ferramentas específicas.

#### *Desvantagens dos Processos Aditivos (Impressão 3D):*

- *Propriedades do Material:* As propriedades mecânicas das peças fabricadas pelos processos aditivos podem não ser tão robustas ou duráveis quanto as peças maquinadas, dependendo do material e do processo aditivo utilizado. Isto pode limitar a aplicação das peças em ambientes exigentes.
- *Limitações de Materiais:* Existe uma menor variedade de materiais disponíveis para processos aditivos, especialmente em comparação com a maquinação. Alguns materiais com propriedades específicas ainda não podem ser utilizados eficazmente em impressão 3D.
- *Acabamento Superficial:* As peças produzidas pelos processos aditivos frequentemente requerem acabamento adicional para obter uma superfície lisa e uniforme. Isto adiciona etapas adicionais ao processo de fabrico e pode aumentar os custos e o tempo de produção.
- *Tamanho das Peças:* As máquinas de impressão 3D têm limitações de tamanho, o que pode ser um desafio para a produção de peças grandes. Isto pode exigir a divisão do *design* em várias partes que depois precisam de ser montadas, o que pode comprometer a integridade estrutural e a precisão.
- *Precisão e Tolerância:* Pode ser difícil atingir as mesmas tolerâncias que são possíveis com os processos tradicionais de maquinação. Isto pode ser um problema para peças que exigem alta precisão dimensional e rigorosas especificações técnicas.

#### **4.2.7. Impressora 3D existente na Mecalbi**

A Impressora 3D XiP, ver Figura 25 vem equipada com tecnologia de ponta, esta impressora industrial de resina (plásticos), veio redefinir os padrões de produtividade e qualidade na indústria 3D.

Com um volume de construção de 4.8 litros, essa capacidade de produção não só transforma a economia da produção de impressão 3D, mas também reduz significativamente o investimento em equipamentos. Além disso, a sua capacidade exclusiva de colocar peças por camadas permite a otimização do espaço, aproveitando ao máximo todo o volume de construção disponível.



Figura 25 - Impressora XiP de Resina, Sistema de lavagem e o Sistema de cura

A seguir, será apresentada uma comparação detalhada dos custos de produção, utilizando os diferentes métodos abordados neste estudo. Esta análise incluirá uma estimativa dos custos associados ao fabrico das mesmas peças quando produzidas através do método aditivo de impressão 3D, em comparação com os métodos tradicionais de arranque de aparas (maquinação CNC), conforme ilustrado na Tabela 10. Serão considerados, os custos de materiais, o tempo de produção e a necessidade de acabamentos adicionais. O objetivo avaliação visa proporcionar uma compreensão abrangente das implicações económicas de cada método, permitindo uma escolha informada e estratégica do processo de fabrico mais adequado para cada aplicação específica.

No processo aditivo de impressão 3D, é igualmente necessário considerar o tempo de preparação, como no processo de maquinação. Para isso, foi realizado um levantamento das tarefas e dos respetivos tempos necessários para a impressão das peças recorrendo à máquina 3D XiP, ver Tabela 9.





Para determinar o tempo de preparação para a máquina de impressão 3D XiP foram realizadas medições utilizando a aplicação *stopwatch* da calculadora *TiNspire*, que possui funcionalidade de cronometragem com retorno a zero. Os dados foram recolhidos durante uma única observação e posteriormente compilados numa folha de Excel. As operações foram identificadas com base nos processos realizados, independentemente do tipo de peça a ser impressa. O operador foi informado sobre o objetivo da cronometragem e solicitado que realizasse as operações normalmente, como se não estivesse a ser observado, garantindo a fidelidade dos resultados.

Tabela 9 - Tempos de Setup da impressão 3D

<b>Preparação da impressão com impressora 3D Setup's</b>		
Descrição da Operação	Tempo [ Minutos ]	Tempo [ hh:mm:ss ]
Converter ficheiro CAD (Sodid Works) para ser carregado no software NexaX 3D Printing (STL).	0,53	00:00:32
Carregar ficheiro (STL) no software NexaX 3D Printing e preparar as peças para impressão (definição de suportes).	13,80	00:13:48
Preparação do tabuleiro onde se vai efetuar a impressão das peças.	0,40	00:00:24
Agitar a resina de forma a garantir que fique homogénea.	0,32	00:00:19
Carregar ficheiro gerado pelo software NexaX 3D Printing e dar início à impressão.	0,65	00:00:39
* Tempo de impressão da peça.		00:00:00
Retirar o tabuleiro da impressora e colocalo dentro da maquina de lavagem.	0,42	00:00:25
Lavagem das peças numa emulsão de álcool isopropílico.	2,15	00:02:09
Soprar as peças para remover os vestígios da lavagem das peças da emulsão de álcool isopropílico.	0,33	00:00:20
Remover as peças do tabuleiro e remover os apoios.	8,34	00:08:20
Colocar a curar numa camara de luz ultravioleta Como a cura é feita numa máquina autónoma, enquanto está a curar as peças remove-se os vestígios da impressão e limpa-se o tabuleiro da impressora.	60,80	01:00:48
Dar acabamento nas peças impressas (remover disfarçar algumas imperfeições da impressão e o sitio onde estavam os suportes).	21,68	00:21:41
	<b>109,42</b>	<b>01:49:25</b>

\* O tempo de impressão das peças não foi registado nesta tabela, pois varia de peça para peça. Isso significa que, ao tempo de preparação apresentado, será somado o tempo específico de impressão de cada peça para calcular o custo final de cada item. Assim, os cálculos terão em conta tanto o tempo de preparação quanto o tempo individual de impressão, garantindo uma estimativa precisa dos custos envolvidos.

Tabela 10 - Comparação de custos Maquinação versus impressão 3D

Fotos Pictures	Ref, Mecalbi Mecalbi Ref.	Qt. Qty.	Custo Mecalbi ( MP + MO )	Custo Mecalbi ( Impressão 3D )
	23-19-0001	12	58,01€	57,45 €
	23-19-0014	104	493,36 €	55,73 €
	23-22-0113	56	139,39 €	58,50 €
	23-48-0008	15	55,51€	57,53 €

As peças identificadas na Tabela 10, são peças que fazem parte das listas de materiais (BOM) dos equipamentos que são o foco deste estudo. As quantidades apresentadas na tabela foram determinadas de forma a otimizar o aproveitamento do tabuleiro da máquina de impressão existente na Mecalbi. Esta abordagem visa maximizar a eficiência da impressão e reduzir os custos associados. Conforme descrito anteriormente, a impressora existente na Mecalbi é de resina, o que implica que o tempo necessário para imprimir uma peça ou as quantidades suportadas pelo tabuleiro são consistentes e iguais. Portanto, ao planejar as quantidades de resina a serem utilizadas e o tempo necessário para a impressão, levamos em consideração a capacidade máxima do tabuleiro, garantindo assim o máximo aproveitamento da capacidade da máquina e minimizando os custos operacionais.

Para o cálculo do custo das peças apresentados na Tabela 10, foram considerados diversos fatores. No caso da maquinação, os custos incluem a matéria-prima, o tempo de *setup* e o tempo de maquinação, multiplicado pelo centro de custo por hora. Para a impressão 3D, os custos foram calculados com base na quantidade de resina necessária para a impressão das peças, o tempo de *setup* representados na Tabela 9 e o tempo de impressão, também multiplicado pelo centro de custo por hora. Esses cálculos proporcionaram uma comparação entre os custos de produção pelos métodos de maquinação e impressão 3D.

Com base no presente estudo, as referências 23-19-0001 e 23-48-0008 não apresentam vantagens significativas em termos de custos quando se compara a produção dessas peças pelo processo aditivo de Impressão 3D com o método de maquinação nas máquinas CNC. No entanto, para as referências 23-19-0014 e 23-22-0113, a utilização da Impressão 3D resultou em reduções de custos de 89% e 58%, respectivamente, totalizando uma média de 73% de redução de custos para essas duas referências.

Atualmente, os resíduos provenientes da maquinação de peças a partir de materiais plásticos não são recicláveis e são encaminhados para aterro. A adoção do método de produção por processo aditivo revela-se benéfica do ponto de vista da

sustentabilidade, dado que contribui para uma redução significativa na geração desse tipo de resíduos.

A implementação deste novo processo não só ajudaria a reduzir a pegada ambiental da Mecalbi, como também poderia resultar em benefícios económicos substanciais, ao diminuir os custos associados à gestão de resíduos. Este método não só promove a eficiência da matéria-prima como também reduz a necessidade de transporte e armazenamento de resíduos, oferecendo assim uma solução prática e ecológica.

Portanto, é imperativo que a empresa considere seriamente esta alternativa sustentável e financeiramente vantajosa para a produção das peças identificadas dos equipamentos que foram o foco deste estudo. Além disso, seria prudente alargar esta metodologia às restantes peças produzidas pela Mecalbi, visando maximizar os benefícios ambientais e económicos para a empresa.

A transição para processos aditivos não só reforça o compromisso da Mecalbi com a inovação e sustentabilidade, como também potencia a sua competitividade no mercado através da otimização de recursos e redução de custos operacionais. A aposta neste método de produção representa, assim, um passo estratégico crucial para o futuro sustentável da empresa.

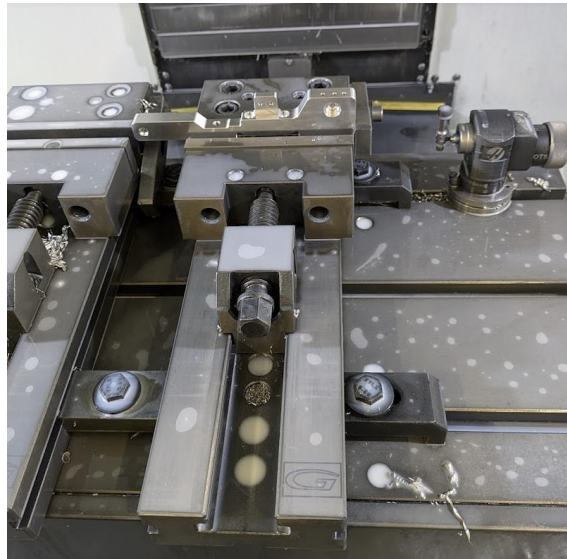
### **4.3. Caracterização dos tempos de *setup* atuais**

Para caracterizar a situação atual foi fundamental realizar uma análise detalhada dos processos de *setup* existentes. Isso envolveu a identificação de todas as operações envolvidas e os tempos associados a cada uma delas.

Como já referido os tempos de *setup* consistem em tempos de preparação das máquinas de CNC para a execução (i.e., maquinação) da próxima peça ou lote de peças, para que esta fique em conformidade com os requisitos especificados pelo *design*. Esta preparação envolve um conjunto de operações, nomeadamente:

- A limpeza do sistema de fixação das peças a serem maquinadas para garantir que não haja resíduos que possam comprometer a precisão da maquinação.
- A fixação da peça no sistema de aperto, ver Figura 26 e Figura 27.
- Realizar o zero da peça, ou seja, definir a posição inicial de referência para o processo de maquinação, ver Figura 28.
- O aperto das ferramentas necessárias nos sistemas de fixação, conhecidos como cones porta pinças, ver Figura 29.
- Colocar os cones porta pinças na máquina CNC, conforme ilustrado na Figura 30.

- Medição das ferramentas para assegurar que atendem às especificações exigidas, conforme a Figura 31.
- Realizar a maquinação da primeira peça, conforme ilustrado na Figura 32.
- Verificar a primeira peça e efetuar os ajustes necessários, conforme mostrado na Figura 33.



*Figura 26 - Sistema de fixação de peças no processo de fresagem, denominada de prensa.*



*Figura 27 - Sistema de fixação de peças no processo de torneamento, denominada de bucha de 3 grampos.*



*Figura 28 - Sistema para efetuar o zero da peça por apalpação de forma automática.*



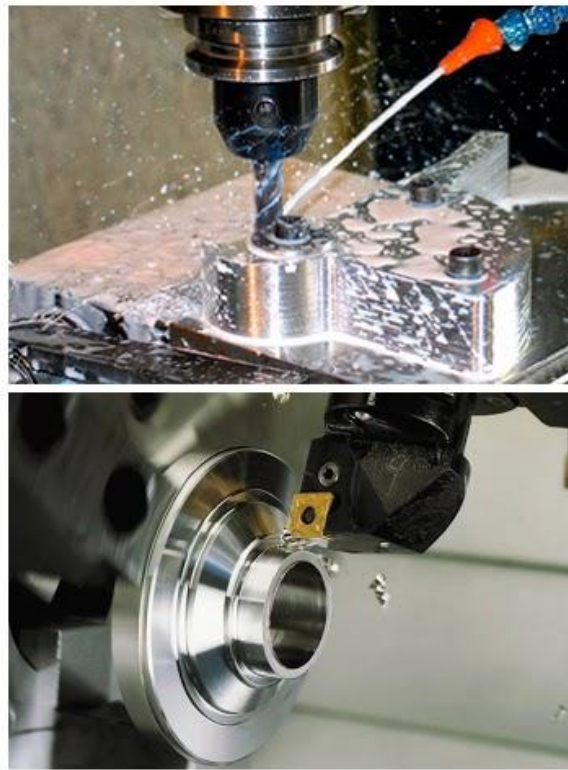
*Figura 29 - Sistema de aperto das ferramentas de corte no sistema de fresagem, denominado de cone porta pinças.*



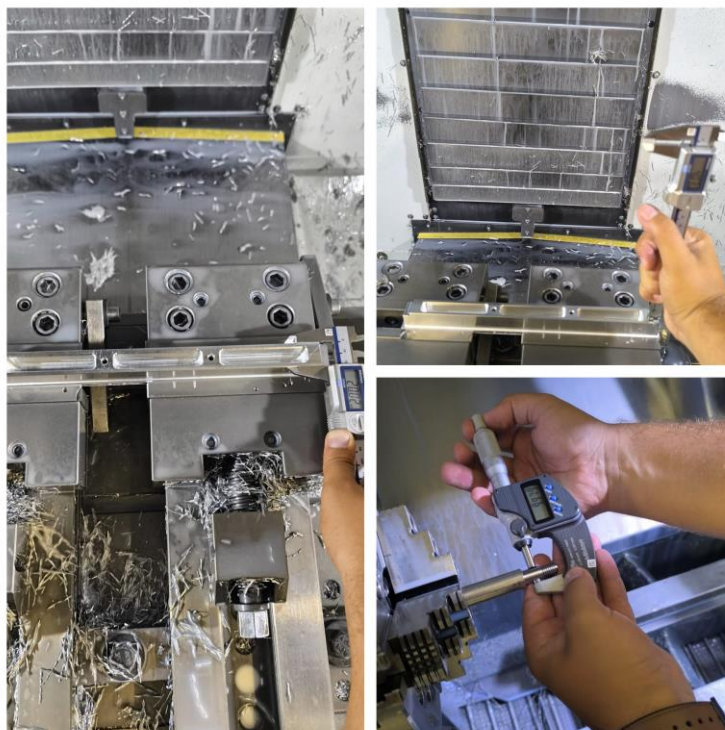
*Figura 30 - Colocação dos cones porta pinças na máquina CNC.*



*Figura 31 - Sistema de medir a ferramentas por apalpação de forma automática.*



*Figura 32 - Maquinação da primeira peça.*



*Figura 33 - Verificação da primeira peça e efetuar os ajustes necessários.*

Para determinar o tempo de *setup* para cada máquina, foram efetuadas medições utilizando a aplicação *stopwatch* da calculadora *TI-nspire*, que possui funcionalidade de cronometragem com retorno a zero. Os dados foram recolhidos durante uma única observação e posteriormente compilados em folhas de Excel. Os elementos foram identificados com base nas operações realizadas em cada máquina, considerando os processos executados pelos operadores em diferentes máquinas, sem distinção quanto ao tipo de peça a ser maquinada. Os operadores foram devidamente informados sobre o objetivo desta cronometragem e foi solicitado que ignorassem o fato de estarem a ser observados, replicando todas as operações que normalmente realizam.

Na Tabela 11 foram agrupadas as máquinas CNC FR003, FR005, FR008 e FR009 devido às suas semelhanças, em especial pelo uso do mesmo sistema de aperto. É importante salientar que o tempo de *setup* pode variar de acordo com o número de ferramentas necessárias para a execução do programa CAM. O tempo apresentado corresponde ao tempo de preparação de uma única ferramenta. Caso seja necessário mais do que uma ferramenta, o tempo total será a multiplicação direta dos tempos das operações 6, 7 e 8 pelo número de ferramentas necessárias.

O tempo de “\* Maquinação da peça” não foi registado nas tabelas, pois varia conforme a peça. No entanto, esse tempo foi considerado nos cálculos do tempo total de produção de cada peça, permitindo uma estimativa precisa do custo final. Assim, além do tempo de preparação (*setup*), o tempo de maquinação de cada peça foi incluído na análise, assegurando que todos os elementos do processo de fabricação fossem contemplados.

Na Tabela 12 estão descritos os *setups* na máquina FR004. Esta máquina permite a utilização de dois sistemas distintos de aperto, conforme ilustrado na Figura 34. Dependendo das configurações das peças a maquinar, é necessário alternar entre o sistema de prensas e a mesa de vácuo. O sistema de prensas é utilizado para a fixação tradicional das peças, enquanto a mesa de vácuo permite a maquinação de peças cuja configuração não permite a fixação eficaz pelo sistema de prensas. O sistema de vácuo é particularmente útil para peças que requerem sucção para garantir uma fixação adequada durante o processo de maquinação.

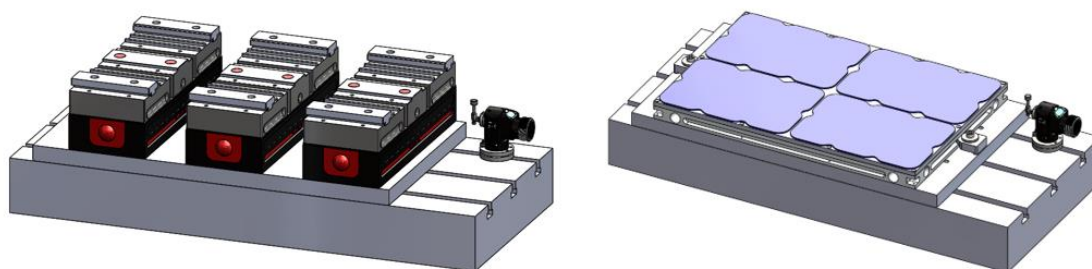


Figura 34 – Sistemas de aperto da máquina FR004: Prensas CHICK QL1540 / Mesa de Vácuo VAC-MAT 600 x 400

Nas Tabela 13 e Tabela 14 estão descritos os *setups* na máquina FR004, detalhando a troca entre os sistemas de fixação de prensas e a mesa de vácuo. A Tabela 13 descreve o *setup* necessário para trocar do sistema de prensas para o sistema de fixação por mesa de vácuo, enquanto a Tabela 14 detalha o *setup* para a troca da mesa de vácuo de volta para o sistema de prensas, que é o mais utilizado. Devido à frequência de uso do sistema de prensas, após a maquinação das peças com a mesa de vácuo, retorna-se ao sistema de prensas para a continuação dos processos de maquinação.

Tabela 11 - Tempos de Setup dos Centros de Maquinação CNC FR003, FR005, FR008 e FR009

<b>Centros de Maquinação FR003 / FR005 / FR008 / FR009 Setup's</b>			
#	Descrição da Operação	Tempo [ Minutos ]	Tempo [ hh:mm:ss ]
1	Selecionar projeto / posição da peça a maquinar no MecView para ter acesso ao desenho técnico e lista de ferramentas, colocar a APP SYSCNC a monitorizar em Setup.	1,08	00:01:05
2	Ir buscar a matéria-prima da peça a maquinar.	0,99	00:00:59
3	Limpar as prensas (remover as limalhas), ajustar a abertura das prensas de acordo com a dimensão da peça, colocar os calços, apertar a peça a maquinar.	2,15	00:02:09
4	Fazer zero peça nos 3 eixos (X, Y e Z), com sistema automático de fazer zeros (Sonda OMP40 da Renishaw).	2,98	00:02:59
5	Análise de que ferramentas vão ser necessárias e se estão no "armazém de ferramentas" da máquina.	0,51	00:00:31
6	Montar ferramentas no sistema de fixação (cone).	1,02	00:01:01
7	Colocar as ferramentas na máquina.	0,48	00:00:29
8	Medição das ferramentas na máquina com sistema automático de medição (Sonda OTS da Renishaw).	2,03	00:02:02
9	Copiar o programa para a máquina.	0,52	00:00:31
10	Simulação do programa (nem todos os operadores têm esta prática).	0,68	00:00:41
11	* Maquinação da peça.		00:00:00
12	Soprar a peça para limpar as limalhas e o óleo de corte.	0,25	00:00:15
13	Inspeção da peça recorrendo a sistema de medição (paquímetro, micrómetro e inspeção visual).	1,03	00:01:02
14	Fazer os ajustes necessários até garantir as medidas solicitadas nos desenhos técnicos (podendo ser necessário voltar a correr pequenos blocos do programa, acabamento de um contorno).	0,57	00:00:34
15	Soprar novamente a peça para limpar as limalhas e o óleo de corte.	0,73	00:00:44
16	Desapertar as prensas e retirar as peças.	0,43	00:00:26
17	Soprar novamente a peça para limpar o resto do óleo de corte de modo que as peças fiquem secas.	1,05	00:01:03
18	Retirar as arestas vivas que não foram retiradas durante a maquinação.	1,08	00:01:05
19	Parar a monitorização do Setup na APP SYSCNC.	0,95	00:00:57
		<b>18,53</b>	<b>00:18:32</b>

Tabela 12 - Tempos de Setup do Centro de Maquinação CNC FR004 com prensas

<b>Centros de Maquinação FR004</b> <b>Setup's (Prensas)</b>			
#	Descrição da Operação	Tempo [ Minutos ]	Tempo [ hh:mm:ss ]
1	Selecionar projeto / posição da peça a maquinar no MecView para ter acesso ao desenho técnico e lista de ferramentas, colocar a APP SYSCNC a monitorizar em Setup.	1,04	00:01:02
2	Ir buscar a matéria-prima da peça a maquinar.	0,73	00:00:44
3	Limpar as prensas (remover as limalhas), selecionar tipo e medida de mordentes de acordo com a dimensão da peça, apertar as mordentes e apertar a peça a maquinar (sistema de prensas diferente das outras máquinas).	8,15	00:08:09
4	Fazer zero peça nos 3 eixos (X, Y e Z), com sistema automático de fazer zeros (Sonda OMP40 da Renishaw).	1,63	00:01:38
5	Análise de que ferramentas vão ser necessárias e se estão no "armazém de ferramentas" da máquina.	0,58	00:00:35
6	Montar ferramentas no sistema de fixação (cone).	1,02	00:01:01
7	Colocar as ferramentas na máquina.	0,48	00:00:29
8	Medição das ferramentas na máquina com sistema automático de medição (Sonda OTS da Renishaw).	2,03	00:02:02
9	Copiar o programa para a máquina.	0,58	00:00:35
10	Simulação do programa (nem todos os operadores têm esta prática).	0,68	00:00:41
11	* Maquinação da peça.		00:00:00
12	Soprar a peça para limpar as limalhas e o óleo de corte.	0,25	00:00:15
13	Inspeção da peça recorrendo a sistema de medição (paquímetro, micrómetro e inspeção visual).	1,08	00:01:05
14	Fazer os ajustes necessários até garantir as medidas solicitadas nos desenhos técnicos (podendo ser necessário voltar a correr pequenos blocos do programa, acabamento de um contorno).	0	00:00:00
15	Soprar novamente a peça para limpar as limalhas e o óleo de corte.	0,23	00:00:14
16	Desapertar as prensas e retirar as peças.	0,43	00:00:26
17	Soprar novamente a peça para limpar o resto do óleo de corte de modo que as peças fiquem secas.	0,35	00:00:21
18	Retirar as arestas vivas que não foram retiradas durante a maquinação.	0,98	00:00:59
19	Parar a monitorização do Setup na APP SYSCNC .	0,86	00:00:52
		<b>21,1</b>	<b>00:21:06</b>

Tabela 13 - Tempos de Setup do Centro de Maquinação CNC FR004 com Mesa de Vácuo (1/2)

<b>Centros de Maquinação FR004 Setup's (Mesa de Vácuo)</b>			
#	Descrição da Operação	Tempo [ Minutos ]	Tempo [ hh:mm:ss ]
1	Selecionar projeto / posição da peça a maquirar no MecView para ter acesso ao desenho técnico e lista de ferramentas, colocar a APP SYSCNC a monitorizar em Setup.	1,03	00:01:02
2	Limpar as prensas (remover as limalhas), limpar a máquina.	2,05	00:02:03
3	Desmontar as prensas.	25,41	00:25:25
5	Movimentar a mesa e a bomba de vácuo junto à máquina.	2,04	00:02:02
4	Limpar a mesa da máquina.	6,08	00:06:05
6	Montar mesa de vácuo.	7,06	00:07:04
7	Comparar a mesa de vácuo, coloca-la paralela com o movimento do Eixo X da máquina, recorrendo a um relógio comparador.	15,38	00:15:23
8	Montar PVC na mesa de vácuo e o respetivo o-ring.	5,01	00:05:01
9	Fazer as ligações dos tubos entre a mesa e a bomba de vácuo	1,23	00:01:14
10	Colocar a peça na posição correta.	4,08	00:04:05
11	Ligar a bomba de vácuo.	0,89	00:00:53
12	Verificar se a peça está bem fixa (Verificar manómetro do vácuo).	0,92	00:00:55
13	Fazer zero peça nos 3 eixos (X, Y e Z), com sistema automático de fazer zeros (Sonda OMP40 da Renishaw).	5,82	00:05:49
14	Análise de que ferramentas vão ser necessárias e se estão no "armazém de ferramentas" da máquina.	0,93	00:00:56
15	Montar ferramentas no sistema de fixação (cone).	2,05	00:02:03
16	Colocar as ferramentas na máquina.	0,78	00:00:47
17	Medição das ferramentas na máquina com sistema automático de medição (Sonda OTS da Renishaw).	2,32	00:02:19
18	Copiar o programa para a máquina.	0,92	00:00:55
19	Simulação do programa (com a mesa de vácuo é obrigatório fazer este procedimento devido às dimensões das peças estarem muito perto das dimensões máximas da máquina, para não dar erro de fim de curso do eixo).	3,04	00:03:02
20	* Maquinação da peça.		00:00:00
21	Soprar a peça para limpar as limalhas e o óleo de corte.	1,32	00:01:19
22	Inspeção da peça recorrendo a sistema de medição (paquímetro, micrómetro e inspeção visual).	2,3	00:02:18
23	Fazer os ajustes necessários até garantir as medidas solicitadas nos desenhos técnicos (podendo ser necessário voltar a correr pequenos blocos do programa, acabamento de um contorno).	2,52	00:02:31
24	Soprar novamente a peça para limpar as limalhas e o óleo de corte.	0,95	00:00:57
25	Desmontar PVC da mesa de vácuo e o respetivo o-ring.	8,64	00:08:38
26	Isolar o PVC com filme.	1,62	00:01:37

Tabela 14 - Tempos de Setup do Centro de Maquinação CNC FR004 com Mesa de Vácuo (2/2)

27	Desmontar mesa de vácuo.	4,55	00:04:33
28	Isolar a mesa de vácuo.	1,95	00:01:57
30	Arrumar a mesa e a bomba de vácuo.	2,44	00:02:26
31	Limpar a mesa da máquina.	6,61	00:06:37
32	Montar as prensas.	40,03	00:40:02
33	Comparar as prensas, coloca-las paralelas com o movimento do Eixo X da máquina, recorrendo a um relógio comparador.	45,64	00:45:38
34	Selecionar projeto / posição da peça a maquinar no MecView para ter acesso ao desenho técnico e lista de ferramentas.	0,97	00:00:58
35	Selecionar tipo e medida de mordentes de acordo com a dimensão da peça, apertar as mordentes e apertar a peça a maquinar (sistema de prensas diferente das outras máquinas).	5,32	00:05:19
36	Fazer zero peça nos 3 eixos (X, Y e Z), com sistema automático de fazer zeros (Sonda OMP40 da Renishaw).	3,15	00:03:09
37	Análise de que ferramentas vão ser necessárias e se estão no "armazém de ferramentas" da máquina.	1,04	00:01:02
38	Montar ferramentas no sistema de fixação (cone).	2,08	00:02:05
39	Colocar as ferramentas na máquina.	0,82	00:00:49
40	Medição das ferramentas na máquina com sistema automático de medição (Sonda OTS da Renishaw).	2,21	00:02:13
41	Copiar o programa para a máquina.	1,08	00:01:05
42	Simulação do programa (nem todos os operadores têm esta prática).	0,957	00:00:57
43	* Maquinação da peça.		00:00:00
44	Soprar a peça para limpar as limalhas e o óleo de corte.	1,08	00:01:05
45	Inspeção da peça recorrendo a sistema de medição (paquímetro, micrómetro e inspeção visual).	1,54	00:01:32
46	Fazer os ajustes necessários até garantir as medidas solicitadas nos desenhos técnicos (podendo ser necessário voltar a correr pequenos blocos do programa, acabamento de um contorno).	2,08	00:02:05
47	Soprar novamente a peça para limpar as limalhas e o óleo de corte.	1,35	00:01:21
48	Desapertar as prensas e retirar as peças.	0,79	00:00:47
49	Soprar novamente a peça para limpar o resto do óleo de corte de modo que as peças fiquem secas.	0,86	00:00:52
50	Retirar as arestas vivas que não foram retiradas durante a maquinação.	2,08	00:02:05
51	Parar a monitorização do Setup na APP SYSCNC.	0,87	00:00:52
		<b>233,887</b>	<b>03:53:53</b>

Na Tabela 15 e Tabela 16 estão descritos os *setups* das máquinas TR001 e TR002, ambas utilizadas para a produção de peças pelo processo de torneamento. Estas máquinas permitem a fabricação de peças cilíndricas, onde o material gira contra uma ferramenta de corte para remover o material e obter a forma desejada.

Embora ambas as máquinas sejam destinadas ao torneamento, elas não foram detalhadas na mesma tabela de *setups* porque possuem diferenças significativas: a TR001 utiliza um sistema de aperto manual, enquanto a TR002 possui um sistema de aperto hidráulico. Além disso, as operações necessárias para preparar cada máquina diferem devido a essas características distintas, justificando a separação das informações em tabelas diferentes.

Os detalhes nas tabelas incluem os tempos necessários para preparar as máquinas e ajustar as ferramentas de corte para cada peça a ser produzida. Esses *setups* são essenciais para garantir a precisão e a qualidade das peças torneadas.

Tabela 15 - Tempos de Setup do Centro de Torneamento TR001

<b>Centro de Torneamento TR001</b> <b>Setup's</b>			
#	Descrição da Operação	Tempo [ Minutos ]	Tempo [ hh:mm:ss ]
1	Selecionar projeto / posição da peça a maquinar no MecView para ter acesso ao desenho técnico e lista de ferramentas, colocar a APP SYSCNC a monitorizar em Setup.	0,62	00:00:37
2	Ir buscar a matéria-prima da peça a maquinar.	0,52	00:00:31
3	Apertar a matéria-prima da peça a maquinar na bucha.	0,48	00:00:29
4	Fazer a zero peça no eixo Z.	0,97	00:00:58
5	Elaborar o programa para a máquina.		00:00:00
6	Copiar o programa para a máquina.	0,92	00:00:55
7	Simulação do programa.	0,86	00:00:52
8	Análise de que ferramentas vão ser necessárias e se estão no "Revolver" da máquina.	0,72	00:00:43
9	Montar ferramentas no sistema de fixação.	1,85	00:01:51
10	Medição das ferramentas na máquina manualmente.	1,42	00:01:25
11	* Maquinação da peça.		00:00:00
12	Soprar a peça para limpar as limalhas e o óleo de corte.	0,44	00:00:26
13	Inspeção da peça recorrendo a sistema de medição (paquímetro, micrómetro e inspeção visual).	0,78	00:00:47
14	Fazer os ajustes necessários até garantir as medidas solicitadas nos desenhos técnicos (podendo ser necessário voltar a correr pequenos blocos do programa, acabamento de um contorno).	0,61	00:00:37
15	Soprar novamente a peça para limpar as limalhas e o óleo de corte.	0,46	00:00:28
16	Apanhar a peças da gaveta das limalhas.	0,38	00:00:23
17	Soprar novamente a peça para limpar o resto do óleo de corte de modo que as peças fiquem secas.	0,34	00:00:20
18	Retirar as arestas vivas que não foram retiradas durante a maquinação.	0,29	00:00:17
19	Parar a monitorização do Setup na APP SYSCNC.	0,75	00:00:45
		<b>12,41</b>	<b>00:12:25</b>

Tabela 16 - Tempos de Setup do Centro de Torneamento TR002

<b>Centro de Torneamento TR002</b>			
<b>Setup's</b>			
#	Descrição da Operação	Tempo [ Minutos ]	Tempo [ hh:mm:ss ]
1	Selecionar projeto / posição da peça a maquinar no MecView para ter acesso ao desenho técnico e lista de ferramentas, colocar a APP SYSCNC a monitorizar em Setup.	0,61	00:00:37
2	Ir buscar a matéria-prima da peça a maquinar.	0,52	00:00:31
3	Ajustar os grampos de aperto de acordo com o diâmetro da peça.	2,03	00:02:02
4	Colocar o "liner" do respetivo diâmetro.	0,51	00:00:31
5	Apertar a matéria-prima da peça a maquinar na bucha.	0,31	00:00:19
6	Fazer a zero peça no eixo Z.	0,25	00:00:15
7	Elaborar o programa para a máquina.		00:00:00
8	Copiar o programa para a máquina	0,92	00:00:55
9	Simulação do programa.	0,55	00:00:33
10	Ajustar os grampos do "Bar Puller"	1,12	00:01:07
11	Análise de que ferramentas vão ser necessárias e se estão no "Revolver" da máquina.	0,72	00:00:43
12	Montar ferramentas no sistema de fixação (VDI40).	1,32	00:01:19
13	Medição das ferramentas na máquina com sistema automático de medição (Sonda).	0,62	00:00:37
14	* Maquinação da peça.		00:00:00
15	Soprar a peça para limpar as limalhas e o óleo de corte.	0,42	00:00:25
16	Inspeção da peça recorrendo a sistema de medição (paquímetro, micrómetro e inspeção visual).	0,58	00:00:35
17	Fazer os ajustes necessários até garantir as medidas solicitadas nos desenhos técnicos (podendo ser necessário voltar a correr pequenos blocos do programa, acabamento de um contorno).	0,61	00:00:37
18	Soprar novamente a peça para limpar as limalhas e o óleo de corte.	0,48	00:00:29
19	Apanhar a peças da gaveta do apanhador de peças.	0,27	00:00:16
20	Soprar novamente a peça para limpar o resto do óleo de corte de modo que as peças fiquem secas.	0,22	00:00:13
21	Retirar as arestas vivas que não foram retiradas durante a maquinação.	0,48	00:00:29
22	Parar a monitorização do Setup na APP SYSCNC	1,03	00:01:02
		<b>13,57</b>	<b>00:13:34</b>

#### 4.4. Separação em *setup* interno do externo

A separação do *setup* interno do externo é uma fase crucial para o sucesso na implementação da metodologia SMED. O objetivo desta etapa é identificar e diferenciar claramente as atividades que podem ser realizadas enquanto a máquina está em operação (*setup* externo) das atividades que só podem ser realizadas quando a máquina está parada (*setup* interno). Para isso, foram envolvidos vários operadores das máquinas CNC, cujos contributos foram uma mais-valia para a identificação das atividades específicas das máquinas CNC.

Nesta fase, as tarefas previamente identificadas foram classificadas como internas ou externas. Nas tabelas que se seguem (Tabela 17, Tabela 18, Tabela 19, Tabela 20, Tabela 21, Tabela 22), estão listados os tempos de cada etapa do processo de *setup*, bem como a distinção entre atividades internas e externas. A duração de cada atividade é baseada nos tempos das tarefas já identificadas e monitoradas. Esta classificação permite que as atividades externas sejam realizadas enquanto a máquina está em funcionamento, reduzindo assim o tempo de paragem.

Tabela 17 - Tempos de Setup dos Centros de Maquinação CNC FR003, FR005, FR008 e FR009

<b>Centros de Maquinação</b> <b>FR003 / FR005 / FR008 / FR009</b> <b>Setup's</b>					
#	Descrição da Operação	Interno	Externo	Tempo [ Minutos ]	Tempo [ hh:mm:ss ]
1	Selecionar projeto / posição da peça a maquinar no MecView para ter acesso ao desenho técnico e lista de ferramentas, colocar a APP SYSCNC a monitorizar em Setup.		X	1,08	00:01:05
2	Ir buscar a matéria-prima da peça a maquinar.		X	0,99	00:00:59
3	Limpar as prensas (remover as limalhas), ajustar a abertura das prensas de acordo com a dimensão da peça, colocar os calços, apertar a peça a maquinar.	X		2,15	00:02:09
4	Fazer zero peça nos 3 eixos (X, Y e Z), com sistema automático de fazer zeros (Sonda OMP40 da Renishaw).	X		2,98	00:02:59
5	Análise de que ferramentas vão ser necessárias e se estão no "armazém de ferramentas" da máquina.		X	0,51	00:00:31
6	Montar ferramentas no sistema de fixação (cone).		X	1,02	00:01:01
7	Colocar as ferramentas na máquina.	X		0,48	00:00:29
8	Medição das ferramentas na máquina com sistema automático de medição (Sonda OTS da Renishaw).	X		2,03	00:02:02
9	Copiar o programa para a máquina.	X		0,52	00:00:31
10	Simulação do programa (nem todos os operadores têm esta prática).	X		0,68	00:00:41
11	* Maquinação da peça.				00:00:00
12	Soprar a peça para limpar as limalhas e o óleo de corte.	X		0,25	00:00:15
13	Inspeção da peça recorrendo a sistema de medição (paquímetro, micrómetro e inspeção visual).	X		1,03	00:01:02
14	Fazer os ajustes necessários até garantir as medidas solicitadas nos desenhos técnicos (podendo ser necessário voltar a correr pequenos blocos do programa, acabamento de um contorno).	X		0,57	00:00:34
15	Soprar novamente a peça para limpar as limalhas e o óleo de corte.	X		0,73	00:00:44
16	Desapertar as prensas e retirar as peças.	X		0,43	00:00:26
17	Soprar novamente a peça para limpar o resto do óleo de corte de modo que as peças fiquem secas.		X	1,05	00:01:03
18	Retirar as arestas vivas que não foram retiradas durante a maquinação.		X	1,08	00:01:05
19	Parar a monitorização do Setup na APP SYSCNC.		X	0,95	00:00:57
<b>Total:</b>				<b>18,53</b>	<b>00:18:32</b>

Tabela 18 – Tempos de Setup do Centro de Maquinação CNC FR004 com prensas

<b>Centros de Maquinação FR004</b> <b>Setup's (Prensas)</b>					
#	Descrição da Operação	Interno	Externo	Tempo [ Minutos ]	Tempo [ hh:mm:ss ]
1	Selecionar projeto / posição da peça a maquinar no MecView para ter acesso ao desenho técnico e lista de ferramentas, colocar a APP SYSCNC a monitorizar em Setup.		X	1,04	00:01:02
2	Ir buscar a matéria-prima da peça a maquinar.		X	0,73	00:00:44
3	Limpar as prensas (remover as limalhas), selecionar tipo e medida de mordentes de acordo com a dimensão da peça, apertar as mordentes e apertar a peça a maquinar (sistema de prensas diferente das outras máquinas).	X		8,15	00:08:09
4	Fazer zero peça nos 3 eixos (X, Y e Z), com sistema automático de fazer zeros (Sonda OMP40 da Renishaw).	X		1,63	00:01:38
5	Análise de que ferramentas vão ser necessárias e se estão no "armazém de ferramentas" da máquina.		X	0,58	00:00:35
6	Montar ferramentas no sistema de fixação (cone).		X	1,02	00:01:01
7	Colocar as ferramentas na máquina.	X		0,48	00:00:29
8	Medição das ferramentas na máquina com sistema automático de medição (Sonda OTS da Renishaw).	X		2,03	00:02:02
9	Copiar o programa para a máquina.	X		0,58	00:00:35
10	Simulação do programa (nem todos os operadores têm esta prática).	X		0,68	00:00:41
11	* Maquinação da peça.				00:00:00
12	Soprar a peça para limpar as limalhas e o óleo de corte.	X		0,25	00:00:15
13	Inspeção da peça recorrendo a sistema de medição (paquímetro, micrómetro e inspeção visual).	X		1,08	00:01:05
14	Fazer os ajustes necessários até garantir as medidas solicitadas nos desenhos técnicos (podendo ser necessário voltar a correr pequenos blocos do programa, acabamento de um contorno).	X		0	00:00:00
15	Soprar novamente a peça para limpar as limalhas e o óleo de corte.	X		0,23	00:00:14
16	Desapertar as prensas e retirar as peças.	X		0,43	00:00:26
17	Soprar novamente a peça para limpar o resto do óleo de corte de modo que as peças fiquem secas.		X	0,35	00:00:21
18	Retirar as arestas vivas que não foram retiradas durante a maquinação.		X	0,98	00:00:59
19	Parar a monitorização do Setup na APP SYSCNC .		X	0,86	00:00:52
			<b>Total:</b>	<b>21,1</b>	<b>00:21:06</b>

Tabela 19 - Tempos de Setup do Centro de Maquinação CNC FR004 com Mesa de Vácuo antes de implementar o sistema de substituição rápida de prensa/mesa de vácuo (1/2)

<b>Centros de Maquinação FR004</b> <b>Setup's (Mesa de Vácuo)</b>					
#	Descrição da Operação	Interno	Externo	Tempo [ Minutos ]	Tempo [ hh:mm:ss ]
1	Selecionar projeto / posição da peça a maquinar no MecView para ter acesso ao desenho técnico e lista de ferramentas, colocar a APP.SYSCNC a monitorizar em Setup.		X	1,03	00:01:02
2	Limpar as prensas (remover as limalhas), limpar a máquina.	X		2,05	00:02:03
3	Desmontar as prensas.	X		25,41	00:25:25
5	Movimentar a mesa e a bomba de vácuo junto à máquina.		X	2,04	00:02:02
4	Limpar a mesa da máquina.	X		6,08	00:06:05
6	Montar mesa de vácuo.	X		7,06	00:07:04
7	Comparar a mesa de vácuo, coloca-la paralela com o movimento do Eixo X da máquina, recorrendo a um relógio comparador.	X		15,38	00:15:23
8	Montar PVC na mesa de vácuo e o respetivo o-ring.	X		5,01	00:05:01
9	Fazer as ligações dos tubos entre a mesa e a bomba de vácuo	X		1,23	00:01:14
10	Colocar a peça na posição correta.	X		4,08	00:04:05
11	Ligar a bomba de vácuo.	X		0,89	00:00:53
12	Verificar se a peça está bem fixa (Verificar manómetro do vácuo).	X		0,92	00:00:55
13	Fazer zero peça nos 3 eixos (X, Y e Z), com sistema automático de fazer zeros (Sonda OMP40 da Renishaw).	X		5,82	00:05:49
14	Análise de que ferramentas vão ser necessárias e se estão no "armazém de ferramentas" da máquina.		X	0,93	00:00:56
15	Montar ferramentas no sistema de fixação (cone).		X	2,05	00:02:03
16	Colocar as ferramentas na máquina.	X		0,78	00:00:47
17	Medição das ferramentas na máquina com sistema automático de medição (Sonda OTS da Renishaw).	X		2,32	00:02:19
18	Copiar o programa para a máquina.	X		0,92	00:00:55
19	Simulação do programa (com a mesa de vácuo é obrigatório fazer este procedimento devido às dimensões das peças estarem muito perto das dimensões máximas da máquina, para não dar erro de fim de curso do eixo).	X		3,04	00:03:02
20	* Maquinação da peça.				00:00:00
21	Soprar a peça para limpar as limalhas e o óleo de corte.	X		1,32	00:01:19
22	Inspecção da peça recorrendo a sistema de medição (paquímetro, micrómetro e inspecção visual).	X		2,3	00:02:18
23	Fazer os ajustes necessários até garantir as medidas solicitadas nos desenhos técnicos (podendo ser necessário voltar a correr pequenos blocos do programa, acabamento de um contorno).	X		2,52	00:02:31
24	Soprar novamente a peça para limpar as limalhas e o óleo de corte.	X		0,95	00:00:57
25	Desmontar PVC da mesa de vácuo e o respetivo o-ring.	X		8,64	00:08:38
26	Isolar o PVC com filme.		X	1,62	00:01:37

*Tabela 20 - Tempos de Setup do Centro de Maquinação CNC FR004 com Mesa de Vácuo antes de implementar o sistema de substituição rápida de prensa/mesa de vácuo (2/2)*

27	Desmontar mesa de vácuo.	X		4,55	00:04:33
28	Isolar a mesa de vácuo.		X	1,95	00:01:57
30	Arrumar a mesa e a bomba de vácuo.		X	2,44	00:02:26
31	Limpar a mesa da máquina.	X		6,61	00:06:37
32	Montar as prensas.	X		40,03	00:40:02
33	Comparar as prensas, coloca-las paralelas com o movimento do Eixo X da máquina, recorrendo a um relógio comparador.	X		45,64	00:45:38
34	Selecionar projeto / posição da peça a maquinar no MecView para ter acesso ao desenho técnico e lista de ferramentas.		X	0,97	00:00:58
35	Selecionar tipo e medida de mordentes de acordo com a dimensão da peça, apertar as mordentes e apertar a peça a maquinar (sistema de prensas diferente das outras máquinas).	X		5,32	00:05:19
36	Fazer zero peça nos 3 eixos (X, Y e Z), com sistema automático de fazer zeros (Sonda OMP40 da Renishaw).	X		3,15	00:03:09
37	Análise de que ferramentas vão ser necessárias e se estão no "armazém de ferramentas" da máquina.		X	1,04	00:01:02
38	Montar ferramentas no sistema de fixação (cone).		X	2,08	00:02:05
39	Colocar as ferramentas na máquina.	X		0,82	00:00:49
40	Medição das ferramentas na máquina com sistema automático de medição (Sonda OTS da Renishaw).	X		2,21	00:02:13
41	Copiar o programa para a máquina.	X		1,08	00:01:05
42	Simulação do programa (nem todos os operadores têm esta prática).	X		0,957	00:00:57
43	* Maquinação da peça.				00:00:00
44	Soprar a peça para limpar as limalhas e o óleo de corte.	X		1,08	00:01:05
45	Inspeção da peça recorrendo a sistema de medição (paquímetro, micrómetro e inspeção visual).	X		1,54	00:01:32
46	Fazer os ajustes necessários até garantir as medidas solicitadas nos desenhos técnicos (podendo ser necessário voltar a correr pequenos blocos do programa, acabamento de um contorno).	X		2,08	00:02:05
47	Soprar novamente a peça para limpar as limalhas e o óleo de corte.	X		1,35	00:01:21
48	Desapertar as prensas e retirar as peças.	X		0,79	00:00:47
49	Soprar novamente a peça para limpar o resto do óleo de corte de modo que as peças fiquem secas.		X	0,86	00:00:52
50	Retirar as arestas vivas que não foram retiradas durante a maquinação.		X	2,08	00:02:05
51	Parar a monitorização do Setup na APP SYSCNC.		X	0,87	00:00:52
			<b>Total:</b>	<b>233,887</b>	<b>03:53:53</b>

Tabela 21 - Tempos de Setup do Centro de Torneamento TR001

<b>Centro de Torneamento TR001</b>					
<b>Setup's</b>					
#	Descrição da Operação	Interno	Externo	Tempo [ Minutos ]	Tempo [ hh:mm:ss ]
1	Selecionar projeto / posição da peça a maquinar no MecView para ter acesso ao desenho técnico e lista de ferramentas, colocar a APP SYSCNC a monitorizar em Setup.		X	0,62	00:00:37
2	Ir buscar a matéria-prima da peça a maquinar.		X	0,52	00:00:31
3	Apertar a matéria-prima da peça a maquinar na bucha.	X		0,48	00:00:29
4	Fazer a zero peça no eixo Z.	X		0,97	00:00:58
5	Elaborar o programa para a máquina.				00:00:00
6	Copiar o programa para a máquina.	X		0,92	00:00:55
7	Simulação do programa.	X		0,86	00:00:52
8	Análise de que ferramentas vão ser necessárias e se estão no "Revolver" da máquina.		X	0,72	00:00:43
9	Montar ferramentas no sistema de fixação.	X		1,85	00:01:51
10	Medição das ferramentas na máquina manualmente.	X		1,42	00:01:25
11	* Maquinação da peça.				00:00:00
12	Soprar a peça para limpar as limalhas e o óleo de corte.	X		0,44	00:00:26
13	Inspeção da peça recorrendo a sistema de medição (paquímetro, micrómetro e inspeção visual).	X		0,78	00:00:47
14	Fazer os ajustes necessários até garantir as medidas solicitadas nos desenhos técnicos (podendo ser necessário voltar a correr pequenos blocos do programa, acabamento de um contorno).	X		0,61	00:00:37
15	Soprar novamente a peça para limpar as limalhas e o óleo de corte.	X		0,46	00:00:28
16	Apanhar a peças da gaveta das limalhas.		X	0,38	00:00:23
17	Soprar novamente a peça para limpar o resto do óleo de corte de modo que as peças fiquem secas.		X	0,34	00:00:20
18	Retirar as arestas vivas que não foram retiradas durante a maquinação.		X	0,29	00:00:17
19	Parar a monitorização do Setup na APP SYSCNC.		X	0,75	00:00:45
			<b>Total:</b>	<b>12,41</b>	<b>00:12:25</b>

Tabela 22 - Tempos de Setup do Centro de Torneamento TR002

<b>Centro de Torneamento TR002</b>					
<b>Setup's</b>					
#	Descrição da Operação	Interno	Externo	Tempo [ Minutos ]	Tempo [ hh:mm:ss ]
1	Selecionar projeto / posição da peça a maquinar no MecView para ter acesso ao desenho técnico e lista de ferramentas, colocar a APP SYSCNC a monitorizar em Setup.		X	0,61	00:00:37
2	Ir buscar a matéria-prima da peça a maquinar.		X	0,52	00:00:31
3	Ajustar os grampos de aperto de acordo com o diâmetro da peça.	X		2,03	00:02:02
4	Colocar o "liner" do respetivo diâmetro.	X		0,51	00:00:31
5	Apertar a matéria-prima da peça a maquinar na bucha.	X		0,31	00:00:19
6	Fazer a zero peça no eixo Z.	X		0,25	00:00:15
7	Elaborar o programa para a máquina.				00:00:00
8	Copiar o programa para a máquina	X		0,92	00:00:55
9	Simulação do programa.	X		0,55	00:00:33
10	Ajustar os grampos do "Bar Puller"	X		1,12	00:01:07
11	Análise de que ferramentas vão ser necessárias e se estão no "Revolver" da máquina.		X	0,72	00:00:43
12	Montar ferramentas no sistema de fixação (VDI40).	X		1,32	00:01:19
13	Medição das ferramentas na máquina com sistema automático de medição (Sonda).	X		0,62	00:00:37
14	* Maquinação da peça.				00:00:00
15	Soprar a peça para limpar as limalhas e o óleo de corte.	X		0,42	00:00:25
16	Inspeção da peça recorrendo a sistema de medição (paquímetro, micrómetro e inspeção visual).	X		0,58	00:00:35
17	Fazer os ajustes necessários até garantir as medidas solicitadas nos desenhos técnicos (podendo ser necessário voltar a correr pequenos blocos do programa, acabamento de um contorno).	X		0,61	00:00:37
18	Soprar novamente a peça para limpar as limalhas e o óleo de corte.	X		0,48	00:00:29
19	Apanhar a peças da gaveta do apanhador de peças.		X	0,27	00:00:16
20	Soprar novamente a peça para limpar o resto do óleo de corte de modo que as peças fiquem secas.		X	0,22	00:00:13
21	Retirar as arestas vivas que não foram retiradas durante a maquinação.		X	0,48	00:00:29
22	Parar a monitorização do Setup na APP SYSCNC		X	1,03	00:01:02
			<b>Total:</b>	<b>13,57</b>	<b>00:13:34</b>

## 4.5. Conversão do *setup* interno em externo

Esta fase visa se possível converter *setups* internos em externos, verificando a classificação das operações para garantir que nenhuma operação externa seja erroneamente classificada como interna. Devem ser encontrados meios para converter operações realizadas com a máquina parada em operações realizáveis com a máquina em funcionamento, como a preparação prévia de ferramentas de corte e a montagem das mesmas.

Verificar se todas as ferramentas e peças necessárias para o *setup* estão preparadas e organizadas antes da máquina parar pode também reduzir significativamente o tempo de *setup* interno convertendo-o em externo. Garantir que as máquinas e ferramentas estejam em boas condições de funcionamento evita paragens desnecessárias durante o *setup*.

O resultado desta fase é a eliminação das atividades internas que podem ser convertidas em externas, garantindo que apenas o absolutamente necessário seja feito enquanto a máquina está parada. Este processo de separação é essencial para a redução global dos tempos de *setup*, contribuindo significativamente para um *setup* mais curto e, conseqüentemente, reduzindo os tempos de inatividade.

Com base nas etapas do processo de *setup*, observou-se que as atividades internas e externas já estão devidamente separadas. No entanto, ainda existe margem para melhorias no tempo de *setup* externo, especialmente na montagem das ferramentas no sistema de fixação (cone) e na sua preservação para utilização futura.

Atualmente, as ferramentas e os acessórios necessários nem sempre estão prontos para serem utilizados pelo operador quando se inicia um novo *setup*, pois o operador pode estar ocupado a operar outra máquina. É fundamental garantir que as ferramentas e os acessórios necessários para o novo *setup* estejam pré-preparados, a fim de assegurar que a máquina permaneça parada pelo menor tempo possível, reduzindo os tempos de inatividade.

## 4.6. Racionalizar todos os aspetos da operação de *setup*

Como mencionado anteriormente, as atividades internas e externas já se encontram separadas e classificadas corretamente, minimizando as tarefas internas. No entanto, identificou-se uma oportunidade de melhoria que poderia reduzir o tempo de *setup* na máquina FR004, especificamente na troca entre sistemas de aperto, ou seja, entre o sistema tradicional de prensas e o sistema de mesa de vácuo.

Para explorar e implementar métodos alternativos que reduzissem o tempo de *setup*, concebeu-se e implementou-se um sistema de substituição “rápida” entre a

prensa e a mesa de vácuo. Utilizou-se um software de CAD (Desenho Assistido por Computador), o SolidWorks, para desenvolver os modelos 3D. Esses modelos foram cruciais para simular o sistema, permitindo a visualização e análise detalhada do processo de substituição rápida de ferramentas. Esta abordagem contribuiu para o desenvolvimento do projeto, facilitando a implementação da troca “rápida” entre o sistema de fixação por prensas e o sistema de mesa de vácuo. A integração desta tecnologia prevê uma diminuição substancial do tempo de *setup*, o que, por sua vez, deve reduzir os tempos de inatividade.

Na Figura 35, apresenta-se o sistema desenvolvido, que consiste numa peça de grande dimensão fixa à mesa da máquina. Este sistema de guiamento permite a montagem e desmontagem dos sistemas de fixação sem necessidade de ajustes adicionais para alinhamento com os movimentos da máquina, uma vez que o alinhamento é garantido pelo próprio sistema. Além disso, o sistema de fixação foi melhorado para facilitar a troca: o operador não precisa de posicionar manualmente as porcas nas ranhuras da mesa, o que assegura uma troca mais rápida e eficiente.

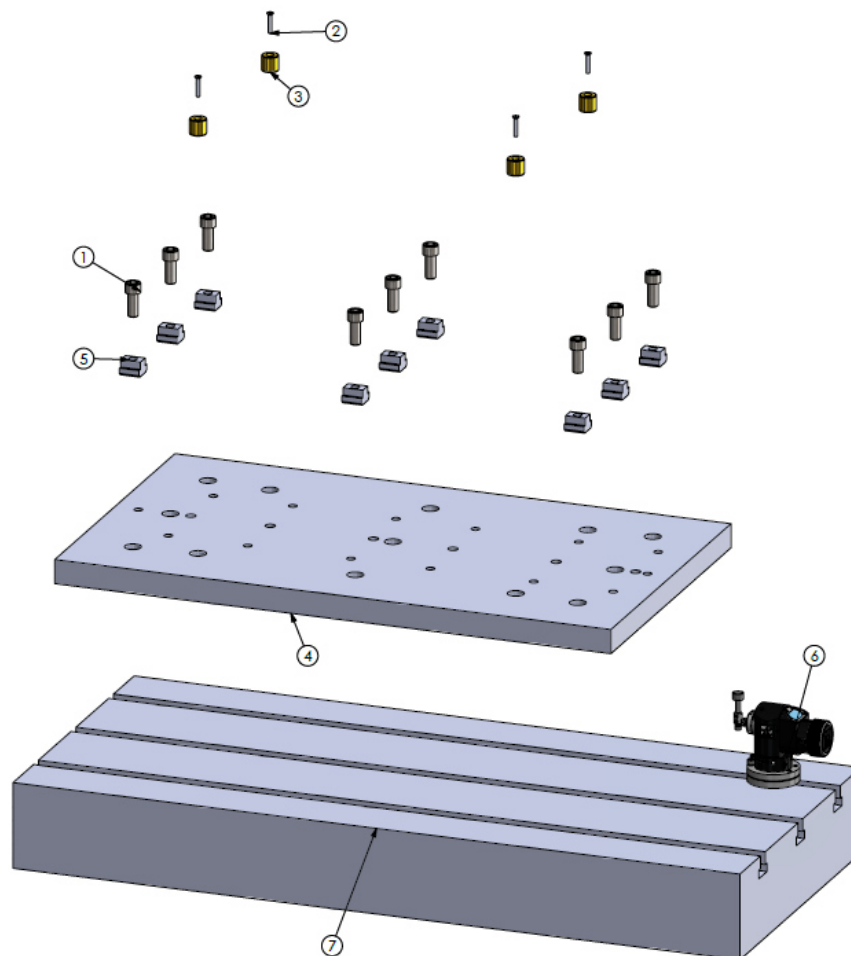


Figura 35 - Aplicação de Sistema para substituição rápida de prensa/mesa de vácuo.

A Tabela 23 fornece uma lista detalhada dos materiais necessários para a montagem do sistema desenvolvido, conforme ilustrado na Figura 35. Cada item na tabela é numerado à esquerda, e essa numeração corresponde diretamente aos números identificadores mostrados na Figura 35. Esses números servem como uma referência clara, facilitando a localização exata de onde cada componente deve ser instalado no sistema. Além disso, a tabela inclui as especificações e quantidades necessárias para cada material, proporcionando uma visão completa dos requisitos do projeto. Essa organização garante que todos os componentes sejam corretamente posicionados e que o processo de montagem seja realizado de forma precisa. A combinação da Tabela 23 com a Figura 35 assegura que a instalação do sistema desenvolvido seja simplificada e sem erros.

Tabela 23 - Material necessário para aplicação de Sistema

Nº	Peça:	QT:
1	DIN 912 M12 x 30	9
2	DIN 7991 - M4 x 25	4
3	Guia Ø20 (Mesa de Vácuo)	4
4	Sistema para substituição rápida	1
5	T-nut 16 mm	9
6	Haas OTS	1
7	Mesa da Máquina FR004	1

A Figura 36 ilustra a montagem da mesa de vácuo no sistema desenvolvido, enquanto a Tabela 24 detalha os componentes necessários para essa instalação. Juntas, a Figura 36 e a Tabela 24 fornecem uma visão clara e coordenada do processo de montagem, garantindo que a instalação do sistema seja realizada de forma precisa, minimizando a possibilidade de erros.

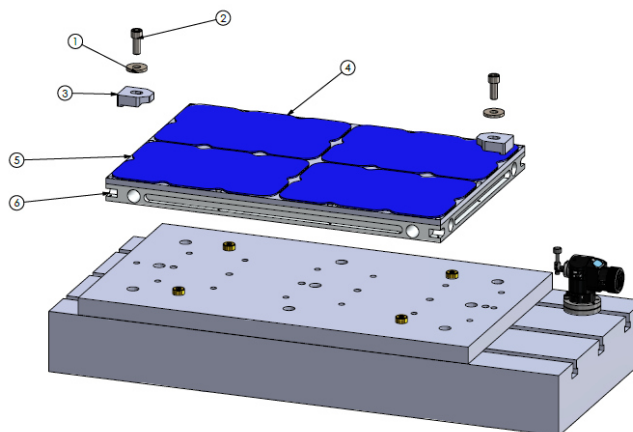


Figura 36 - Aplicação de Mesa de Vácuo VAC-MAT 600 x 400

Tabela 24 - Material necessário para aplicação da Mesa de Vácuo VAC-MAT 600 x 400

Nº	Peça:	QT:
1	Anilha M12 x 2	2
2	DIN 912 M12 x 30	2
3	Barra de aperto para Mesa de Vácuo	2
4	Tapetes VAC-MAT	4
5	Mesa de Vácuo VAC-MAT 600 x 400	1
6	Entrada do tudo de Vácuo	1

A Figura 37 ilustra o processo de instalação dos sistemas de fixação por prensa no novo sistema desenvolvido. A Tabela 25 complementa essa informação ao listar os componentes necessários para a montagem. A combinação da Figura 37 com a Tabela 25 facilita uma compreensão detalhada e coordenada do procedimento de montagem, assegurando que cada parte seja corretamente posicionada e instalada com precisão, e reduzindo a probabilidade de erros.

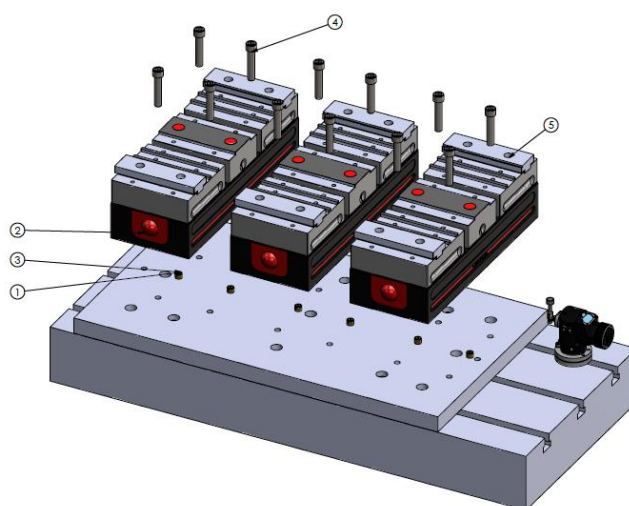


Figura 37 - Aplicação Prensas CHICK QL1540

Tabela 25 - Material necessário para aplicação das Prensas CHICK QL1540

Nº	Peça:	QT:
1	Guia Ø12 (Prensas CHICK QL1540)	6
2	Prensas CHICK QL1540	3
3	DIN 7991 - M4 x 25	6
4	DIN 912 M12 x 30	12
5	Mordentes Customizadas para Prensas CHICK QL1540	1

A Figura 38 exibe ambos os sistemas de fixação montados no novo sistema desenvolvido, oferecendo uma visão abrangente e detalhada de como cada sistema se integra em conjunto. Nesta figura, são apresentados o sistema de fixação por prensas e o sistema de mesa de vácuo, permitindo uma comparação direta entre as duas soluções. A imagem ilustra claramente a configuração e a disposição dos sistemas de fixação, destacando como cada um é montado e posicionado no novo sistema.

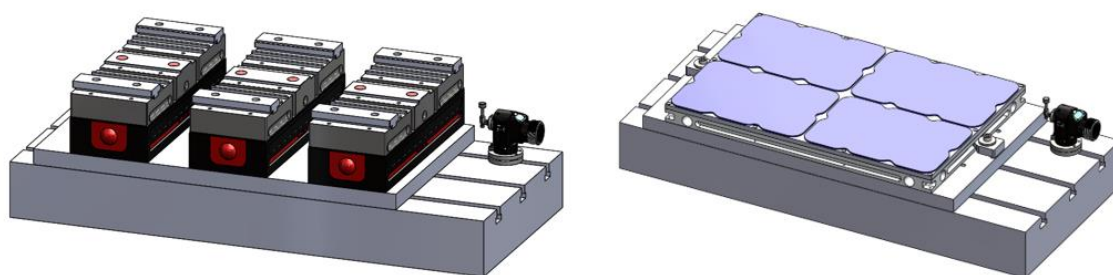


Figura 38 - Aplicação Prensas CHICK QL1540 / Mesa de Vácuo VAC-MAT 600 x 400

Após a implementação das propostas para otimização do processo de *setup* na máquina FR004, tornou-se essencial realizar uma nova análise de tempos para avaliar o impacto dessas mudanças no tempo total de *setup*. Para efetuar essa análise, foram registrados os tempos envolvidos em cada etapa do novo processo de *setup*, conforme detalhado na Tabela 26 e Tabela 27. Esses registros incluem desde a preparação inicial da máquina até a conclusão do *setup*, abrangendo todas as etapas de montagem e desmontagem da mesa de vácuo.

Com esta iniciativa, obteve-se uma redução significativa do tempo de *setup*. O tempo foi reduzido de 233,9 minutos para 171,3 minutos, refletindo uma redução de 27%. Essa redução demonstra as melhorias implementadas, resultando em menor tempo de inatividade.

Tabela 26 - Tempos de Setup após a implementação do sistema de substituição "rápida" de prensa/mesa de vácuo (1/2)

<b>Centros de Maquinação FR004</b>					
<b>Setup's</b>					
<b>(Mesa de Vácuo com a Implementação da Mudança Rápida de Ferramenta )</b>					
#	Descrição da Operação	Interno	Externo	Tempo [ Minutos ]	Tempo [ hh:mm:ss ]
1	Selecionar projeto / posição da peça a maquinar no MecView para ter acesso ao desenho técnico e lista de ferramentas, colocar a APP SYSCNC a monitorizar em Setup.		X	1,03	00:01:02
2	Limpar as prensas (remover as limalhas), limpar a máquina.	X		2,05	00:02:03
3	Desmontar as prensas.	X		25,41	00:25:25
4	Limpar o sistema de fixação das prensas / mesa de vácuo.	X		6,08	00:06:05
5	Movimentar a mesa e a bomba de vácuo junto à máquina.		X	2,04	00:02:02
6	Montar mesa de vácuo.	X		7,06	00:07:04
7	Montar PVC na mesa de vácuo e o respetivo o-ring.	X		5,01	00:05:01
8	Fazer as ligações dos tubos entre a mesa e a bomba de vácuo.	X		1,23	00:01:14
9	Colocar a peça na posição correta.	X		4,08	00:04:05
10	Ligar a bomba de vácuo.	X		0,89	00:00:53
11	Verificar se a peça está bem fixa. (Verificar manómetro).	X		0,92	00:00:55
12	Fazer zero peça nos 3 eixos (X, Y e Z), com sistema automático de fazer zeros (Sonda OMP40 da Renishaw).	X		5,82	00:05:49
13	Análise de que ferramentas vão ser necessárias e se estão no "armazém de ferramentas" da máquina.		X	0,93	00:00:56
14	Montar ferramentas no sistema de fixação (cone).		X	2,05	00:02:03
15	Colocar as ferramentas na máquina.	X		0,78	00:00:47
16	Medição das ferramentas na máquina com sistema automático de medição (Sonda OTS da Renishaw).	X		2,32	00:02:19
17	Copiar o programa para a máquina.	X		0,92	00:00:55
18	Simulação do programa (com a mesa de vácuo é obrigatório fazer este procedimento devido às dimensões das peças estarem muito perto das dimensões máximas da máquina, para não dar erro de fim de curso do eixo).	X		3,04	00:03:02
19	* Maquinação da peça.				00:00:00
20	Soprar a peça para limpar as limalhas e o óleo de corte.	X		1,32	00:01:19
21	Inspeção da peça recorrendo a sistema de medição (paquímetro, micrómetro e inspeção visual).	X		2,3	00:02:18
22	Fazer os ajustes necessários até garantir as medidas solicitadas nos desenhos técnicos (podendo ser necessário voltar a correr pequenos blocos do programa, acabamento de um contorno).	X		2,52	00:02:31
23	Soprar novamente a peça para limpar as limalhas e o óleo de corte.	X		0,95	00:00:57
24	Desmontar PVC da mesa de vácuo e o respetivo o-ring.	X		8,64	00:08:38
25	Isolar o PVC com filme.		X	1,62	00:01:37

Tabela 27 - Tempos de Setup após a implementado o sistema de substituição "rápida" de prensa/mesa de vácuo (2/2)

26	Desmontar mesa de vácuo.	X		4,55	00:04:33
27	Isolar a mesa de vácuo.		X	1,95	00:01:57
28	Limpar o sistema de fixação das prensas / mesa de vácuo.	X		4,93	00:04:56
29	Arrumar a mesa e a bomba de vácuo.		X	2,52	00:02:31
30	Montar as prensas.	X		40,03	00:40:02
31	Selecionar projeto / posição da peça a maquinar no MecView para ter acesso ao desenho técnico e lista de ferramentas.		X	0,97	00:00:58
32	Selecionar tipo e medida de mordentes de acordo com a dimensão da peça, apertar as mordentes e apertar a peça a maquinar (sistema de prensas diferente das outras máquinas).	X		5,32	00:05:19
33	Fazer zero peça nos 3 eixos (X, Y e Z), com sistema automático de fazer zeros (Sonda OMP40 da Renishaw).	X		3,15	00:03:09
34	Análise de que ferramentas vão ser necessárias e se estão no "armazém de ferramentas" da máquina.		X	1,04	00:01:02
35	Montar ferramentas no sistema de fixação (cone).		X	2,08	00:02:05
36	Colocar as ferramentas na máquina.	X		0,82	00:00:49
37	Medição das ferramentas na máquina com sistema automático de medição (Sonda OTS da Renishaw).	X		2,21	00:02:13
38	Copiar o programa para a máquina.	X		1,08	00:01:05
39	Simulação do programa (nem todos os operadores têm esta prática).	X		0,957	00:00:57
40	* Maquinação da peça.				00:00:00
41	Soprar a peça para limpar as limalhas e o óleo de corte.	X		1,08	00:01:05
42	Inspeção da peça recorrendo a sistema de medição (paquímetro, micrómetro e inspeção visual).	X		1,54	00:01:32
43	Fazer os ajustes necessários até garantir as medidas solicitadas nos desenhos técnicos (podendo ser necessário voltar a correr pequenos blocos do programa, acabamento de um contorno).	X		2,08	00:02:05
44	Soprar novamente a peça para limpar as limalhas e o óleo de corte.	X		1,35	00:01:21
45	Desapertar as prensas e retirar as peças.	X		0,79	00:00:47
46	Soprar novamente a peça para limpar o resto do óleo de corte de modo que as peças fiquem secas.		X	0,86	00:00:52
47	Retirar as arestas vivas que não foram retiradas durante a maquinação.		X	2,08	00:02:05
48	Parar a monitorização do Setup na APP SYSCNC.		X	0,87	00:00:52
			<b>Total:</b>	<b>171,267</b>	<b>02:51:16</b>

## 4.7. Padronização das posições das Ferramentas

A padronização das posições das ferramentas visa minimizar os *setups* necessários devidos à troca de ferramenta, levando em consideração que existem limitações físicas dos “armazéns” automáticos das máquinas de CNC, no que toca ao número de ferramentas que podem conter. No caso da Mecalbi, as máquinas fresadoras mais antigas, como a FR003 e FR004, podem suportar até 20 ferramentas, enquanto a FR005 pode acomodar até 24 ferramentas e as máquinas mais recentes, como a FR008 e FR009, têm capacidade para 30 ferramentas, ver Figura 39. No torneamento é semelhante, a máquina mais antiga, TR001, suporta até 8 ferramentas, enquanto a TR002, mais recente, pode acomodar até 12 ferramentas, ver Figura 40.

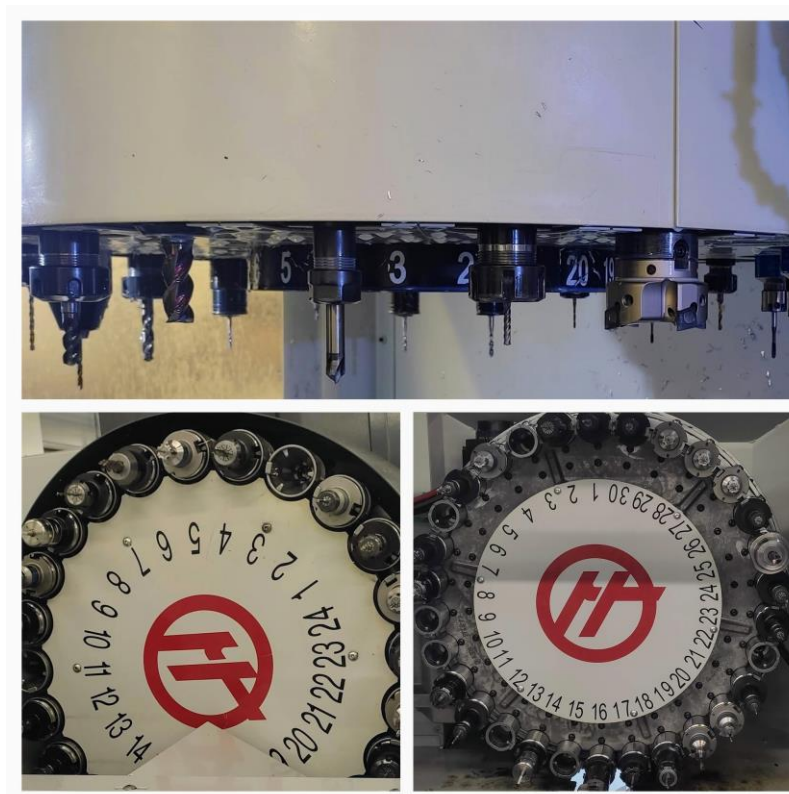


Figura 39 - “Armazéns” de ferramentas dos centros de maquinação (fresadoras).

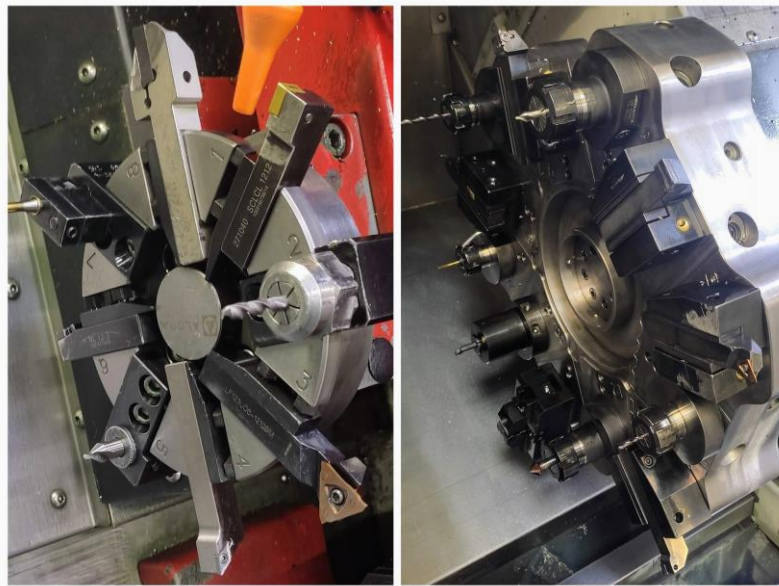


Figura 40 - "Armazéns" de ferramentas dos centros de Torneamento (tornos)



Figura 41 - Suportes para ferramentas no exterior das Máquinas

Devido à diversidade de capacidades dos “armazéns” automáticos em termos do número de ferramentas que podem estar nas máquinas CNC, não é viável limitar os programas a uma única máquina. Por outras palavras, não é uma boa prática preparar os programas CAM exclusivamente para as máquinas com o maior número de ferramentas disponíveis nos “armazéns”.

Como alternativa, podemos diversificar o número de ferramentas disponíveis fora das máquinas, prontas para uso, a fim de reduzir o tempo de montagem das ferramentas na máquina CNC. Isso pode ser conseguido através de uma pré-montagem das ferramentas em um suporte externo à máquina, conforme ilustrado na Figura 41. Ao criar listas de ferramentas fixas específicas para cada máquina e armazená-las nos “armazéns” correspondentes, garantimos que as ferramentas necessárias para a maquinação de cada peça estejam sempre prontas e disponíveis.

Dessa forma, o tempo de inatividade das máquinas CNC é minimizado, pois os operadores não precisam gastar tempo a procurar e a montar as ferramentas. Em vez disso, podem simplesmente trocar as ferramentas pré-montadas e continuar o processo de produção de forma mais rápida.

Implementar esta prática não só diminui o tempo de *setup*, mas também contribui para a padronização dos processos, facilitando a gestão e manutenção das ferramentas.

#### **4.7.1. Padronização da lista de ferramentas**

Atualmente, os “Armazéns” das máquinas consistem em ferramentas fixas e espaços designados para ferramentas variáveis, ver Tabela 28, Tabela 29 e Tabela 30. As ferramentas variáveis são aquelas que têm uma rotatividade elevada. Para lidar com essa rotatividade, foram elaboradas listas detalhadas para orientar todos os operadores e programadores.

Mesmo sendo consideradas variáveis, algumas ferramentas têm uma utilização mais frequente do que outras. Por esse motivo, foram estabelecidas diretrizes específicas sobre quais ferramentas devem estar prontamente disponíveis para uso imediato. Além disso, foram designados suportes exteriores às máquinas para armazenar essas ferramentas, garantindo acesso rápido e eficiente quando necessário Figura 41.

Tabela 28 - Listas de ferramentas da máquina TR001

**Centros de Torneamento  
TR001 (EMCO TURN155)  
Lista Ferramentas**

Ferramentas <i>Tools</i>	Descrição da Ferramenta <i>Tool Description</i>
101	Ferro de Desbastar
202	Variável
303	Ferro de Abrir Golas
404	Ferro de Acabamento
505	Broca de Pontear Ø2.5
606	Ferro de Rocar para Passos de 0.5 a 3 mm
707	Variável
808	Ferro de Sangrar

Tabela 29 - Listas de ferramentas da máquina TR002

**Centros de Torneamento  
TR002 (HAAS ST10)  
Lista Ferramentas**

Ferramentas <i>Tools</i>	Descrição da Ferramenta <i>Tool Description</i>
101	Ferro de Desbastar
202	Variável
303	Ferro de Abrir Golas
404	Ferro de Acabamento
505	Broca de Pontear Ø2.5
606	Ferro de Rocar para Passos de 0.5 a 3 mm
707	Variável
808	Ferro de Sangrar
909	Variável
1010	Variável
1111	Bar Puller
1212	Variável

Tabela 30 - Listas de ferramentas dos Centros de Maquinação

**Centros de Maquinação**  
**FR003 / FR04 / FR005 / FR008 / FR009**  
**Lista Ferramentas**

<b>Ferramentas</b> <i>Tools</i>	<b>Descrição da Ferramenta</b> <i>Tool Description</i>
1	Roca Ø63
2	Fresa Ø4 ALU   HSM
3	Fresa Escariador Ø10 ALU
4	Fresa Ø16 ALU   HSM
5	Fresa Ø10 ALU   HSM
6	Variável
7	Variável
8	Variável
9	Variável
10	Variável
11	Variável
12	Broca de 2.3 MDI
13	Laminador M2.5
14	Broca de 2.8 MDI
15	Laminador M3
16	Broca de 3.7 MDI
17	Laminador M4
18	Broca de Ø4.7 MDI
19	Laminador M5
20	Probe OMP40 D6 L50
21	Broca de 5.6 MDI
22	Laminador M6
23	Broca de 6.8 MDI
24	Macho M8
25	Variável
26	Variável
27	Variável
28	Variável
29	Variável
30	Variável

A redução da variedade de ferramentas necessárias para maquinação é uma estratégia fundamental para otimizar os processos de fabricação e tornar os *setups* mais rápidos. Após um estudo detalhado das peças que precisão ser fabricadas para os equipamentos foco deste estudo, conforme apresentado na Tabela 31, foi identificado um total de 110 ferramentas diferentes. Por exemplo, a estação T10 tem alocadas 13 ferramentas distintas.

Tabela 31 - Exemplo dos ajustes efetuados na Renumeração das ferramentas

Programas Programs	Ferramentas Tools	Renumeração das Ferramentas Tools Renumbering	Descrição da Ferramenta Tool Description
O50355	7	Alterada para T8	Broca de Ø4 MDI
O51977	7	Alterada para T8	Broca de Ø4 MDI
O50340	7	Alterada para T8	Broca de Ø4.3 MDI
O50345	7	Alterada para T8	Broca de Ø4.3 MDI
O50361	7	Alterada para T8	Broca de Ø4.3 MDI
O50369	7	Alterada para T8	Broca de Ø4.3 MDI
O50370	7	Alterada para T8	Broca de Ø4.3 MDI
O50378	7	Alterada para T8	Broca de Ø4.3 MDI
O54557	7	T8 já usada com broca Ø5,9 curta que tbm está definida na T8	Broca de Ø4.3 MDI
O54558	7	T8 já usada com broca Ø5,9 curta que tbm está definida na T8	Broca de Ø4.3 MDI
O50801	7	Alterada para T8	Broca de Ø4.5 MDI
O50812	7	Alterada para T8	Broca de Ø4.5 MDI
O58633	7	Mudei para T8, no programa de 5 eixos tbm (O65044)	Broca de Ø4.5 MDI
O54527	7	Programa da base, não há mais estações disponíveis	Broca de Ø5 MDI
O50364	7	Alterada para T9	Broca de Ø5 MDI Curta
O50373	7	Alterada para T9	Broca de Ø5 MDI Curta
O50358	7	Alterada para T9	Broca de Ø5.5 MDI
O50375	7	Alterada para T9	Broca de Ø5.5 MDI
O54556	7	Bases do DF, estações todas ocupadas	Broca de Ø6.5 MDI
O54556	7	Bases do DF, estações todas ocupadas	Broca de Ø6.5 MDI

Para mitigar essa situação, foram realizados vários ajustes na numeração das ferramentas, com o objetivo de reduzir significativamente essa variabilidade. Como resultado, passou a haver um total de 91 ferramentas, representando uma redução de 17% em comparação com a situação inicial.

Ao analisar ferramenta a ferramenta, foi possível identificar oportunidades de melhoria. Muitas das ferramentas utilizadas podem ser redundantes ou derivadas

de peças muito antigas, onde os programas foram originalmente desenvolvidos para máquinas com limitações nos “Armazéns” de ferramentas, geralmente limitados a 10 ferramentas. Portanto, para uma abordagem de redução dessa variedade de ferramentas será necessário rever e consolidar as ferramentas, eliminando duplicações e selecionando aquelas que são verdadeiramente essenciais para os processos de fabricação atuais. Isso não apenas simplificaria a gestão de stock e reduziria os custos associados, mas também poderia diminuir o tempo de *setup* das máquinas, aumentando a eficiência global da produção. Além disso, seria vantajoso rever alguns programas de peças mais antigas e adaptá-los para as capacidades dos sistemas atuais, aproveitando ao máximo os recursos disponíveis. Isso poderia envolver a reprogramação de certas operações para se adequarem aos limites dos “Armazéns” de ferramentas das máquinas mais atuais, garantindo uma utilização mais eficaz dos recursos.

Em resumo, a redução da variedade de ferramentas utilizadas no fabrico das peças pode resultar em benefícios significativos em termos de custos operacionais. Essa iniciativa requer uma análise detalhada que se encontra fora do âmbito deste estágio e uma abordagem estratégica por parte da empresa para identificar e implementar as mudanças necessárias.

#### **4.8. Padronização no desenvolvimento dos Equipamentos**

A estreita colaboração entre os departamentos da empresa, nomeadamente entre os departamentos de produção e de desenvolvimento é crucial para se atingir níveis crescentes de produtividade e qualidade dos produtos. É fundamental que o desenvolvimento esteja ciente das reais capacidades e limitações dos processos de maquinação, aquando da conceção/ projeto dos produtos. Isto permite que se projetem peças para esses produtos que sejam facilmente maquinadas e que minimizem os tempos de fabricação e montagem, considerando aspetos como a acessibilidade das ferramentas de corte, as tolerâncias dimensionais e o acabamento superficial desde a fase de projeto.

A padronização de peças e módulos que possam ser usados em diversos equipamentos é uma estratégia fundamental para reduzir os tempos de *setup* na maquinação, e assim reduzir custos. A padronização deve ser implementada na fase de projeto, incluindo a seleção de materiais padronizados, métodos de fixação e consideração das limitações das máquinas CNC existentes na Mecalbi. A aplicação de *standards* que sejam adequados para uma ampla gama de peças pode reduzir significativamente a necessidade de trocas de ferramentas e de *setups*.

Durante a fase de projeto, é essencial escolher materiais que sejam comuns e facilmente disponíveis. Isso não apenas facilita o processo de compra, mas também assegura a consistência na qualidade das peças produzidas. A padronização dos

métodos de fixação é igualmente importante. Ao utilizar métodos de fixação uniformes, a variabilidade e a complexidade durante a montagem das peças podem ser reduzidas, tornando o processo mais rápido e menos suscetível a erros. Um exemplo prático é projetar as peças de modo a uniformizar as furações de passagem para parafusos e outros elementos de fixação. Ao utilizar os mesmos tipos de furações em diferentes peças, é possível diminuir a variedade de ferramentas necessárias para a maquinação e, conseqüentemente, a diversidade de parafusos e ferramentas exigidas para a montagem dos equipamentos. Este tipo de uniformização simplifica o processo de produção e montagem, reduzindo o tempo de preparação e os custos associados.

Esta abordagem de padronização não só reduz os tempos de *setup* na maquinação CNC, por redução do tempo de troca de ferramentas, mas também simplifica o processo de montagem. Além disso, ao padronizar os componentes e peças fabricadas, facilita-se a gestão de stock e reduz-se os custos de manutenção de peças de reposição. O uso de peças padronizadas não apenas promove a eficiência nos processos de fabricação, mas também aumenta a consistência e a qualidade dos produtos finais. Isso resulta em menores custos de produção, tempos de entrega mais curtos e maior satisfação do cliente. Em suma, a padronização na criação das peças é uma estratégia fundamental para melhorar a eficiência e a competitividade da empresa no mercado.

Na Figura 42 foi identificada uma situação em que a mesma peça possuía duas furações distintas para o mesmo propósito. Especificamente, havia três furações de passagem para um parafuso M4, sendo que duas delas tinham um diâmetro de 4,5 mm e a outra um diâmetro de 4,3 mm. Essa inconsistência resultava na necessidade de usar duas ferramentas diferentes: uma broca de 4,5 mm e outra de 4,3 mm. Ao corrigir essa situação, unificando as furações para um único diâmetro, foi possível eliminar a necessidade de utilizar duas brocas distintas para o mesmo fim. Com essa padronização, passou-se a usar apenas uma broca para a execução de todas as furações na peça. Essa mudança simplificou o processo de maquinação, reduzindo o tempo de *setup*.

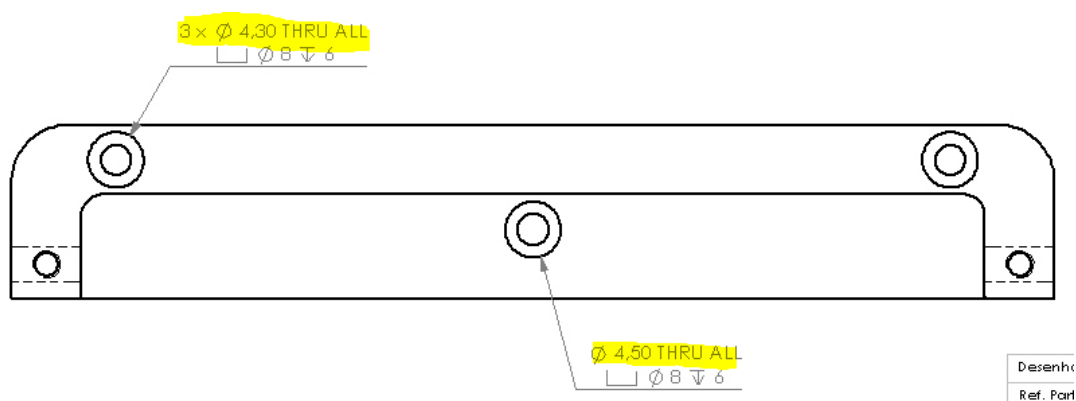


Figura 42 - Exemplo de uma peça onde a furação de passagem para parafusos não está padronizada.

Foi ainda identificado um cenário em que peças com a mesma função apresentavam revisões diferentes para equipamentos distintos, como ilustrado na Figura 43 e na Figura 44. Neste caso foi implementada uma melhoria num determinado equipamento, mas essa atualização não foi aplicada em outros equipamentos, tendo-se mantido uma versão “antiga” da peça. A coexistência de diferentes revisões para uma mesma peça não apenas gera custos adicionais, mas também complica a gestão de stocks, pois é necessário lidar com múltiplas referências para o mesmo componente, podendo originar erros de troca de peças de diferentes revisões apesar de possuírem diferentes referências internas. Portanto, é essencial proceder a uma revisão que garanta a harmonização das revisões das peças em todos os equipamentos. Isso irá assegurar a consistência e a integridade dos produtos finais, reduzindo custos e melhorando a eficiência operacional.



Figura 43 - Peça utilizada no equipamento VMir Plus UV

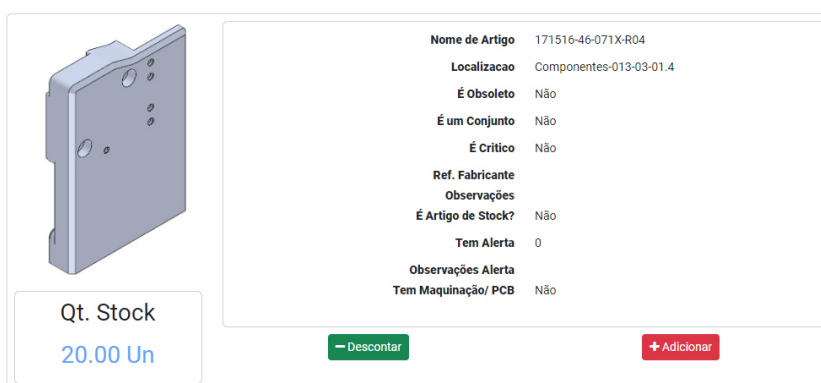


Figura 44 - Peça utilizada nos equipamentos VMir e VMir Plus

## 5. Agrupamento de Peças em Famílias de Produção:

Este capítulo descreve o processo de agrupamento de peças em famílias de produção, uma etapa fundamental na organização das operações industriais. Inicialmente, é apresentado o algoritmo de agrupamento ROC, destacando as suas características e aplicações, assim como os respetivos passos necessários para a sua implementação. Em seguida, apresenta-se a implementação prática do algoritmo, abordando os desafios e soluções encontradas durante o desenvolvimento. O capítulo também inclui casos de estudo que ilustram a aplicação dos métodos de agrupamento em diferentes contextos. É dada uma especial atenção à aplicação prática na produção da Mecalbi, onde se pretende analisar a eficácia da solução produzida no ambiente real da empresa. Finalmente, são analisados os resultados e abordando os ajustes necessários para melhorar o processo de agrupamento.

### 5.1. Algoritmo de Agrupamento

A redução dos *setup* na maquinação de CNC é crucial para reduzir os tempos de inatividade das máquinas, como previamente discutido. Uma das soluções propostas é a utilização de algoritmos de agrupamento como forma de minimizar a troca frequente de ferramentas. Para agrupar as peças em famílias de produção, foi utilizado o algoritmo *Rank Order Clustering* (ROC), proposto por King (1980). O ROC é um método de agrupamento baseado em ordenação, conhecido por regras simples e aplicação prática em ambientes industriais, o que o torna adequado para este estudo.

O ROC é potencialmente eficaz para agrupar peças com base nas ferramentas de corte necessárias para a sua fabricação. Ao classificar e agrupar peças que compartilham ferramentas comuns, o ROC ajuda a evitar trocas frequentes de ferramentas nos “armazéns” automáticos das máquinas CNC.

Antes da aplicação do algoritmo, era essencial compreender a complexidade dos processos de maquinação. Cada peça pode ter um conjunto específico de ferramentas, e a necessidade de realizar trocas frequentes entre elas gera custos adicionais e aumenta o tempo de inatividade. A implementação do ROC surge como uma solução estratégica para esses problemas. O algoritmo ROC permite a criação de famílias de peças com base nas ferramentas necessárias, facilitando a padronização dos processos de troca de ferramenta e a criação de padrões de trabalho.

Com a implementação do ROC, é possível reduzir os tempos de *setup* dos programas CAM, uma vez que as peças agrupadas podem ser processadas com um conjunto reduzido de ferramentas. Isso evita trocas desnecessárias, além disso, a

padronização dos processos melhora a consistência e a repetibilidade, resultando numa redução dos tempos associados a *setups*.

Para aplicar o método ROC na definição de famílias de peças para maquinação, e aplicar as etapas do método, considere-se o exemplo de uma matriz  $m \times n$  como a indicada na Tabela 32, com elementos  $a_{ij}$  binários = 0 ou 1, onde:

- $m$  = referências das peças a serem maquinadas;
- $n$  = número das ferramentas requeridas;
- $a_{ij} = 1$  quando a ferramenta  $i$  for utilizada na peça  $j$ ;
- $a_{ij} = 0$  quando a ferramenta  $i$  não for utilizada na peça  $j$ ;

As equações para o peso binário  $BW$  de linhas  $i$  e colunas  $j$  são:

Peso Binário para a linha  $i \Rightarrow BW_i = 2^{n-i}$  (Equação 1)

Peso Binário para a coluna  $j \Rightarrow BW_j = 2^{m-j}$  (Equação 2)

E as equações do decimal equivalente ( $DE$ ) para as linhas  $i$  e colunas  $j$  são obtidos da seguinte forma:

para a linha  $i: DE_i = \sum_{j=1}^m a_{ij} * 2^{m-j}$  (Equação 3)

para a coluna  $j: DE_j = \sum_{i=1}^m a_{ij} * 2^{n-i}$  (Equação 4)

Tabela 32 - Matriz Algoritmo ROC

		$2^{n-1}$	$2^{5-1}$	$2^{5-2}$	$2^{5-3}$	$2^{5-4}$	$2^{5-5}$	
	Ferramenta	Ferramenta 1	Ferramenta 2	Ferramenta 3	Ferramenta 4	Ferramenta 5		$DE_i$
$2^{m-j}$	Peça							
$2^{5-1}$	Peça 1							0
$2^{5-2}$	Peça 2							0
$2^{5-3}$	Peça 3							0
$2^{5-4}$	Peça 4							0
$2^{5-5}$	Peça 5							0
	$DE_j$	0	0	0	0	0	0	

Em seguida serão descritos os passos das operações para a divisão das ferramentas em grupos e de peças em famílias de acordo com o ROC.

- *Passo 1:* Atribuir um peso binário  $BW_j$  a cada coluna  $j$  da matriz de incidência e, em seguida, determinar o decimal equivalente  $DE_i$  do valor binário de cada linha  $i$ ; No Exemplo da Tabela 33 o Decimal Equivalente para a linha 1 é de 20, obtido de acordo com a Equação 3.

Tabela 33 - Matriz Algoritmo ROC - Exemplo do Passo 1

		$2^{n-i}$	$2^{5-1}$	$2^{5-2}$	$2^{5-3}$	$2^{5-4}$	$2^{5-5}$	
$2^{m-j}$	Ferramenta	Ferramenta 1	Ferramenta 2	Ferramenta 3	Ferramenta 4	Ferramenta 5		$DE_i$
	Peça							
$2^{5-1}$	Peça 1	1		1				20
$2^{5-2}$	Peça 2			1				4
$2^{5-3}$	Peça 3	1		1				20
$2^{5-4}$	Peça 4		1		1			10
$2^{5-5}$	Peça 5		1		1	1		11
	$DE_j$	20	3	28	3	1		

- *Passo 2:* Reordenar as linhas da matriz na ordem decrescente dos valores dos decimais equivalentes de cada linha, ver Tabela 34;

Tabela 34 - Matriz Algoritmo ROC - Exemplo do Passo 2

		$2^{n-i}$	$2^{5-1}$	$2^{5-2}$	$2^{5-3}$	$2^{5-4}$	$2^{5-5}$	
$2^{m-j}$	Ferramenta	Ferramenta 1	Ferramenta 2	Ferramenta 3	Ferramenta 4	Ferramenta 5		$DE_i$
	Peça							
$2^{5-1}$	Peça 1	1		1				20
$2^{5-2}$	Peça 3	1		1				20
$2^{5-3}$	Peça 5		1		1	1		11
$2^{5-4}$	Peça 4		1		1			10
$2^{5-5}$	Peça 2			1				4
	$DE_j$	24	6	25	6	4		

- *Passo 3:* Para cada linha  $i$  da matriz atribuir um peso binário  $BW_i$  e calcular o decimal equivalente  $DE_j$  para cada coluna  $j$ . No Exemplo da Tabela 35 o Decimal Equivalente para a coluna 1 é de 24, obtido de acordo com a Equação 4.

Tabela 35 - Matriz Algoritmo ROC - Exemplo do Passo 3

		$2^{n-i}$	$2^{5-1}$	$2^{5-2}$	$2^{5-3}$	$2^{5-4}$	$2^{5-5}$	
$2^{m-j}$	Peça \ Ferramenta	Ferramenta 1	Ferramenta 2	Ferramenta 3	Ferramenta 4	Ferramenta 5	$DE_i$	
$2^{5-1}$	Peça 1	1		1			20	
$2^{5-2}$	Peça 3	1		1			20	
$2^{5-3}$	Peça 5		1		1	1	11	
$2^{5-4}$	Peça 4		1		1		10	
$2^{5-5}$	Peça 2			1			4	
	$DE_j$	24	6	25	6	4		

- **Passo 4:** Reordenar as colunas da matriz na ordem decrescente dos valores dos decimais equivalentes da esquerda para a direita, desempatando arbitrariamente, ver Tabela 36;

Tabela 36 - Matriz Algoritmo ROC - Exemplo do Passo 4

		$2^{n-i}$	$2^{5-1}$	$2^{5-2}$	$2^{5-3}$	$2^{5-4}$	$2^{5-5}$	
$2^{m-j}$	Peça \ Ferramenta	Ferramenta 3	Ferramenta 1	Ferramenta 2	Ferramenta 4	Ferramenta 5	$DE_i$	
$2^{5-1}$	Peça 1	1	1				24	
$2^{5-2}$	Peça 3	1	1				24	
$2^{5-3}$	Peça 5			1	1	1	7	
$2^{5-4}$	Peça 4			1	1		6	
$2^{5-5}$	Peça 2	1					16	
	$DE_j$	25	24	6	6	4		

- **Passo 5:** Repetir os passos de **1** a **4** até não haver mais mudanças de posições dos elementos em cada linha ou coluna e determinar a **EBD**, matriz final na Tabela 37.

Tabela 37 - Matriz Algoritmo ROC - Exemplo do Passo 5

		$2^{n-i}$	$2^{5-1}$	$2^{5-2}$	$2^{5-3}$	$2^{5-4}$	$2^{5-5}$	
$2^{m-j}$	Peça \ Ferramenta	Ferramenta 3	Ferramenta 1	Ferramenta 2	Ferramenta 4	Ferramenta 5		$DE_i$
$2^{5-1}$	Peça 1	1	1					24
$2^{5-2}$	Peça 3	1	1					24
$2^{5-3}$	Peça 2	1						16
$2^{5-4}$	Peça 5			1	1	1		7
$2^{5-5}$	Peça 4			1	1			6
	$DE_j$	28	24	3	3	2		

Neste exemplo, os dois blocos assinalados a verde na Tabela 37 formam a Estruturação Baseada em Dados (EBD), indicando a formação de grupos de ferramentas que serão usadas na maquinação das respetivas peças, gerando a seguinte configuração:

- **Família 1:** constituída pelas peças 1, 3 e 2, recorrem às ferramentas 3 e 1
- **Família 2:** constituída pelas peças 5 e 4, recorrem às ferramentas 2, 4 e 5

## 5.2. Implementação do Algoritmo de Agrupamento:

A implementação do algoritmo ROC no setor de maquinação de CNC foi realizada para os equipamentos foco deste estudo. Esses equipamentos pertencem a duas famílias de produtos nas quais a Mecalbi pretende-se concentrar: a família EVO e a família VMir. A empresa procura reduzir os custos industriais dessas famílias para aumentar sua rentabilidade.

Portanto, a análise foi limitada às seguintes referências de produtos:

- STCS-EVO500
- STCS-EVO500TS
- STCS-VMir com Single Fixture
- STCS-VMir Plus com Single Fixture
- STCS-VMir Plus UV

A utilização do algoritmo ROC visa otimizar a produção desses equipamentos, agrupando as peças de acordo com as ferramentas de corte necessárias para a sua fabricação. Com isso, procura-se minimizar as trocas de ferramentas e os tempos de *setup*.

Os equipamentos selecionados para essa análise foram escolhidos devido à sua semelhança estrutural e funcional. Recentemente, passaram por um processo de revisão, durante o qual foram implementadas várias melhorias técnicas. A decisão do foco nesses equipamentos específicos fundamenta-se na expectativa de que a uniformidade e as melhorias recentes facilitarão a sua produção, podendo obter ganhos significativos de produtividade na fabricação destes equipamentos.

Para a implementação do algoritmo de agrupamento, realizou-se o seguinte conjunto de passos:

- *Preparação dos Dados:* Nesta fase inicial, reuniu-se todas as informações necessárias sobre as peças, programas CAM e ferramentas utilizadas nos processos de maquinação. Os dados foram organizados de forma a facilitar a análise subsequente.
- *Criação da Matriz de Agrupamento:* Foi criada uma matriz que representa a relação entre as peças e as ferramentas utilizadas. Nesta matriz, as linhas representam as peças e as colunas representam as ferramentas. Cada célula da matriz indica uma determinada peça utiliza uma ferramenta específica, normalmente com um valor binário (0 ou 1).
- *Atribuição de Pesos Binários:* Atribuíram-se valores binários à matriz, onde 1 indica a presença de uma ferramenta necessária para a maquinação da peça e 0 indica a ausência. Este passo é crucial para a aplicação do algoritmo ROC, que se baseia na análise dessas relações binárias.
- *Ordenação das Linhas e das Colunas da Matriz:* Utilizando o algoritmo ROC, ordenaram-se as linhas e colunas da matriz de forma a agrupar as peças e ferramentas que possuem maior interseção. O objetivo é reorganizar a matriz para que os elementos 1 se concentrem em blocos próximos, facilitando a identificação de famílias de peças que utilizam conjuntos similares de ferramentas.
- *Identificação de Famílias:* Após a ordenação, identificaram-se as famílias de peças que compartilham conjuntos comuns de ferramentas. Essas famílias representam grupos de peças que podem ser processadas com um conjunto reduzido de trocas de ferramentas, otimizando os *setups*.
- *Exportação dos Dados:* Finalmente, os dados processados e as famílias identificadas foram exportados para formatos adequados para análise e implementação na produção. Esta etapa incluiu a documentação das famílias de peças, as ferramentas associadas e os padrões de *setup* recomendados.

Cada um desses passos será detalhado a seguir, proporcionando uma visão abrangente do processo de implementação do algoritmo de agrupamento ROC.

*Preparação dos Dados:* o processo iniciou-se com a compilação das listas de maquinação das máquinas CNC, presentes na secção dos anexos deste relatório.

Nessa etapa, organizou-se os dados relevantes e necessários para a produção das peças e para a elaboração da matriz do algoritmo ROC numa folha de cálculo, conforme ilustrado na Tabela 38. Os dados incluem os seguintes elementos:

- *Imagem das peças:* Fornece uma visualização gráfica de cada peça a ser maquinada, facilitando a sua identificação.
- *Referência Mecalbi:* Código específico atribuído a cada peça dentro do sistema da Mecalbi, utilizado para rastreamento e identificação no sistema de gestão interna (Promec) e no armazém.
- *Referência do desenho das peças:* Código do desenho técnico da peça, essencial para garantir que todos os detalhes dimensionais e especificações técnicas sejam considerados e verificados durante o processo de fabrico das peças. Para entender melhor os detalhes da referência do desenho, apresenta-se na Figura 45 a descrição detalhada do significado de cada código.

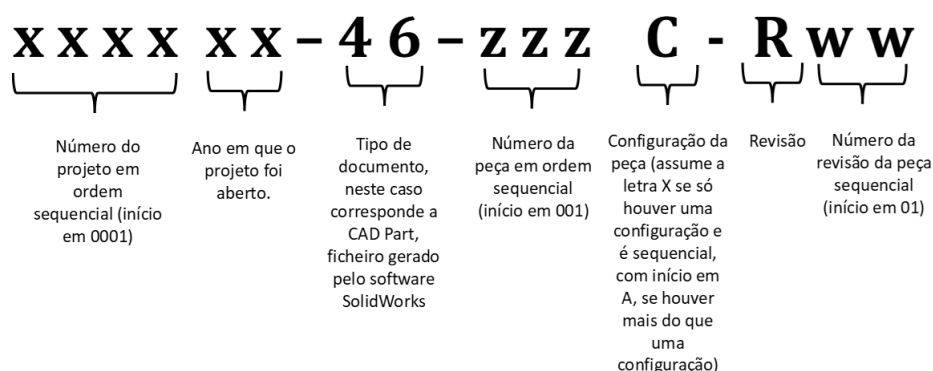











Figura 45 – Descrição detalhada de cada código da referência do desenho das peças

- *Quantidade a produzir de cada peça por equipamento:* Número de unidades de cada necessária para montar o respetivo equipamento.
- *Tipo de material:* Informação sobre o material da peça (por exemplo, EN-AW 5083, POM C, PTFE), o que pode afetar a escolha das ferramentas e os parâmetros de maquinação.
- *Referência da máquina:* Identificação do processo e da máquina CNC (por exemplo, HAAS Mill, EMCO Turn 155), onde cada peça será produzida, importante para separação de famílias por processo / máquina CNC.
- *Programas CAM requeridos para a maquinação das peças:* Lista dos programas de CAM necessários para a execução da maquinação de cada peça.
- *Número da ferramenta utilizada em cada programa:* Identificação específica de cada ferramenta usada nos programas CAM, ferramentas essas que o operador terá de colocar no “armazém” automático da máquina CNC, também essencial para o agrupamento e otimização dos *setups*.

- *Descrição das ferramentas:* Informações detalhadas sobre cada ferramenta, incluindo tipo, tamanho e especificações, para garantir que a ferramenta correta seja utilizada.
- *Tempos de setup:* Tempo estimado necessário para preparar a máquina CNC para a produção de cada peça, incluindo a troca de ferramentas e outros ajustes.
- *Tempo de maquinação:* Tempo efetivo gasto na maquinação de cada peça, desde o início até a conclusão.
- *Tempo Total (tempo de setup + tempo de maquinação):* Soma do tempo de setup e do tempo de maquinação, proporcionando uma visão completa do tempo necessário para a produção de cada peça.

Tabela 38 - Exemplo dos Dados compilados

Fotos Pictures	Ref. Mecabli Mecabli Ref.	Ref. Desenho Drawing Ref.	Qt. Qty.	Tipo Material Material	Maquina Machine	Programas Programs	Ferramentas Tools	Descrição da Ferramenta Tool Description	Setup Time Minutos	Run Time Minutos	Tempo Total Minutos	Tempo Total Horas
	23-07-0001	31712-46-017A-R13	1	EN-AW 5083	HAAS Mill	O08931	7	Broca de Ø3 MDI	6,7	2,7	9,4	00:09:26
	23-07-0003	31712-46-017C-R13	1	EN-AW 5083	HAAS Mill	O08935	7	Broca de Ø3 MDI	6,7	2,8	9,6	00:09:33
	23-07-0005	31712-46-031X-R06	2	EN-AW 5083	HAAS Mill	O07798	14	Broca de Ø2.8 MDI	6,5	0,8	7,3	00:07:19
	23-07-0006	31712-46-057X-R05	4	AISI 304	HAAS Lathe	O00196	1111	Bar Puller	6,0	3,9	9,9	00:09:51
	23-07-0007	31712-46-033A-R12	2	EN-AW 5083	HAAS Lathe	O00332	1111	Bar Puller	3,9	2,9	6,9	00:06:51
	23-07-0008	31712-46-033B-R12	2	EN-AW 5083	HAAS Lathe	O00333	1111	Bar Puller	3,9	3,9	7,8	00:07:50
	23-07-0009	31712-46-033C-R12	2	EN-AW 5083	HAAS Lathe	O00334	1111	Bar Puller	3,9	4,2	8,1	00:08:09
	23-07-0010	31712-46-120X-R02	4	P/TFE	HAAS Lathe	O00351	202	Broca de Ø6	7,9	2,6	10,5	00:10:32
	23-07-0011	31712-46-118X-R03	2	AISI 304	HAAS Lathe	O00349	1111	Bar Puller	6,0	4,8	10,8	00:10:46

Após análise dos dados compilados, conforme mostrado na Tabela 38, foi identificado um problema com a numeração das ferramentas atribuídas a cada local no “armazém” automático utilizadas em cada programa CAM. Constatou-se uma duplicação na numeração das ferramentas e diferenças nas descrições. Por exemplo, o programa O50355 utiliza a numeração 8 para a ferramenta “Broca de Ø4 MDI”, enquanto o programa O34324 utiliza a mesma numeração 8 para a ferramenta “Broca de Ø4.2 MDI”, conforme ilustrado na Tabela 39. Esta inconsistência gera dificuldades na aplicação do algoritmo ROC, pois este baseia-se na numeração das ferramentas e não na descrição.

Tabela 39 - Exemplo do problema com a numeração.

Programas Programs	Ferramentas Tools	Descrição da Ferramenta Tool Description
O50355	8	Broca de Ø4 MDI
O34324	8	Broca de Ø4.2 MDI
O51034	8	Broca de Ø4.3 MDI
O22673	8	Broca de Ø4.5 MDI
O58628	8	Broca de Ø5.9 Curta MDI

Para resolver o problema, foi necessário implementar uma solução que eliminasse a redundância e a complexidade na atribuição de ferramentas a cada local no “armazém” automático de cada máquina. Assim, procedeu-se à renumeração das ferramentas, seguindo critérios específicos para garantir a identificação única de cada ferramenta e evitar numerações duplicadas. Para efetuar a renumeração foi criado um programa em VBA (*Visual Basic for Applications*) que automatiza a renumeração das ferramentas em uma folha de Excel, eliminando redundâncias e assegurando a unicidade na numeração das ferramentas. Abaixo estão os detalhes de cada condição do código.

- Detalhes do Código VBA:
- Iteração Sobre as Ferramentas:
- *Verificação de Numeração*: Para cada ferramenta na folha “Base de dados”, verifica se a numeração se repete.
- *Verificação de Descrição*: Se a numeração se repetir, efetua a verificação da descrição. Se a numeração e a descrição forem diferentes, adiciona a ferramenta ao dicionário com a respetiva numeração e descrição.
- *Incremento da Numeração*: Caso a numeração coincida com um número já carregado no dicionário, incrementa a numeração em 0.01. Por exemplo, se a ferramenta utiliza a numeração 8 para a ferramenta “Broca de Ø4 MDI” e a mesma numeração 8 para a ferramenta “Broca de Ø4.2 MDI”, o programa irá adicionar 0.01 ao número 8, resultando em 8.01. Assim, o algoritmo, ao efetuar a verificação, sabe que 8 é diferente de 8.01.

O objetivo deste programa é renumerar as ferramentas de forma automática, eliminando redundâncias e garantindo que cada ferramenta tenha uma numeração única. Isso facilita a identificação e gestão das ferramentas, evitando problemas que possam ocorrer devido a numerações duplicadas. Podemos ver uma amostra do resultado desta renumeração na Tabela 40.

Tabela 40 - Amostra do resultado da renumeração das ferramentas



Ferramentas Tools	Descrição da Ferramenta Tool Description	Maquina Machine
1	Roca Ø63	HAAS Mill
2	Fresa Ø4 ALU	HAAS Mill
2	Fresa Ø4 ALU   HSM	HAAS Mill
2	Fresa Ø4 PLA	HAAS Mill
2	Fresa Ø4 PLA   HSM	HAAS Mill
3	Fresa Escariador Ø10 ALU	HAAS Mill
3	Fresa Escariador Ø10 PLA	HAAS Mill
4	Fresa Ø16 ALU   HSM	HAAS Mill
4	Fresa Ø16 PLA   HSM	HAAS Mill
5	Fresa Ø10 ALU   HSM	HAAS Mill
5	Fresa Ø10 PLA   HSM	HAAS Mill
5	Fresa Ø10 ALU	HAAS Mill
5,01	Macho M12 x 1.5	HAAS Mill
6	Broca de Ø2.5 MDI	HAAS Mill
6,01	Fresa de Ponta Esferica Ø10 ALU	HAAS Mill
6,02	Broca de Ø1 MDI	HAAS Mill
6,03	Broca de Ø2.9 MDI	HAAS Mill
6,04	Broca de Pontear Ø2.5	HAAS Mill
7	Broca de Ø3 MDI	HAAS Mill
7,01	Broca de Ø3.4 MDI	HAAS Mill
7,02	Broca de Ø3.2 MDI	HAAS Mill
7,03	Broca de Ø3.3 MDI	HAAS Mill
7,04	Broca de Ø4.9 Curta MDI	HAAS Mill
7,05	Fresa Escariador Ø3 ALU	HAAS Mill
7,06	Broca de Ø6.5 MDI	HAAS Mill
8	Broca de Ø4.5 MDI	HAAS Mill
8,01	Broca de Ø4.3 MDI	HAAS Mill
8,02	Broca de Ø4.2 MDI	HAAS Mill
8,03	Broca de Ø4 MDI	HAAS Mill
8,04	Broca de Ø5.9 Curta MDI	HAAS Mill
8,05	Broca de Ø6 Curta MDI	HAAS Mill
8,06	Fresa de Ponta Esferica Ø1 ALU	HAAS Mill
9	Broca de Ø5 MDI	HAAS Mill
9,01	Broca de Ø5.3 MDI	HAAS Mill
9,02	Broca de Ø5.5 MDI	HAAS Mill
9,03	Broca de Ø12 MDI	HAAS Mill
9,04	Broca de Pontear Ø1	HAAS Mill
9,05	Broca de Ø5 MDI Curta	HAAS Mill
9,06	Broca de Ø20	HAAS Mill
9,07	Broca de Ø10 MDI	HAAS Mill
9,08	Broca de Ø16	HAAS Mill
9,09	Broca de Ø9	HAAS Mill

*Criação da Matriz de Agrupamento:* Para automatizar o processo de criação das matrizes para agrupamento segundo o algoritmo ROC, foram desenvolvidas macros em VBA, atendendo à grande quantidade de referências de peças e de ferramentas envolvidas. Criou-se uma folha de cálculo que possibilita a inserção das referências das peças e das respetivas quantidades a produzir, importando os dados gerados

pelo sistema MRP da empresa. Este processo ainda está em fase de desenvolvimento, conforme descrito no *subcapítulo 2.4*, onde são apresentadas as novas metodologias que a empresa está a implementar.

O sistema MRP gera as necessidades de acordo com as encomendas em carteira dos clientes. De forma resumida:

- *Geração de Necessidades:* Com base nas encomendas, o MRP gera as necessidades de produção e de encomendas. Esses dados são organizados numa folha de Excel.
- *Tabela Dinâmica:* Os dados gerados pelo MRP são trabalhados através de uma tabela dinâmica, nessa tabela, aplicam-se os filtros necessários. No caso específico, aplica-se o filtro das peças de maquinação, representado na Tabela 41.
- *Importação dos Dados:* A tabela dinâmica, contendo as necessidades de maquinação, é então exportada para a folha desenvolvida em VBA, como mostrado na Tabela 42.

Tabela 41 - Tabela dinâmica resultante da análise ao MRP

FornecimentoEmFalta	(Itens múltiplos)	▼
Projeto	(Tudo)	▼
TipoArtigo	Componente Peça	▼
<b>Rótulos de Linha</b>	<b>Soma de FornecimentoEmFalta</b>	
[-] <b>Extra cooling - STCS-LC</b>		<b>-8</b>
23-16-0081		-8
[-] <b>ISAC14 - System protection for NCA</b>		<b>-68</b>
23-36-0003		-4
23-36-0004		-4
23-36-0005		-4
23-36-0006		-4
23-36-0007		-4
23-36-0008		-4
23-36-0009		-4
23-36-0010		-4
23-36-0011		-4
23-36-0012		-4
23-36-0013		-4
23-36-0014		-4
23-36-0015		-8
23-36-0016		-4
23-36-0017		-4
23-36-0018		-4

Para facilitar a limpeza dos dados nesta folha de Excel “Principal”, foi desenvolvida uma macro em VBA que remove todas as informações de uma vez. Para executar a macro, basta clicar na imagem com a etiqueta “Delete”.

Conforme mostrado na Tabela 42, essa abordagem acelera o processo e garante que a folha esteja pronta para receber novos dados de maneira rápida.

Tabela 42 - Folha de Excel “Principal” para inserção das referências e quantidades

Ref. Mecalbi da Peça <i>Mecalbi Piece Ref.</i>	Qt. <i>Qty.</i>
23-07-0001	1
23-07-0002	1
23-07-0003	1
23-07-0004	1
23-07-0005	2
23-07-0006	4
23-07-0007	2
23-07-0008	2
23-07-0009	2
23-07-0010	4
23-07-0011	2
23-07-0047	4
23-17-0131	8
23-17-0159	1



Para criar a matriz propriamente dita, foram divididas em quatro partes distintas: duas para a máquina “HAAS Mill”, diferenciadas pelo material utilizado (“EN-AW 5083” e “PTFE - POM C”), e mais duas, uma para cada uma das máquinas “HAAS LATHE” e “EMCO Turn 155”.

Os exemplos que serão apresentados a seguir correspondem a uma fração do arquivo, focando apenas na seção “HAAS Mill - PTFE - POM C”. É importante notar que esta é apenas uma parte do trabalho, que inclui outras seções para diferentes materiais e máquinas. Portanto, o que é mostrado representa uma amostragem de um segmento do processo total.

Utilizando macros em VBA, foi desenvolvido um procedimento automatizado para gerar essas matrizes, que a partir das referências inseridas na folha “Principal”, conforme mostrado na Tabela 42, aplicam-se filtros com base nas máquinas e materiais especificados. A partir desse ponto, é criada uma lista com as referências das peças e ferramentas utilizadas para cada situação, como ilustrado na Figura 46.

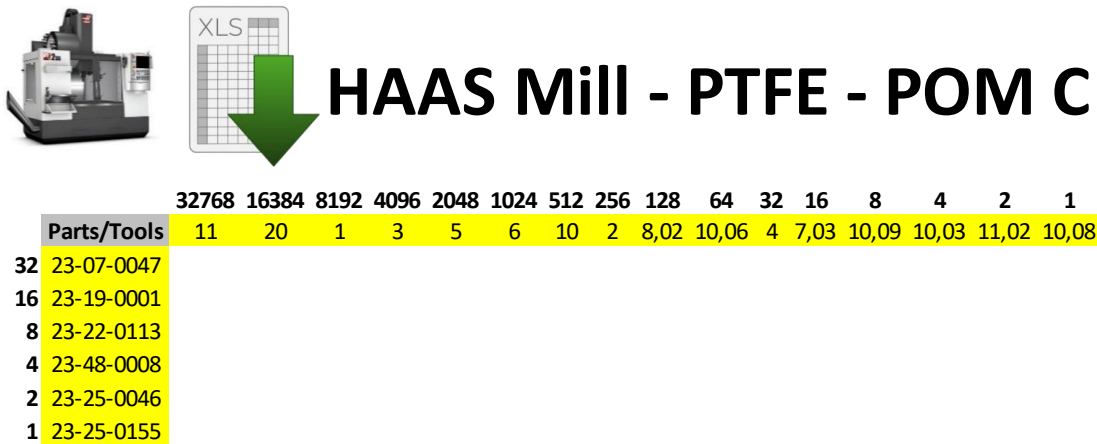


Figura 46 – Exemplo de matriz com o algoritmo ROC para “HAAS Mill - PTFE - POM C” lista com as referências das peças e das ferramentas utilizadas.

Esse método permite uma organização eficiente dos dados, garantindo que cada matriz seja preenchida de forma automática, rápida e precisa, com todas as informações necessárias para o uso subsequente do algoritmo ROC.

*Atribuição de Pesos Binários:* para atribuir os pesos binários a cada célula da matriz, com base na presença ou ausência de uma relação entre a referência da peça e as ferramentas, recorreu-se novamente às macros desenvolvidas em VBA. Estas foram projetadas para verificar se as ferramentas eram utilizadas nas referências das peças correspondentes. Se uma ferramenta for utilizada na maquinação de uma referência (peça), o valor atribuído à célula correspondente é de 1; caso contrário, é atribuído o valor 0, como ilustrado na Figura 47. Para executar a macro, basta clicar na imagem da máquina CNC. Esta abordagem permitiu uma codificação eficaz das relações entre as peças e as ferramentas, fornecendo os dados necessários para a subsequente aplicação do algoritmo ROC.

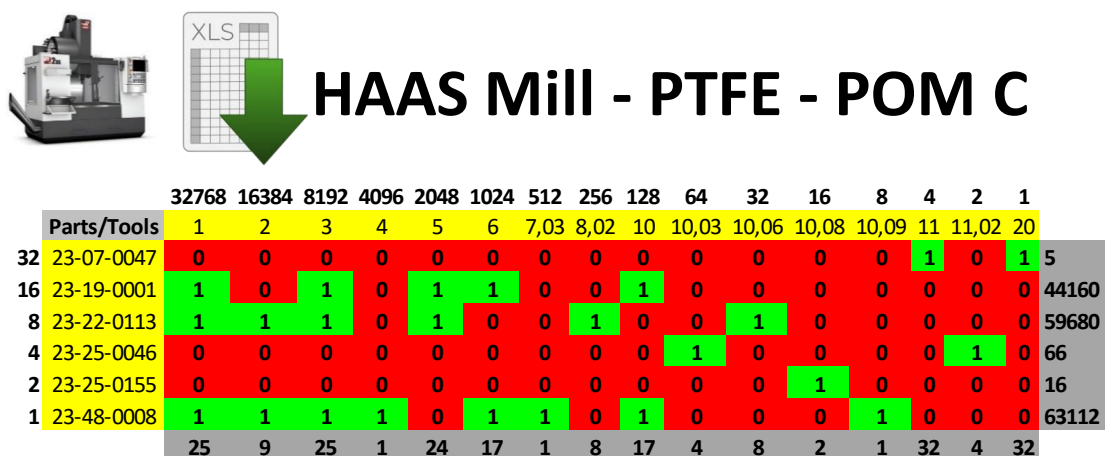


Figura 47 - Exemplo de matriz com o algoritmo ROC para “HAAS Mill - PTFE - POM C” com cálculo dos Pesos Binários

*Ordenação das Linhas e das Colunas da Matriz:* Para ordenar as linhas e as colunas da matriz, é necessário calcular a decimal equivalente de acordo com as equações 3 e 4, respetivamente. Isso implica avaliar a presença ou ausência de relações entre as referências das peças e as ferramentas em cada linha e coluna. Após calcular o decimal equivalente, as linhas são ordenadas por ordem decrescente com base nas pontuações obtidas. Em seguida, as colunas são reorganizadas da esquerda para a direita de acordo com a mesma ordem estabelecida para as linhas. Esse processo é repetido até que tanto as linhas quanto as colunas estejam completamente ordenadas, garantindo assim uma representação adequada da matriz do algoritmo ROC, como ilustrado na Figura 48.

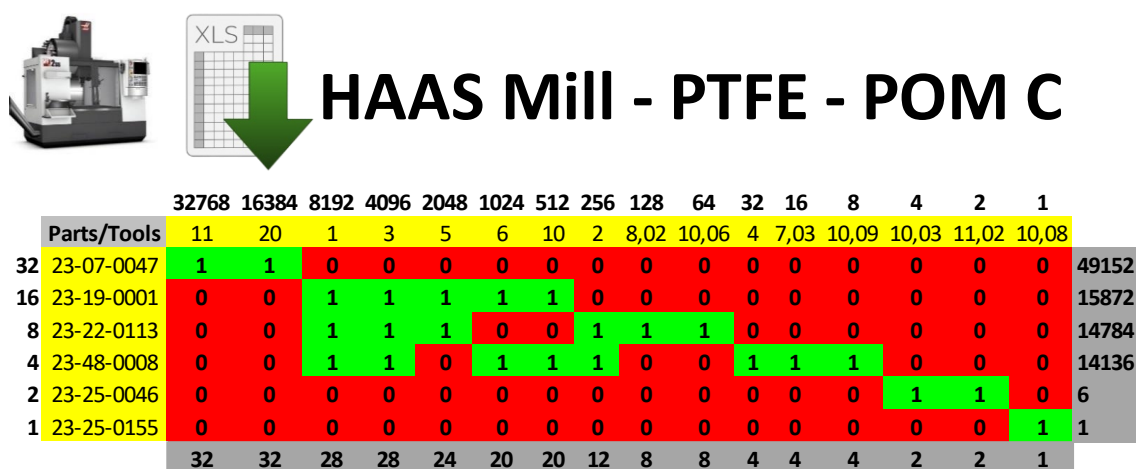


Figura 48 - Matriz final do algoritmo ROC para "HAAS Mill - PTFE - POM C" ordenada.

*Identificação de Famílias:* Após a ordenação das linhas e colunas da matriz resultante com base na relevância dos relacionamentos entre ferramentas e peças, como ilustrado na Figura 48, torna-se possível identificar padrões de possíveis agrupamentos de peças para maquinação sob o mesmo conjunto de ferramentas. Para facilitar essa identificação utilizando os resultados obtidos da aplicação do algoritmo de agrupamento, desenvolveu-se uma macro que gera a ordem da sequência resultante, juntamente com as quantidades de cada uma das peças a produzir, como ilustrado na Tabela 43. Esta macro permite a criação de uma segmentação das peças a produzir numa máquina de CNC por período de produção. Estes períodos podem corresponder a um turno de trabalho de 8 horas, a um dia de trabalho com dois turnos, ou até mesmo uma semana de trabalho com 5 dias. A ferramenta apresenta o tempo estimado da duração para a maquinação de cada peça, facilitando a organização e gestão do processo de maquinação.

Tabela 43 - Sequência das peças resultante da aplicação do algoritmo ROC

<b>HAAS Mill - PTFE - POM C</b>					
Ref. Mecalbi	Qt.	Ref. Desenho	Setup Time	Run Time	Total Time
23-07-0047	4,0	31712-46-014X-R05	24,5	0,6	27,1
23-19-0001	1,0	077715-46-013X-R01	13,4	4,7	18,1
23-22-0113	4,0	099716-46-092X-R01	20,6	2,4	30,4
23-48-0008	2,0	253020-46-035X-R02	25,1	3,2	31,6
23-25-0046	2,0	171516-46-048X-R01	10,0	1,7	13,4
23-25-0155	8,0	171516-46-077X-R01	82,3	6,0	130,4
<b>Total Time min :</b>					<b>250</b>
<b>Total Time h:</b>					<b>4:10:00</b>

Para além de consolidar e apresentar informações detalhadas sobre as peças, a macro desenvolvida também gera uma nova folha com a transposição dos dados das ferramentas utilizadas, incluindo a numeração e a descrição de cada uma, como ilustrado na Tabela 44. Para executar a macro, basta clicar no ícone da folha de Excel. Este processo não só facilita a gestão eficiente das informações sobre as peças e ferramentas, mas também organiza os dados de maneira estruturada e acessível, facilitando a utilização e análise dos dados apresentados.

Tabela 44 -Dados das ferramentas resultante da aplicação do algoritmo ROC

<b>HAAS Mill - PTFE - POM C</b>	
Ferramentas	Descrição da Ferramenta
11	Fresa de Forma R1 ALU
20	Probe OMP40 D6 L50
1	Roca Ø63
3	Fresa Escariador Ø10 ALU
5	Fresa Ø10 ALU   HSM
6	Broca de Ø2.5 MDI
10	Macho M3
2	Fresa Ø4 ALU
8,02	Broca de Ø4.2 MDI
10,06	Macho M5
4	Fresa Ø16 ALU   HSM
7,03	Broca de Ø3.3 MDI
10,09	Macho M4
10,03	Fresa Ø5 INOX
11,02	Fresa Escariador Ø10 AÇO
10,08	Fresa Ø10 INOX

### 5.3. Aplicação Prática na Produção:

Para a produção das peças, foi criado um projeto interno de maquinação, conforme ilustrado na Figura 49.

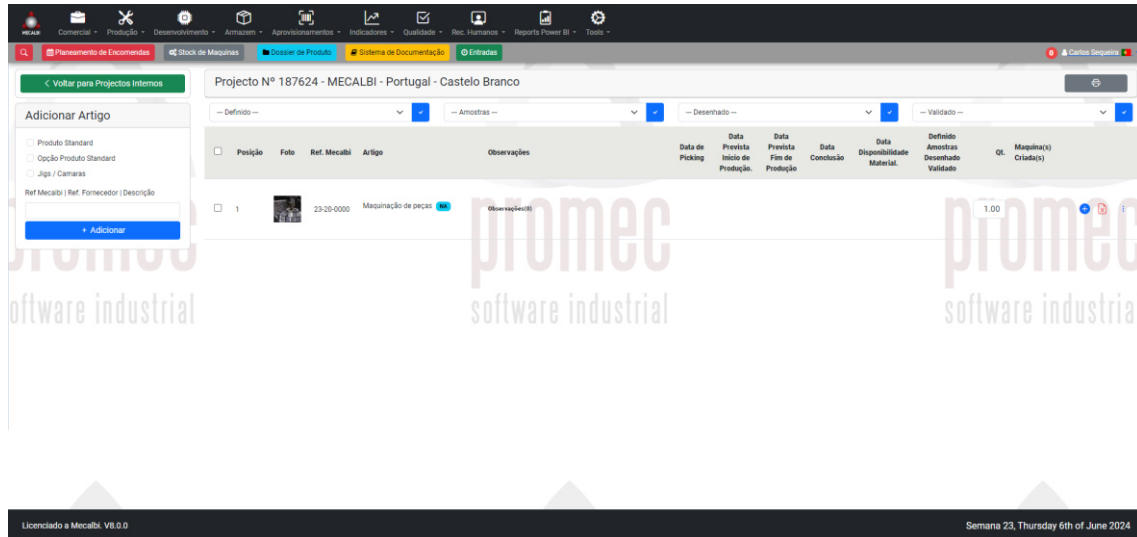


Figura 49 - Criação de projeto interno de maquinação

Com o projeto criado, o próximo passo foi transferir as informações para a lista de materiais (BOM), que é gerida pelo nosso sistema de gestão da informação Promec, conforme ilustrado na Figura 50.

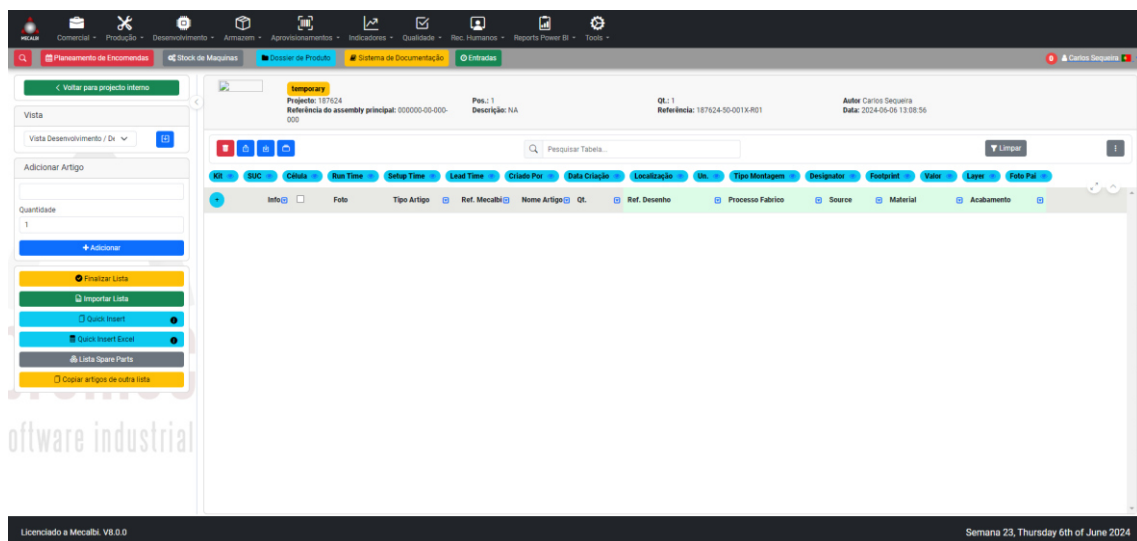


Figura 50 - Criação a lista "BOM"

Ao aceder à lista de materiais, que se encontra em branco, será necessário inserir as referências e quantidades geradas pelo algoritmo na lista de materiais (BOM). Este processo é gerido pelo sistema de gestão da informação Promec, conforme ilustrado na Figura 51.

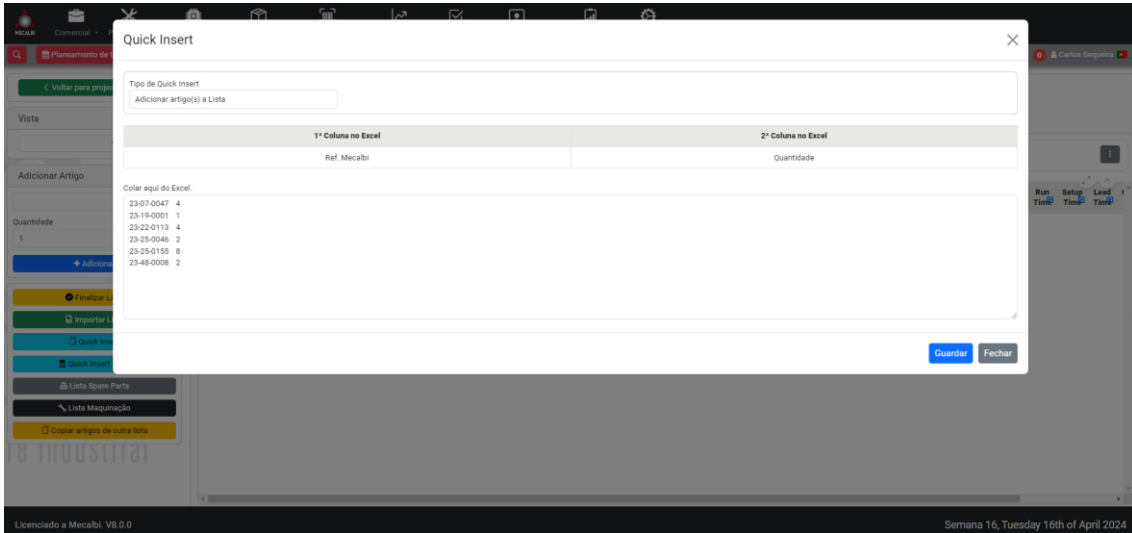


Figura 51 - Criação a lista “BOM” com a sequência resultante da aplicação do algoritmo ROC

Na Figura 52, já é possível observar a lista de materiais (BOM), que é gerida pelo nosso sistema de gestão da informação Promec. Esta lista contém todas as referências e quantidades necessárias para a produção, integradas de acordo com o projeto criado.

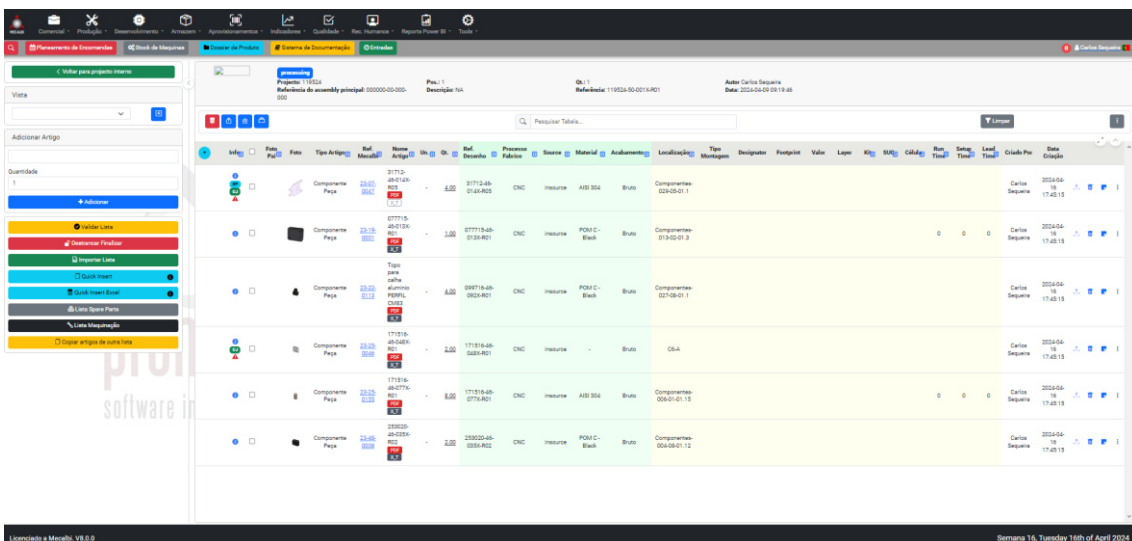


Figura 52 – Lista “BOM” criada e pronta para produção

Na Figura 53, podemos visualizar a etapa final, que é a obtenção da lista de maquinação. Esta lista contém informações detalhadas sobre as dimensões da matéria-prima necessária e os programas específicos para a execução de cada peça.

Item	Foto	Ref. Material de Peça	Ref. Desenho	Qt.	Qt. Total	Qt. Descontado	Tipos Material	Ref. Material Mat. Prima	Complementos	Legenda	Material Prima	Maquina	Program as	Tipo Acabamento	Observações
1		23-07-0002	31712-00-014V025	4.0000	4.0000	-	Alu 304	-	-	-	-	HAS MS 030170	Bruto	Observações Lista Mes. Entrega para acabamento	
2		23-19-0001	077118-00-0131-001	1.0000	1.0000	0.0000	POM C-Black	Principal: 04-11-0005	105	31	Principal: POM C - 15 Preto	HAS MS 007099	Bruto	Observações Lista Mes. Produto aplicação de cada vez	
3		23-20-0113	099718-00-0024-001	4.0000	4.0000	0.0000	POM C-Black	Principal: 04-11-0004 Secundário: 04-30-0003	140	21	Principal: POM C - 20 Preto Secundário: Dado Negro 11,2 (D&T mm)	HAS MS 030124	Bruto	Observações Lista Mes. Produto 7 peças do mesmo Bruto	
4		23-20-0108	171018-00-0081-001	2.0000	2.0000	-	-	-	-	-	-	HAS MS 030101	Bruto	Observações Lista Mes. Entrega para acabamento	
5		23-20-0110	171018-00-0071-001	8.0000	8.0000	0.0000	Alu 304	Principal: 04-20-0010	25	-	Principal: Alu 304 - 010	HAS MS 030104	Bruto		
6		23-08-0008	230205-00-0005-002	2.0000	2.0000	0.0000	POM C-Black	Principal: 04-11-0005	30	23	Principal: POM C - 15 Preto	HAS MS 040100	Bruto		

Figura 53 - Lista de maquinação

Com base nos princípios da Indústria 4.0, a Mecalbi desenvolveu uma ferramenta digital que permite estabelecer comunicação com os equipamentos produtivos da área de maquinação. Essa ferramenta possibilita a monitorização em tempo real dos projetos em curso em cada equipamento e elimina a necessidade de desenhos e programas CAM em suporte de papel, que passam a ser digitais.

A aplicação, denominada *MecView* (Aplicação para Auxílio do Operador CNC), mostra automaticamente ao operador o desenho da peça, a lista de ferramentas e o posicionamento da peça a ser maquinada. Isso ocorre a partir do momento em que o operador seleciona a ordem de produção ou o projeto relacionado à referência da peça, seguindo a ordem previamente definida pelo algoritmo ROC, como ilustrado na Figura 54.

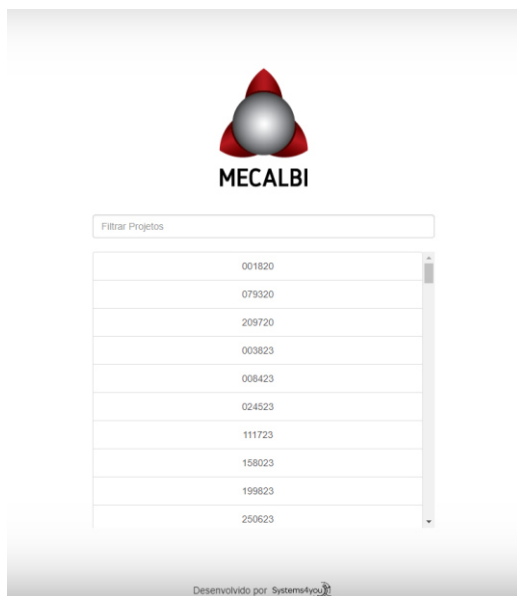


Figura 54 – Aplicação para Auxílio do Operador CNC – MecView

Na Figura 55, pode-se observar a visualização da lista das peças que serão necessárias maquinar, incluindo as respectivas quantidades.

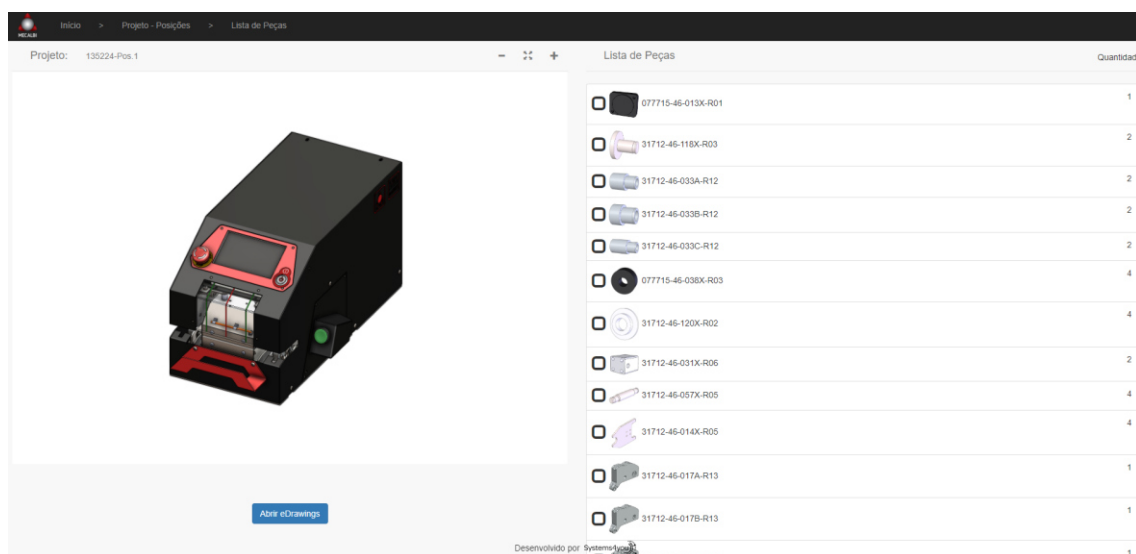


Figura 55 - Aplicação de visualização com a lista das peças

Na Figura 56, pode-se observar, do lado esquerdo, o desenho técnico de uma peça, e, do lado direito, as informações necessárias para o operador preparar a máquina e maquinar a peça corretamente. O desenho técnico fornece os detalhes visuais e as especificações da peça, enquanto as informações do lado direito orientam o operador sobre os parâmetros de maquinação, ferramentas, programa e outras informações essenciais.

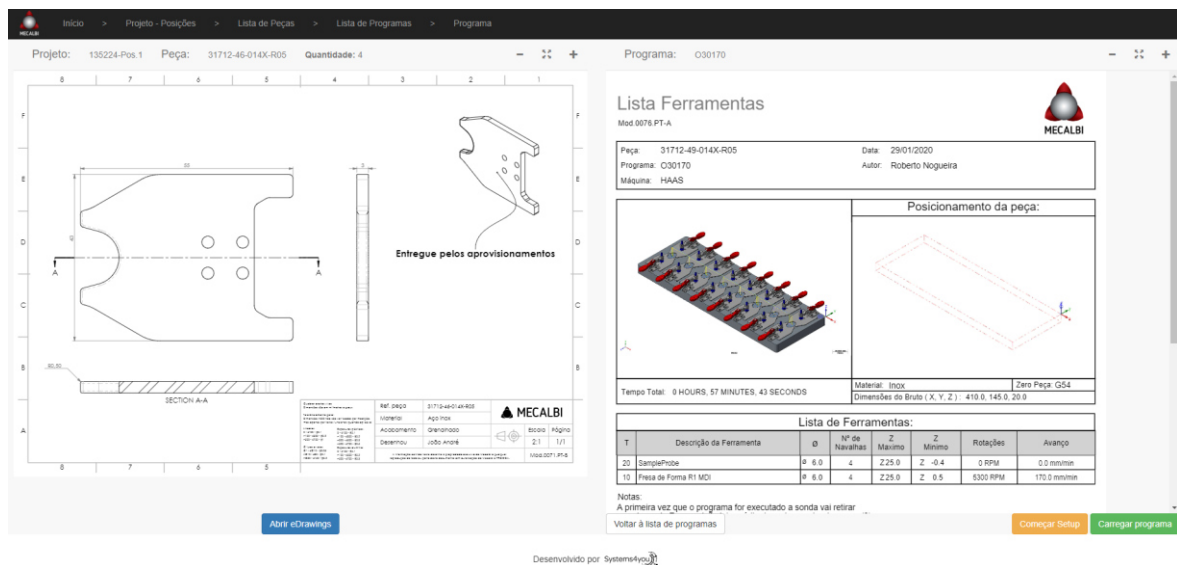


Figura 56 - Aplicação de visualização com desenho técnico e lista de ferramentas

A Mecalbi possui uma aplicação denominada de SYSCNC, com o propósito de monitorizar as máquinas de CNC, permitindo acompanhar o seu funcionamento e identificar os períodos de *setup*, produção e paragem (tempo morto). O SYSCNC oferece uma gama de benefícios para a gestão da produção, incluindo uma visão completa da operação das máquinas, alertas instantâneos em caso de problemas críticos, acessibilidade remota às informações da máquina e integração completa com outros sistemas de gestão da produção. A aplicação além da monitorização, permite a visualização do funcionamento do parque de máquinas em tempo real, a exportação de dados para folha de cálculo (e.g., Excel) e a ajuda na tomada de decisões com base em dados precisos e em tempo real. A Figura 57 e a Figura 58 ilustram a aplicação em funcionamento.



Figura 57 - Software SYSCNC, parque de máquinas da empresa Mecalbi

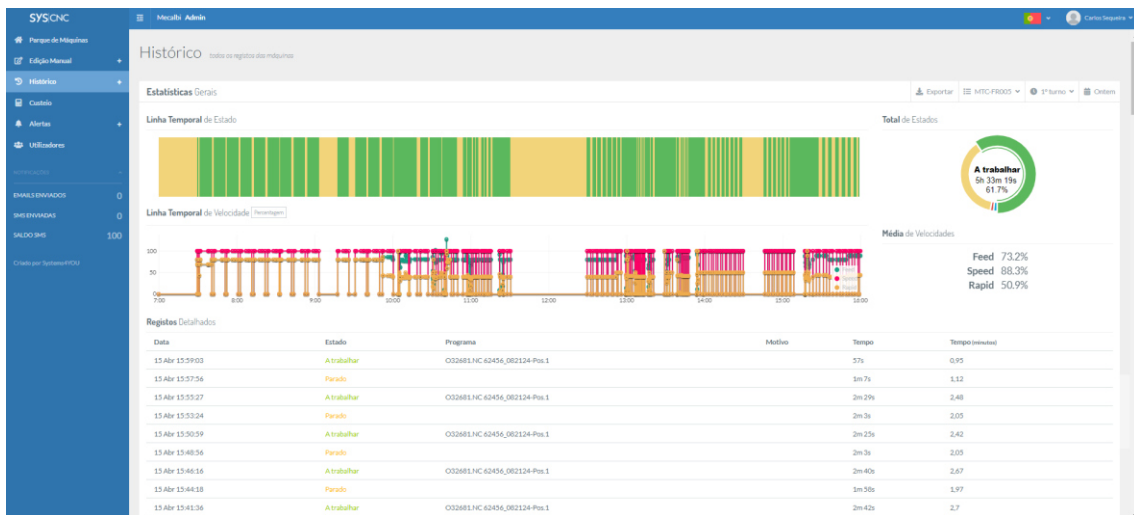


Figura 58 - Software SYSCNC com registo da Máquina FR005

## 5.4. Resultados e Análise

Após a implementação do sequenciamento da produção com base nos resultados do algoritmo ROC, iniciou-se a preparação para a monitorização dos tempos de *setup* e dos tempos de ciclo (*Run Time*) dos programas CAM, utilizando a aplicação *SYSCNC*. Devido à impossibilidade de obter os tempos de todas as peças na base de dados dos equipamentos foco deste estágio, foram selecionados projetos contendo uma amostra representativa das peças para o estudo dos tempos, conforme mostrado na Tabela 45. Dessa forma, foi possível realizar o estudo com o maior número possível de peças disponíveis na base de dados, conforme ilustrado na Tabela 38.

*Tabela 45- Amostra da compilação dos resultados do MRP, com os projetos e as quantidades necessárias das peças a fabricar para a recolha dos tempos*

ReferenciaArtigo	163824	165324	173824	198324	202424	202824	212024	212924	213024	213924	Total Geral
23-25-0159					-15		-80			-8	-103
23-25-0207							-18	-20	-20		-58
23-17-0131								-13	-40		-53
23-25-0148					-7		-40				-47
23-25-0199	-1	-1			-8		-24	-8	-5		-47
23-25-0225							-15	-16	-10		-41
23-25-0126								-19	-20		-39
23-25-0112								-8	-20		-28
23-25-0125							-6	-10	-10		-26
23-25-0041							-5	-10	-10		-25
23-25-0053				-7		-16					-23
23-25-0084							-1	-10	-10		-21
23-17-0255								-6			-6
23-17-0230								-1	-5		-6
23-17-0224								-1	-5		-6
23-41-0099		-2	-2							-2	-6
24-40-0041			-1							-1	-2
23-41-0008			-1							-1	-2
23-41-0003			-1							-1	-2
23-25-0202		-1									-1
30-31-0002			-1								-1
<b>Total:</b>	<b>-24</b>	<b>-13</b>	<b>-28</b>	<b>-9</b>	<b>-70</b>	<b>-61</b>	<b>-244</b>	<b>-198</b>	<b>-212</b>	<b>-49</b>	<b>-908</b>

Para minimizar o impacto na produção, foram selecionadas duas máquinas específicas: a FR008 e a TR002. A escolha dessas máquinas permitiu a realização do estudo em dois processos distintos, Fresagem e Torneamento, garantindo que a análise fosse abrangente e incluísse diferentes tipos de operações. Este critério foi adotado com o objetivo de minimizar o impacto, permitindo que os equipamentos operassem por períodos prolongados sem a necessidade constante de intervenção dos operadores, o que é particularmente importante dada a atual escassez de mão de obra devido ao período de férias dos operadores.

Para realizar a monitorização dos tempos nos dois métodos de produção, foram criados dois projetos internos de maquinação, 217424 e 219224. Ambos os projetos têm as mesmas peças e as mesmas quantidades para garantir uma base comparativa justa e precisa. Para assegurar que o ponto de partida fosse idêntico em ambos os casos e não influenciasse os resultados, retiraram-se das máquinas as ferramentas classificadas como “Ferramentas Variáveis”, conforme descrito anteriormente na

Tabela 29 e na Tabela 30. Este procedimento padronizado assegura que qualquer variação nos tempos de *setup* fosse exclusivamente devida às diferenças nos métodos de produção.

No projeto 217424, foi utilizado um sequenciamento ordenado pelas referências Mecalbi. No entanto, as peças não foram necessariamente maquinadas nessa ordem específica. O operador, pela sua experiência e conhecimento prático, escolheu a sequência de produção que lhe pareceu a mais adequada, como é realizado no seu trabalho diário. Esta escolha foi baseada em vários fatores, incluindo as ferramentas disponíveis na máquina no momento, as dimensões das peças e a complexidade de cada operação. Esse método reflete a prática atualmente em vigor na produção. A sequência escolhida pelo operador, que procura otimizar o uso dos recursos disponíveis e minimizar o tempo de *setup*, está descrita nas Tabela 46 e Tabela 47.

Tabela 46 - Sequência das peças definida pelo operador para a Máquina TR002












Fotos Pictures	Ref. Mecalbi Mecalbi Ref.	Ref. Desenho Drawing Ref.	Qt. Qty.	Tipo Material Material	Maquina Machine
	23-25-0159	17 15 16-46-010X-R03	60	AISI304	HAAS Lathe
	23-17-0131	027615-46-002X-R08	27	EN-AW5083	HAAS Lathe
	23-17-0131	027615-46-002X-R08	27	EN-AW5083	HAAS Lathe
	23-25-0112	17 15 16-46-017X-R04	14	EN-AW5083	HAAS Lathe
	23-48-0001	253020-46-040X-R01	5	EN-AW5083	HAAS Lathe
	23-48-0001	253020-46-040X-R01	5	EN-AW5083	HAAS Lathe
	23-25-0148	17 15 16-46-076X-R01	25	EN-AW5083	HAAS Lathe
	23-25-0148	17 15 16-46-076X-R01	25	EN-AW5083	HAAS Lathe
	23-48-0005	253020-46-047X-R01	4	EN-AW5083	HAAS Lathe
	23-25-0084	17 15 16-46-024X-R02	12	Brass	HAAS Lathe
	23-25-0084	17 15 16-46-024X-R02	12	Brass	HAAS Lathe

Tabela 47 - Sequência das peças definida pelo operador para a Máquina FR008

Fotos Pictures	Ref. Mecalbi Mecalbi Ref.	Ref. Desenho Drawing Ref.	Qt. Qty.	Tipo Material Material	Maquina Machine
	23-25-0125	17 15 16-46-011X-R04	15	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-25-0207	17 15 16-46-022X-R03	30	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-25-0041	17 15 16-46-028X-R02	14	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-25-0126	17 15 16-46-020X-R04	20	EN-AW5083	HAAS Mill
	24-23-0150	17 15 16-46-062A-R07	3	EN-AW5083	HAAS Mill
	24-23-0149	17 15 16-46-062B-R07	3	EN-AW5083	HAAS Mill
	24-23-0144	17 15 16-46-009X-R05	10	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-25-0208	17 15 16-46-058A-R06	4	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-25-0210	17 15 16-46-058C-R06	4	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-25-0212	17 15 16-46-058E-R06	4	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-17-0206	027615-46-003B-R12	4	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-17-0207	027615-46-003C-R12	4	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-25-0199	17 15 16-46-019X-R03	25	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-17-0223	027615-46-143A-R05	4	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-17-0224	027615-46-143B-R05	4	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-25-0229	17 15 16-46-071X-R04	8	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-17-0230	027615-46-113X-R02	4	EN-AW5083	HAAS Mill
	24-23-0143	17 15 16-46-007X-R06	10	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-48-0007	253020-46-049X-R02	4	EN-AW5083	HAAS Mill
	24-23-0155	17 15 16-46-070X-R04	5	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-25-0219	17 15 16-46-064X-R06	5	EN-AW5083	HAAS Mill
	24-23-0147	17 15 16-46-059A-R05	2	EN-AW5083	HAAS Mill
	24-23-0148	17 15 16-46-059B-R05	3	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-25-0087	17 15 16-46-025X-R03	10	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-48-0006	253020-46-048X-R01	2	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-17-0160	027615-46-155X-R02	4	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-17-0162	027615-46-157X-R02	4	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-48-0004	253020-46-044X-R01	2	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-17-0131	027615-46-002X-R08	27	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-25-0112	17 15 16-46-017X-R04	14	EN-AW5083	HAAS Mill

Neste método, o operador montou as ferramentas conforme a necessidade de cada peça que ia selecionando. Esse procedimento dinâmico permite ajustes flexíveis e oportunos durante a produção, adaptando-se às circunstâncias específicas de cada operação e otimizando o tempo total de produção. Este método caracteriza-se pela flexibilidade e adaptabilidade do operador, que, com base na sua experiência, pode tomar decisões em tempo real que lhe pareçam vantajosas para melhorar a eficiência do processo produtivo.

No projeto 219224, a sequência das peças foi determinada pelo algoritmo ROC, conforme detalhado anteriormente. Este algoritmo é aplicado para garantir que as peças sejam produzidas de maneira a reduzir tempos de *setup*, Tabela 48 e Tabela 49.

Tabela 48 – Sequência das peças sugerida pelo Método ROC para a Máquina TR002




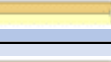






Fotos Pictures	Ref. Mecalbi Mecalbi Ref.	Ref. Desenho Drawing Ref.	Qt. Qty.	Tipo Material Material	Maquina Machine
	23-17-0131	027615-46-002X-R08	27	EN-AW5083	HAAS Lathe
	23-17-0131	027615-46-002X-R08	27	EN-AW5083	HAAS Lathe
	23-25-0112	171516-46-017X-R04	14	EN-AW5083	HAAS Lathe
	23-25-0084	171516-46-024X-R02	12	Brass	HAAS Lathe
	23-25-0084	171516-46-024X-R02	12	Brass	HAAS Lathe
	23-25-0148	171516-46-076X-R01	25	EN-AW5083	HAAS Lathe
	23-25-0148	171516-46-076X-R01	25	EN-AW5083	HAAS Lathe
	23-48-0001	253020-46-040X-R01	5	EN-AW5083	HAAS Lathe
	23-48-0001	253020-46-040X-R01	5	EN-AW5083	HAAS Lathe
	23-25-0159	171516-46-010X-R03	60	AISI304	HAAS Lathe
	23-48-0005	253020-46-047X-R01	4	EN-AW5083	HAAS Lathe

Tabela 49 – Sequência das peças sugerida pelo Método ROC para a Máquina FR008

Fotos Pictures	Ref. Mecalbi Mecalbi Ref.	Ref. Desenho Drawing Ref.	Qt. Qty.	Tipo Material Material	Maquina Machine
	23-17-0160	027615-46-155X-R02	4	EN-AW5083	HAAS Mill
	24-23-0148	171516-46-059B-R05	3	EN-AW5083	HAAS Mill
	24-23-0147	171516-46-059A-R05	2	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-17-0206	027615-46-003B-R12	4	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-17-0207	027615-46-003C-R12	4	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-17-0230	027615-46-113X-R02	4	EN-AW5083	HAAS Mill
	24-23-0155	171516-46-070X-R04	5	EN-AW5083	HAAS Mill
	24-23-0149	171516-46-062B-R07	3	EN-AW5083	HAAS Mill
	24-23-0150	171516-46-062A-R07	3	EN-AW5083	HAAS Mill
	24-23-0144	171516-46-009X-R05	10	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-25-0125	171516-46-011X-R04	15	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-25-0207	171516-46-022X-R03	30	EN-AW5083	HAAS Mill
	24-23-0143	171516-46-007X-R06	10	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-48-0006	253020-46-048X-R01	2	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-25-0199	171516-46-019X-R03	25	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-17-0131	027615-46-002X-R08	27	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-25-0112	171516-46-017X-R04	14	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-25-0219	171516-46-064X-R06	5	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-25-0208	171516-46-058A-R06	4	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-25-0212	171516-46-058E-R06	4	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-25-0210	171516-46-058C-R06	4	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-25-0229	171516-46-071X-R04	8	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-25-0087	171516-46-025X-R03	10	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-25-0126	171516-46-020X-R04	20	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-17-0223	027615-46-143A-R05	4	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-17-0224	027615-46-143B-R05	4	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-25-0041	171516-46-028X-R02	14	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-48-0004	253020-46-044X-R01	2	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-48-0007	253020-46-049X-R02	4	EN-AW5083	HAAS Mill
	23-17-0162	027615-46-157X-R02	4	EN-AW5083	HAAS Mill

No que diz respeito às ferramentas utilizadas, foi adotado o seguinte procedimento: todas as ferramentas necessárias foram inicialmente preparadas e organizadas como ilustrado na Tabela 50 e Tabela 51. Durante este processo, foi assegurado que nenhuma estação de ferramenta fosse repetida. Quando uma estação de ferramenta precisava ser reutilizada para operações subsequentes, as ferramentas correspondentes foram preparadas antecipadamente e cuidadosamente armazenadas no suporte designado na máquina permitindo uma troca mais rápida. A Figura 41 fornece uma representação visual clara de como as ferramentas foram organizadas e armazenadas, facilitando o rápido acesso e eficiente durante todo o ciclo de produção. Este método de preparação e organização das ferramentas só foi possível graças à implementação do algoritmo ROC, que permitiu uma listagem sistemática e planeada, com o objetivo específico de minimizar os tempos de *setup* e otimizar o uso eficiente dos recursos disponíveis na máquina.

*Tabela 50 - Lista de Ferramentas resultante da aplicação do algoritmo ROC para a máquina TR002*

<b>HAAS LATHE</b>	
<b>Ferramentas</b>	<b>Descrição da Ferramenta</b>
505	Broca de Pontear Ø2.5
808	Ferro de Sangrar
1111	Bar Puller
202	Broca de Ø4.7 Inox
909	Laminador M5
404,01	Ferro de Acabamento Alumínio
707,01	Broca de Ø5 Inox

Tabela 51 - Lista de Ferramentas resultante da aplicação do algoritmo ROC para a máquina FR008

<b>HAAS Mill - EN-AW 5083</b>	
<b>Ferramentas</b>	<b>Descrição da Ferramenta</b>
5	Fresa Ø10 ALU   HSM
1	Roca Ø63
3	Fresa Escariador Ø10 ALU
4	Fresa Ø16 ALU   HSM
2	Fresa Ø4 ALU
20	Probe OMP40 D6 L50
8,03	Broca de Ø4 MDI
7,02	Broca de Ø3.2 MDI
6,01	Fresa de Ponta Esferica Ø10 ALU
10,07	Mandril Ø4 H7 MDI
10,11	Fresa Ø3 ALU   HSM
18	Broca de Ø4.7 MDI
19	Laminador M5
11,01	Fresa Ø6 ALU   HSM
6	Broca de Ø2.5 MDI
9,08	Broca de Ø16
9,07	Broca de Ø10 MDI
16	Broca de Ø3.7 MDI
17	Laminador M4
8	Broca de Ø4.5 MDI
9,02	Broca de Ø5.5 MDI
14	Broca de Ø2.8 MDI
15	Laminador M3
8,01	Broca de Ø4.3 MDI
9,01	Broca de Ø5.3 MDI
10,12	Broca de Ø6 MDI
9	Broca de Ø5 MDI
11,03	Escariador Ø16.5 ALU
8,05	Broca de Ø6 Curta MDI
12	Broca de Ø2.3 MDI
13	Laminador M2.5
8,04	Broca de Ø5.9 Curta MDI
8,02	Broca de Ø4.2 MDI
9,06	Broca de Ø20
10,02	Fresa Ø2 ALU   HSM
6,03	Broca de Ø2.9 MDI
10,1	Mandril de Ø3 H7
21	Broca de Ø5.6 MDI
22	Laminador M6
7,04	Broca de Ø4.9 Curta MDI
10,05	Fresa de Chanfrar Ø10 x 60
9,03	Broca de Ø12 MDI
19,01	Cabeça Angular   Broca Ø 4.2
7,01	Broca de Ø3.4 MDI

Com os dados resultantes desta monitorização, conforme apresentados na Tabela 53 e Tabela 54, foi realizada uma análise com o objetivo de identificar possíveis áreas de melhoria e efetuar os ajustes necessários para a minimização dos *setups*. Este processo de análise envolveu a comparação entre dois métodos distintos de maquinação:

- *Maquinação sugerida pelo Operador*: Neste método, as peças foram maquinadas de acordo com uma sequência definida pelo operador, que escolheu a sequência que lhe pareceu a mais adequada. Esta escolha foi baseada em vários fatores, incluindo as ferramentas disponíveis na máquina no momento, as dimensões das peças e a complexidade de cada operação e a sua própria experiência. Este método reflete a prática atualmente em vigor na produção da Mecalbi.
- *Maquinação Sugerida pelo Método ROC*: Aqui, a sequência de maquinação das peças foi determinada pelo algoritmo *ROC*, visando maximizar a eficiência operacional ao ordenar as peças de acordo com critérios analíticos pré-estabelecidos.

Como mencionado anteriormente, a monitorização dos *tempos de setup* e dos *tempos de ciclo (Run Time)* dos programas CAM foi realizada utilizando a aplicação *SYSCNC*. Os tempos obtidos nesta fase estão ilustrados na Tabela 52. Para a obtenção dos tempos de cada programa CAM, o processo foi realizado da seguinte forma:

- *Tempos de setup*: O operador, ao iniciar a operação de *setup* do respetivo programa CAM, dá uma instrução à aplicação *SYSCNC* para começar a contabilização do *setup*. O tempo de *setup* inclui a preparação das ferramentas, a maquinação da primeira peça e os ajustes necessários até que a primeira peça esteja dentro das especificações. O tempo de execução (*Run Time*) da primeira peça é excluído.
- *Tempo de execução (Run Time)*: Obtido através de comunicação permanente entre a aplicação *SYSCNC* e o controlador da máquina CNC, que regista a duração do programa CAM.
- Tempo Total é obtido com base na seguinte equação:

$$\text{Tempo Total} = \text{tempo total de } \textit{setup} + (\text{tempo unitário de execução} \times \text{quantidade}) \quad (\text{Equação 5})$$

Tabela 52 - Exemplo dos tempos obtidos para comparação dos métodos *Maquinação Aleatória e Maquinação Sugerida pelo Método ROC*

Setup Time Minutos	Run Time Minutos	Total Time Minutos	Total Time Horas
2,71	1,62	46,45	00:46:27
3,76	0,57	19,15	00:19:09
6,65	1,47	27,20	00:27:12
11,20	1,38	27,76	00:27:46
5,59	0,28	8,95	00:08:57

Essa abordagem permitiu uma comparação detalhada entre o método atual e o método ROC, facilitando a identificação de ganhos de eficiência ou perdas, bem como possíveis áreas de melhoria nos processos de *setup* e produção.

Na máquina TR002, referente ao processo de torneamento, obteve-se um ganho de 37% quando não se contabiliza o tempo de preparação de ferramentas e acessórios antes do início do *setup*. Esse ganho foi possível graças à aplicação do algoritmo ROC, conforme ilustrado na Tabela 50. Com a inclusão do tempo de preparação, os ganhos reduzem-se a 28%, o que ainda representa uma melhoria considerável. A sequência sugerida pelo método ROC resulta em menos 34 minutos do que a prática atualmente em vigor na produção de peças da Mecalbi.

Na máquina FR008, referente ao processo de fresagem, foi alcançado um ganho de 16% quando o tempo de preparação de ferramentas e acessórios antes do início do *setup* não é contabilizado. Esse ganho foi obtido através da aplicação do algoritmo ROC, conforme ilustrado na Tabela 51. Ao incluir o tempo de preparação, os ganhos são reduzidos para 12%, o que ainda representa uma melhoria significativa. A sequência sugerida pelo método ROC resulta em uma redução de 83 minutos em comparação com a prática atualmente em vigor na produção de peças da Mecalbi.

Os dados recolhidos para a comparação entre o *método de Maquinação sugerida pelo operador* e o *método de Maquinação Sugerida pelo Método ROC* encontram-se apresentados nas Tabela 53 e Tabela 54. Essas tabelas fornecem uma visão detalhada dos tempos, permitindo uma análise abrangente de cada abordagem.

Como comentário final, referir que poderá ser possível reduções adicionais nos tempos de *setup* por aplicação do método ROC, se este além de agrupar as peças pelas ferramentas utilizadas em cada programa CAM, considerar também as dimensões das peças, pois este fator influencia significativamente os tempos de *setup*, nomeadamente no processo de torneamento associado à máquina TR002, onde é necessário ajustar os grampos de fixação conforme o diâmetro das peças.

Tabela 53 - Comparação dos dados recolhidos no processo de torneamento

<b>Sequência das peças definida pelo operador</b>			
<b>Projeto 217424 Pos: 2</b>			
Setup Time Minutos	Run Time Minutos	Total Time Minutos	Total Time Horas
92	12	333	05:32:44

<b>Método ROC</b>			
<b>Projeto 219224 Pos: 2</b>			
Setup Time Minutos	Run Time Minutos	Total Time Minutos	Total Time Horas
58	12	337	5:37:22
Tempo de preparação das ferramentas antes de começar a efetuar os setups:		7,98	00:07:59
Total:		345	5:45:20

Percentagem na redução do Setup Time	<b>37%</b>
Percentagem do Setup Time (Incluindo o tempo de preparação das ferramentas antes de começar a efetuar os setups)	<b>28%</b>

Os resultados apresentados na Tabela 53 indicam que, apesar da redução percentual no tempo de *setup*, ainda há uma significativa proporção de tempo dedicado aos *setups* em relação ao tempo de execução (*Run Time*). Na sequência das peças definida pelo operador, temos 12 minutos de *Run Time* e 92 minutos de *setup Time*, resultando em uma percentagem de 88% de *setup*. Em comparação, com a aplicação do Método ROC, mantêm-se os mesmos 12 minutos de *Run Time*, mas o *Setup Time* é reduzido para 58 minutos, resultando em uma percentagem de 83% de *setup*. Portanto, podemos concluir que, embora o tempo de preparação das máquinas tenha sido reduzido com o Método ROC, o tempo de *setup* ainda supera significativamente o tempo de execução na produção das peças.

Tabela 54 - Comparação dos dados recolhidos no processo de fresagem

<b>Sequência das peças definida pelo operador</b>			
<b>Projeto 217424 Pos: 1</b>			
Setup Time Minutos	Run Time Minutos	Total Time Minutos	Total Time Horas
529	272	2077	34:36:37

<b>Método ROC</b>			
<b>Projeto 219224 Pos: 1</b>			
Setup Time Minutos	Run Time Minutos	Total Time Minutos	Total Time Horas
445	272	1994	33:13:31
Tempo de preparação das ferramentas antes de começar a efetuar os setups:		19,53	00:19:32
Total:		2013	33:33:03

<b>Percentagem na redução do Setup Time</b>	<b>16%</b>
<b>Percentagem do Setup Time</b> (Incluindo o tempo de preparação das ferramentas antes de começar a efetuar os setups)	<b>12%</b>

Os resultados apresentados na Tabela 54 mostram que, apesar da redução percentual no tempo de *setup*, a proporção de tempo dedicado aos *setups* ainda é significativamente maior em comparação ao tempo de execução (*Run Time*). Na sequência das peças definida pelo operador, temos 272 minutos de *Run Time* e 529 minutos de *Setup Time*, o que resulta em uma percentagem de 66% de *setups*. Com a aplicação do Método ROC, o *Run Time* permanece em 272 minutos, mas o *Setup Time* foi reduzido para 445 minutos, resultando em uma percentagem de 62% para *setups*.

Assim, podemos afirmar que, embora o Método ROC tenha diminuído o tempo de preparação das máquinas, a média percentual dos tempos produtivos permanece em 28%, enquanto os tempos não produtivos correspondem a 72%. Isso destaca a necessidade contínua de otimização, pois o tempo de *setup* ainda representa a maior fração do tempo total.

## 6. Conclusões e Propostas de Trabalho Futuro

O presente capítulo apresenta as principais conclusões do trabalho realizado ao longo do estágio, refletindo sobre os objetivos alcançados e as aprendizagens adquiridas. Adicionalmente, são discutidas as limitações identificadas ao longo do projeto, proporcionando uma análise crítica dos desafios enfrentados. Por último, serão propostas diversas sugestões para trabalho futuro, com o intuito de dar continuidade à melhoria dos processos analisados e explorar novas oportunidades que possam beneficiar a empresa.

### 6.1. Conclusões

O presente trabalho aborda a implementação da Metodologia SMED - *Single Minute Exchange of Dies* no setor de maquinação de CNC da Mecalbi. O trabalho teve como objetivo principal melhorar os processos de maquinação, com ênfase na redução dos tempos de *setup* destas máquinas.

A produção em lotes de menores quantidades implementada pela Mecalbi, embora vantajosa em termos de flexibilidade e custos de posse de stock, coloca desafios relacionados com a maior diversidade de peças para maquinação e conseqüentemente maior necessidade de *setups*. Devido aos tempos de ciclo curtos, em resultado das menores quantidades a produzir, os operadores da maquinação de CNC nem sempre conseguem assistir adequadamente uma segunda máquina, resultando em paragens mais frequentes e mais longas destas. Para lidar com isto é necessário reduzir os *setups*, uma vez que correspondem a tempos não produtivos.

O estudo realizado teve assim por base a aplicação da metodologia SMED no setor de maquinação de CNC para reduzir os *setups*. Teve ainda por base a realização de uma análise *Make or Buy* de forma a identificar as peças que devem ser produzidas internamente e quais podem ser subcontratadas, como forma de melhor alocação dos recursos da empresa, e reduzir a sobrecarga do setor de maquinação. Neste âmbito, como na Mecalbi muitos dos produtos solicitados pelo cliente são personalizados, concluiu-se pela necessidade de recorrer mais ao processo aditivo, como impressão 3D, para prototipagem e produção de peças experimentais, otimizando a utilização dos recursos.

No âmbito aplicação da metodologia SMED foram identificadas diversas abordagens que podem ser implementadas pela empresa para reduzir os *setups*, tais como: (i) Troca da mesa de vácuo; (ii) Agrupamento de peças em famílias para maquinação. A implementação da metodologia SMED neste trabalho proporcionou melhorias significativas, tais como:

- Redução de 27% no tempo de *setup* com a solução desenvolvida para a troca entre mesa de vácuo e prensas.
- Redução de 16% nos tempos de *setup* no processo de fresagem, com aplicação do algoritmo de agrupamento.
- Redução de 37% nos tempos de *setup* no processo de torneamento, com aplicação do algoritmo de agrupamento.

Ainda assim, os tempos de *setup* continuam a consumir uma proporção significativa do tempo total de maquinação, representando cerca de 72%. Portanto, deve-se manter e intensificar o esforço de melhoria contínua, envolvendo aspetos tais como:

- *Padronização de peças e módulos para os equipamentos produzidos:* Identificar e utilizar partes existentes em múltiplos produtos pode resultar em ganhos consideráveis. A estratégia deve focar-se na criação de módulos padronizados que possam ser usados em diferentes equipamentos. Isso reduz a variedade de peças e módulos produzidos, com implicações nos custos de produção e fiabilidade dos mesmos, sem implicar limitar e variedade de produtos finas oferecidos ao cliente.
- *A área de Desenvolvimento dos equipamentos da Mecalbi:* Deve priorizar a padronização e a compatibilidade entre diferentes tipos de equipamentos e ferramentas. Essa abordagem envolve promover a simplificação das peças, com implicações na sua produção, e avaliar se realmente se está a produzir componentes que poderiam ser utilizados em outros produtos. É essencial questionar como projetar novos produtos de forma a minimizar a introdução de peças novas, sem comprometer a funcionalidade e os requisitos dos clientes.
- *Formação contínua dos operadores:* Garantir que os operadores estejam preparados para operar múltiplas máquinas com eficiência e segurança. Programas de formação e sensibilização focados em técnicas de *setup* rápido, manutenção preventiva e boas práticas de produção contribuirão para a formação de uma equipa altamente qualificada e versátil. Além disso, incluir a formação para lidar com o algoritmo ROC é essencial para uma correta aplicação das melhorias propostas.

Estas medidas podem melhorar a gestão de recursos e a eficiência da produção, alinhando-se aos objetivos de redução de custos.

## 6.2. Limitações do Estudo

A principais limitações do estudo resultam essencialmente da complexidade do sistema de produção em estudo, envolvendo uma diversidade de equipamentos (produtos) produzidos, de peças requeridas na sua produção, e de processos e materiais utilizados. Adicionalmente, a falta de uma base de dados unificada para os tempos de ciclo e de *setup* das peças maquinadas nas CNCs gerou dificuldades na recolha de dados para a realização do estudo. Outro desafio enfrentado foi na obtenção de dados consolidados. A ausência de uma base de dados centralizada com informação sobre os equipamentos, programas e ferramentas exigiu a recolha e consolidação manual de dados de diversas fontes, como listas de maquinação, presentes na secção dos anexos deste relatório e listas de ferramentas. Este processo, além de ser moroso e trabalhoso, pode levar a inconsistências e erros nas informações recolhidas.

Além destas dificuldades, existem limitações em termos da qualidade dos tempos disponíveis. Outro ponto crítico é a aplicação de monitorização de máquinas CNC, *SYSCNC* que, embora promissora para a recolha de dados de tempos de *setup* e de tempo de execução, ainda se encontra em fase de desenvolvimento e ajuste. A falta de fiabilidade nos dados recolhidos, limitou a sua utilização no estudo.

Para mitigar o impacto destas limitações, propõem-se as seguintes ações:

- Desenvolvimento de uma ferramenta automatizada para compilar dados de listas de maquinação, listas de ferramentas, tempos de *setup*, tempos de execução e outros relevantes, facilitando assim o processo de recolha de dados.
- Implementação de melhorias na aplicação *SYSCNC* tornará o sistema mais fiável na recolha dos dados, com mecanismos de validação e correção de imprecisões, garantindo a qualidade das informações utilizadas para a análise e otimização dos processos produtivos.

## 6.3. Propostas de Trabalho Futuro

Com base no trabalho realizado, são propostas as seguintes sugestões para estudos futuros:

- *Aperfeiçoamento do Algoritmo ROC*: Integrar as dimensões das peças no algoritmo ROC, além do agrupamento pelas ferramentas utilizadas em cada programa CAM. A inclusão das dimensões pode impactar significativamente os tempos de *setup*, e ajustar o algoritmo para considerar esse fator pode contribuir para reduzir mais os tempos de *setup*.

- *Comparação com outros Algoritmos:* Explorar e aplicar diferentes algoritmos, para comparar os resultados obtidos com as abordagens atuais. A análise comparativa pode revelar qual algoritmo oferece melhores resultados em termos de eficiência e redução dos tempos de *setup*, permitindo uma escolha mais informada da metodologia a ser adotada.
- *Análise de Dados e Indicadores de Desempenho:* Monitorizar e analisar dados sobre os tempos de setup e outros indicadores de desempenho. Utilizar essas informações para identificar tendências e áreas de melhoria.
- *Pesquisa sobre Sustentabilidade e Redução de Resíduos:* Investigar como práticas de padronização e otimização de processos podem contribuir para a redução de resíduos e impactos ambientais. Avaliar a sustentabilidade das mudanças implementadas e propor melhorias adicionais para aumentar a eficiência ambiental.

Essas abordagens podem oferecer novas perspectivas e oportunidades para otimizar os processos de produção, reduzindo os tempos de *setup* e melhorando a eficácia geral dos métodos utilizados.

## 6.4. Considerações Finais

A comunicação, a monitorização e a inovação são pilares para o sucesso. O diálogo aberto e transparente entre todos os envolvidos, desde a equipa responsável até aos operadores das máquinas, é fundamental para garantir o comprometimento e a colaboração de todos na melhoria contínua. A monitorização constante dos resultados das ações de otimização e a avaliação periódica da efetividade das medidas implementadas são essenciais para identificar áreas de melhoria e realizar ajustes quando necessário. Uma cultura que incentive a procura por novas soluções e tecnologias, fomentando a criatividade e a experimentação de novos métodos, impulsionará a Mecalbi rumo à excelência na produção e à competitividade no mercado.

Ao abraçar estes desafios como oportunidades e seguir algumas das diretrizes aqui propostas, a Mecalbi trilhará um caminho árduo, mas importante para alcançar a excelência operacional.

## Referências bibliográficas

- Beata Oleksiak, Barbara Ciecńska, Piotr Ołów, Małgorzata Hordyńska (2023). "Analysis of the Possibility of Introducing the Reduction of Changeover Time of Selected CNC Machines Using the SMED Method".
- Black, J. T. (1998). "O projeto da fábrica com futuro". Porto Alegre: Bookman.
- Bonney, M. C., Zhang, Z., Head, M. A., Tien, C. C., & Barson, R. J. (1999). "Are push and pull systems really so different?". *International Journal of Production Economics*, 59, 5364.
- Burbidge, J. L. (1963). "Production flow analysis". *Production Engineer*, 42(12), 742752.
- Chan, H. M., & Milner, D. A. (1982). "Direct Clustering Algorithm for Group Technology". *Journal of Manufacturing Systems*, 1(1), 6575.
- Chandrasekharan, M. P., & Rajagopalan, R. (1986). "MODROC: an extension of rank order clustering for group technology". *International Journal of Production Research*, 24(5), 12211233.
- Citeve, (2012). "Ferramenta de Desenvolvimento e aplicação do Lean Thinking no STV", 124.
- Correia, D., Silva, F. J., Gouveia, R. M., Pereira, T., & Ferreira, L. P. (2018). "Improving manual assembly lines devoted to complex electronic devices by applying Lean tools". *Procedia Manufacturing*, 17, 663671.
- Diego Aloísio de Freitas Menecucci, (2023). "Reduction in setup time for the POLO part on the MAUSA B CNC machine".
- Feng, P. P., & Ballard, G. (2008). "Standard Work from a Lean Theory Perspective". *International Group for Lean Construction*, 111.
- Garza, T. V., Villarreal, B., Cabrera, A., Ceballos, L., Muraira, E., Rodriguez, D., & Tamez, L. (2012). "A Standardized Work Methodology to Increase Manufacturing Productivity". *The 1st. Industrial and Systems Engineering World Conference Proceedings*, 19.
- Gest, G., Culley, S. J., McIntosh, R. I., Mileham, A. R., & Owen, G. W. (1995). "Review of fast tool change systems". *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 8(3), 205210.
- Joines, J. A., & King, J. R. (1998). "An enhanced rank order clustering algorithm with multiple criteria". *International Journal of Production Research*, 36(11), 29352957.

King, J. R. (1980). "Machine component grouping in production flow analysis: an approach using a rank order clustering algorithm". *International Journal of Production Research*, 18(2), 213232.

Lander, E., & Liker, J. K. (2007). "The Toyota Production System and art: Making highly customized and creative products the Toyota way". *International Journal of Production Research*, 45(16), 36813698.

<https://doi.org/10.1080/00207540701223519>

Liker, J. K. (2004). "The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer". McGrawHill.

Liker, J. K., & Meier, D. (2006). "The Toyota Way Fieldbook: A practical guide for implementing Toyota's 4 Ps". McGrawHill.

Lima, P. R. B., & Martins, V. W. B. (2017). "Sistema Lean para otimização de recursos em uma indústria moveleira: estudo de caso com foco nas ferramentas da produção enxuta". *Revisão Gestão Industrial*, 13(3), 112140.

McIntosh, R., Owen, G., Culley, S., & Mileham, T. (2007). "Changeover improvement: Reinterpreting Shingo's 'SMED' methodology". *IEEE Transactions on Engineering Management*, 54(1), 98111.

<https://doi.org/10.1109/TEM.2006.889070>

McGrawHill. (2000). "Lean Manufacturing Principles Guide: A Guide to Shipbuilding". Jeffrey K. Liker & T. Lamb.

Mecalbi, (2024a), "Manual Mecalbi, 2020", Mod.0001.PT-A

Mecalbi, (2024b), "Código de Conduta", Mod.0139.PT-B, página da [Internet](#)

Mecalbi, (2024c), página da [Internet](#)

Mecalbi, (2024d), Datasheet [STCS - EVO500](#)

Mecalbi, (2024e), Datasheet [STCS - EVO500TS](#)

Mecalbi, (2024f), Datasheet [STCS - VMir com Single Fixture](#)

Mecalbi, (2024g), Datasheet [STCS - VMir Plus com Single Fixture](#)

Mecalbi, (2024h), Datasheet [STCS - VMir Plus UV](#)

Nexa 3D, (2024a), página da [Internet](#)

Nexa 3D, (2024b), [Simulador de Custos](#)

Ohno, T. (1988). "Toyota Production System: Beyond LargeScale Production". Tokyo: Original Japanese.

Okpala, C. C. (2014). "Tackling Muda – The Inherent Wastes in Manufacturing Processes". *International Journal of Advanced Engineering Technology*, 5(6), 16.

Okpala, C. C., Ogbodo, I., Igbokwe, N., & Ogbodo, E. (2020). "The Implementation of Kaizen Manufacturing Techniques: A Case of a Tissue Manufacturing Company". *IJESC*, 10(5), 213.

Patel Chintan Kumar, (2012). "Set up Reduction – A perfect way for productivity improvement of computer numerical control (CNC) setup in manufacturing company".

Roberto Donizeti Leme, Andréa Oliveira Nunes, (2018). "Creating value with less impact: Lean, green and eco-efficiency in a metalworking industry towards a cleaner production".

Rodrigo Borges Ribeiro, José De Souza, Alexandre Beluco, Luciano Volcanoglo Biehl, Jorge Luiz Braz Medeiros, Frederico Sporket, Elton Gimenez Rossini & Fábio Augusto Dornelles Do Amaral, (2019). "Application of the singleminute exchange of die system to the CNC sector of a shoe mold company".

S. Karthikeyan, M. SaravananK, Ganesh, (2012). "GT Machine Cell Formation Problem in Scheduling for Cellular Manufacturing System Using Meta-Heuristic Method".

Selim, S. Z., & Askin, R. G. (1991). "A comprehensive survey of models and algorithms for group technology". *Computers & Industrial Engineering*, 21(3), 309329.

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

Shingo, S., & Dillon, A. P. (1989). "A Study of the Toyota Production System From an Industrial Engineering Viewpoint". Revised Edition, 1153.

Siyu Chen, Shuhai Fan, Jiawei Xiong, Wenqian Zhang, (2016). "The Design of JMP/SAP Based Six Sigma Management System and its Application in SMED".

Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F., & Uchikawa, S. (1977). "Toyota techniques to production systems and Kanban System: Materialization of justintime and respect for human systems". *The International Journal of Production Research*, 113.

Sundar, R., Balaji, A. N., & Kumar, R. M. S. (2014). "A review on Lean manufacturing implementation techniques". *Procedia Engineering*, 97, 18751885.

Thürer, M., Tomašević, I., & Stevenson, M. (2016). "On the Meaning of 'Waste': Review and Definition".

Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). "The Machine That Changed the World". Free Press.

Zarbock, T., Lehmann, F., & Fellendorf, J. (2006). "Holistic Cycle Time Analysis and Improvement Project within a 200mm Lithography Iline Production Area". *Advanced Semiconductor Manufacturing Conference*.

## **Anexos A - Lista de maquinação do equipamento STCS-EVO500**







# Lista de Maquinação / Maquinación Bill of Materials

Mod.0073.PT-C



<b>Projecto:</b>	<b>Posição:</b>	<b>Qt.:</b>	<b>Autor:</b> Roberto Nogueira	<b>Referência do assembly principal:</b> 31712-47-001X-R26
<b>Descrição:</b> STCS-evo500	<b>Referência Lista:</b> 31712-51-001-R56		<b>Data:</b> 2023-01-26 13:49:24	

Foto Photo	Ref. Mecalbi da Peça Mecalbi Piece Ref.	Ref. Desenho Drawing Ref.	Qt. Qty.	Tipo Material Material	Ref. Mecalbi Materia Prima Mecalbi Ref. Raw Material	Comp. Length	Larg. Width	Materia Prima Raw Material	Maquina - Programas Machine - Programs	Acabamento Finish	Observações Observations
	23-07-0047	31712-46-014X-R05	4,00	AISI 304	<b>Principal</b> 01-01-0002	0	0	<b>Principal</b> Dummy Matéria Prima (Não Editar)	HAAS Mill - O30170	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b>  Entregue pelos aprovisionamentos
	23-07-0005	31712-46-031X-R06	2,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0007 <b>Bruto</b> 04-37-0262 (Materia Prima- 026/01- 03/01H)	135	21	<b>Principal</b> AL 5083 - 20 mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 135X21X20mm	HAAS Mill - O07798, O07799, O07800	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b>  1 Bruto Produz 6 Peças
	23-07-0001	31712-46-017A-R13	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0008 <b>Bruto</b> 04-37-0149 (Materia Prima- 026/01- 03/01G)	122	41	<b>Principal</b> AL 5083 - 15mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 122X41X15mm	HAAS Mill - O08931, O08932, O08933, O08934	Bruto	
	23-07-0002	31712-46-017B-R13	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0008 <b>Bruto</b> 04-37-0149 (Materia Prima- 026/01- 03/01G)	122	41	<b>Principal</b> AL 5083 - 15mm <b>Secundário</b> AL 5083 - 35 mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 122X41X15mm	HAAS Mill - O08935, O08936, O08937	Bruto	
	23-07-0003	31712-46-017C-R13	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0008 <b>Secundário</b> 04-01-0009 <b>Bruto</b> 04-37-0149 (Materia Prima- 026/01- 03/01G)	122	41	<b>Principal</b> AL 5083 - 15mm <b>Secundário</b> AL 5083 - 35 mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 122X41X15mm	HAAS Mill - O08935, O08936, O08937	Bruto	
	23-07-0004	31712-46-017D-R13	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0008 <b>Secundário</b> 04-01-0009 <b>Bruto</b> 04-37-0149 (Materia Prima- 026/01- 03/01G)	122	41	<b>Principal</b> AL 5083 - 15mm <b>Secundário</b> AL 5083 - 35 mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 122X41X15mm	HAAS Mill - O08935, O08936, O08937	Bruto	

<b>Foto</b> <i>Photo</i>	<b>Ref. Mecalbi da Peça</b> <i>Mecalbi Piece Ref.</i>	<b>Ref. Desenho</b> <i>Drawing Ref.</i>	<b>Qt.</b> <i>Qty.</i>	<b>TipoMaterial</b> <i>Material</i>	<b>Ref. Mecalbi Materia Prima</b> <i>Mecalbi Ref. RawMaterial</i>	<b>Comp.</b> <i>Length</i>	<b>Larg.</b> <i>Width</i>	<b>Materia Prima</b> <i>Raw Material</i>	<b>Maquina - Programas</b> <i>Machine - Programs</i>	<b>Acabamento</b> <i>Finish</i>	<b>Observações</b> <i>Observations</i>
	23-07-0011	31712-46-118X-R03	2,00	AISI 304	<b>Principal</b> 04-06-0012	20	0	<b>Principal</b> AISI 304 - Ø14	EMCO Turn 155 - O1425, O1426 HAAS Lathe - O00349, O00350	Bruto	
	23-07-0006	31712-46-057X-R05	4,00	AISI 304	<b>Principal</b> 04-06-0011	40	0	<b>Principal</b> AISI 304 - Ø5	EMCO Turn 155 - O1323, O1324 HAAS Lathe - O00196, O00197	Bruto	
	23-07-0007	31712-46-033A-R12	2,00	EN-AW 6082 T6	<b>Principal</b> 04-02-0004	20	0	<b>Principal</b> AW6082 - Ø8 (Calibrado h9)	EMCO Turn 155 - O1401 HAAS Lathe - O00332	Bruto	
	23-07-0008	31712-46-033B-R12	2,00	EN-AW 6082 T6	<b>Principal</b> 04-02-0004	15	0	<b>Principal</b> AW6082 - Ø8 (Calibrado h9)	HAAS Lathe - O00333 EMCO Turn 155 - O1402	Bruto	
	23-07-0009	31712-46-033C-R12	2,00	EN-AW 6082 T6	<b>Principal</b> 04-02-0004	25	0	<b>Principal</b> AW6082 - Ø8 (Calibrado h9)	EMCO Turn 155 - O1403 HAAS Lathe - O00334	Bruto	
	23-07-0010	31712-46-120X-R02	4,00	PTFE	<b>Principal</b> 04-14-0016	10	0	<b>Principal</b> PTFE - Ø15	EMCO Turn 155 - O1427 HAAS Lathe - O00351	Bruto	







## **Anexos B - Lista de maquinação do equipamento STCS-EVO500TS**









# Lista de Maquinação / Maquinación Bill of Materials

Mod.0073.PT-C



<b>Projecto:</b>	<b>Posição:</b>	<b>Qt.:</b>	<b>Autor:</b> Roberto Nogueira	<b>Referência do assembly principal:</b> 077715-47-001A-R15
<b>Descrição:</b> STCS-evo500 TS	<b>Referência Lista:</b> 077715-51-001-R28		<b>Data:</b> 2023-01-26 16:12:35	

Foto Photo	Ref. Mecalbi da Peça Mecalbi Piece Ref.	Ref. Desenho Drawing Ref.	Qt. Qty.	Tipo Material Material	Ref. Mecalbi Materia Prima Mecalbi Ref. Raw Material	Comp. Length	Larg. Width	Materia Prima Raw Material	Maquina - Programas Machine - Programs	Acabamento Finish	Observações Observations
	23-07-0007	31712-46-033A-R12	2,00	EN-AW 6082 T6	<b>Principal</b> 04-02-0004	20	0	<b>Principal</b> AW6082 - Ø8 (Calibrado h9)	EMCO Turn 155 - O1401 HAAS Lathe - O00332	Bruto	
	23-07-0008	31712-46-033B-R12	2,00	EN-AW 6082 T6	<b>Principal</b> 04-02-0004	15	0	<b>Principal</b> AW6082 - Ø8 (Calibrado h9)	HAAS Lathe - O00333 EMCO Turn 155 - O1402	Bruto	
	23-07-0009	31712-46-033C-R12	2,00	EN-AW 6082 T6	<b>Principal</b> 04-02-0004	25	0	<b>Principal</b> AW6082 - Ø8 (Calibrado h9)	EMCO Turn 155 - O1403 HAAS Lathe - O00334	Bruto	
	23-19-0001	077715-46-013X-R01	1,00	POM C - Black	<b>Principal</b> 04-11-0005	165	31	<b>Principal</b> POM C - 15 Preto	HAAS Mill - O07999, O08000	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b>  Produz 4peças de cada vez
	23-07-0011	31712-46-118X-R03	2,00	AISI 304	<b>Principal</b> 04-06-0012	20	0	<b>Principal</b> AISI 304 - Ø14	EMCO Turn 155 - O1425, O1426 HAAS Lathe - O00349, O00350	Bruto	
	23-07-0005	31712-46-031X-R06	2,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0007 <b>Bruto</b> 04-37-0262 (Materia Prima- 026/01- 03/01H)	135	21	<b>Principal</b> AL 5083 - 20 mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 135X21X20mm	HAAS Mill - O07798, O07799, O07800	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b>  1 Bruto Produz 6 Peças

<b>Foto</b> <i>Photo</i>	<b>Ref. Mecalbi da Peça</b> <i>Mecalbi Piece Ref.</i>	<b>Ref. Desenho</b> <i>Drawing Ref.</i>	<b>Qt.</b> <i>Qty.</i>	<b>TipoMaterial</b> <i>Material</i>	<b>Ref. Mecalbi Materia Prima</b> <i>Mecalbi Ref. RawMaterial</i>	<b>Comp.</b> <i>Length</i>	<b>Larg.</b> <i>Width</i>	<b>Materia Prima</b> <i>Raw Material</i>	<b>Maquina - Programas</b> <i>Machine - Programs</i>	<b>Acabamento</b> <i>Finish</i>	<b>Observações</b> <i>Observations</i>
	23-19-0014	077715-46-038X-R03	4,00	POM C - Black	<b>Principal</b> 04-12-0003	10	0	<b>Principal</b> POM C - Ø16 mm (PRETO)	EMCO Turn 155 - O1862 HAAS Lathe - O02386	Bruto	
	23-07-0006	31712-46-057X-R05	4,00	AISI 304	<b>Principal</b> 04-06-0011	40	0	<b>Principal</b> AISI 304 - Ø5	EMCO Turn 155 - O1323, O1324 HAAS Lathe - O00196, O00197	Bruto	
	23-07-0047	31712-46-014X-R05	4,00	AISI 304	<b>Principal</b> 01-01-0002	0	0	<b>Principal</b> Dummy Matéria Prima (Não Editar)	HAAS Mill - O30170	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b> Entregue pelos aprovisionamentos
	23-07-0001	31712-46-017A-R13	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0008 <b>Bruto</b> 04-37-0149 <i>(Materia Prima-026/01-03/01G)</i>	122	41	<b>Principal</b> AL 5083 - 15mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 122X41X15mm	HAAS Mill - O08931, O08932, O08933, O08934	Bruto	
	23-07-0002	31712-46-017B-R13	1,00	EN-AW 5083							
	23-07-0003	31712-46-017C-R13	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0008 <b>Secundário</b> 04-01-0009 <b>Bruto</b> 04-37-0149 <i>(Materia Prima-026/01-03/01G)</i>	122	41	<b>Principal</b> AL 5083 - 15mm <b>Secundário</b> AL 5083 - 35 mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 122X41X15mm	HAAS Mill - O08935, O08936, O08937	Bruto	
	23-07-0004	31712-46-017D-R13	1,00	EN-AW 5083							
	23-07-0010	31712-46-120X-R02	4,00	PTFE	<b>Principal</b> 04-14-0016	10	0	<b>Principal</b> PTFE - Ø15	EMCO Turn 155 - O1427 HAAS Lathe - O00351	Bruto	

## **Anexos C - Lista de maquinação do equipamento STCS-VMir**

# Lista de Maquinação / Maquinación Bill of Materials

Mod.0073.PT-C



<b>Projecto:</b>	<b>Posição:</b>	<b>Qt.:</b>	<b>Autor:</b> João André	<b>Referência do assembly principal:</b> 027615-47-001-R23
<b>Descrição:</b> STCS-VMir	<b>Referência Lista:</b> 027615-51-001-R51		<b>Data:</b> 2023-12-06 17:11:58	

Foto Photo	Ref. Mecalbi da Peça Mecalbi Piece Ref.	Ref. Desenho Drawing Ref.	Qt. Qty.	Tipo Material Material	Ref. Mecalbi Materia Prima Mecalbi Ref. Raw Material	Comp. Length	Larg. Width	Materia Prima Raw Material	Maquina - Programas Machine - Programs	Acabamento Finish	Observações Observations
	23-17-0208	027615-46-005X-R08	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0021	145	105	<b>Principal</b> AL 5083 - 4mm	HAAS Mill - O51034, O51035, O51036, O51037	Bruto	
	24-23-0141	171516-46-004X-R14	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0014 <b>Bruto</b> 04-37-0057 (Materia Prima- 027/01- 03/01A)	470	400	<b>Principal</b> Alca 5 - 10mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083 Rectificado: 470X400X10mm	HAAS Mill - O54526, O54527	Bruto	
	24-23-0142	171516-46-006X-R10	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0013 <b>Bruto</b> 04-37-0020 (Materia Prima- 019/01- 02/01C)	275	185	<b>Principal</b> Alca 5 - 8mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083 Rectificado: 275X185X8mm	HAAS Mill - O54528, O54529, O54530, O54531	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b>  Contém apertos no gabarito
	24-23-0143	171516-46-007X-R06	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0008 <b>Bruto</b> 04-37-0088 (Materia Prima- 022/01- 03/01F)	46	35	<b>Principal</b> AL 5083 - 15mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 46X35X15mm	HAAS Mill - O55939, O55940, O55941	Bruto	













<b>Foto</b> <i>Photo</i>	<b>Ref. Mecalbi da Peça</b> <i>Mecalbi Piece Ref.</i>	<b>Ref. Desenho</b> <i>Drawing Ref.</i>	<b>Qt.</b> <i>Qty.</i>	<b>TipoMaterial</b> <i>Material</i>	<b>Ref. Mecalbi Materia Prima</b> <i>Mecalbi Ref. RawMaterial</i>	<b>Comp.</b> <i>Length</i>	<b>Larg.</b> <i>Width</i>	<b>Materia Prima</b> <i>Raw Material</i>	<b>Maquina - Programas</b> <i>Machine - Programs</i>	<b>Acabamento</b> <i>Finish</i>	<b>Observações</b> <i>Observations</i>
	24-23-0144	171516-46-009X-R05	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0008 <b>Bruto</b> 04-37-0141 <i>(Materia Prima-023/01-01/01C)</i>	105	45	<b>Principal</b> AL 5083 - 15mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 105X45X15mm	HAAS Mill - O54535, O54536	Bruto	
	23-25-0125	171516-46-011X-R04	2,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0012 <b>Bruto</b> 04-37-0391 <i>(Materia Prima-034/01-04/01A)</i>	360	45	<b>Principal</b> AL 5083 - 25mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 360X45X25mm	HAAS Mill - O32677, O32678	Bruto	
	23-25-0126	171516-46-020X-R04	4,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0007 <b>Bruto</b> 04-37-0251 <i>(Materia Prima-023/01-01/01E)</i>	118	25	<b>Principal</b> AL 5083 - 20 mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 118X25X20mm	HAAS Mill - O32679, O32680, O32681	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b>  Faz duas peÇas de cada bruto
	23-25-0087	171516-46-025X-R03	2,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0008 <b>Bruto</b> 04-37-0501 <i>(Materia Prima-023/01-01/01D)</i>	141	35	<b>Principal</b> AL 5083 - 15mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 141X35X15	HAAS Mill - O57573, O57574, O57575	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b>  1 bruto faz 5 peÇas
	23-25-0041	171516-46-028X-R02	2,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0007 <b>Bruto</b> 04-37-0278 <i>(Materia Prima-022/01-04/01A)</i>	161	35	<b>Principal</b> AL 5083 - 20 mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 161X35X20mm	HAAS Mill - O22673, O22674, O22675	Bruto	
	23-17-0230	027615-46-113X-R02	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0007 <b>Bruto</b> 04-37-0223 <i>(Materia Prima-022/01-03/01G)</i>	80	73	<b>Principal</b> AL 5083 - 20 mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 80X73X20mm	HAAS Mill - O54570, O54571, O54572, O54573, O54574	Bruto	

Foto Photo	Ref. Mecalbi da Peça Mecalbi Piece Ref.	Ref. Desenho Drawing Ref.	Qt. Qty.	TipoMaterial Material	Ref. Mecalbi Materia Prima Mecalbi Ref. RawMaterial	Comp. Length	Larg. Width	Materia Prima Raw Material	Maquina - Programas Machine - Programs	Acabamento Finish	Observações Observations
	23-25-0084	171516-46-024X-R02	2,00	Brass	Principal 04-04-0012	145	0	Principal Varão hexagonal 13mm entre faces, latão	EMCO Turn 155 - O1742, O1743 HAAS Lathe - O02340	Bruto	
	23-17-0131	027615-46-002X-R08	8,00	EN-AW 6082 T6	Principal 04-02-0006	100	0	Principal AW6082 - Ø10 (Calibrado h9)	HAAS Mill - O31330 HAAS Lathe - O01779	Bruto	
	23-25-0112	171516-46-017X-R04	4,00	EN-AW 6082 T6	Principal 04-02-0006	100	0	Principal AW6082 - Ø10 (Calibrado h9)	HAAS Mill - O31356 HAAS Lathe - O01780	Bruto	
	23-25-0046	171516-46-048X-R01	2,00	-	Principal 01-01-0002	0	0	Principal Dummy Matéria Prima (Não Editar)	HAAS Mill - O23491	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b> Entregue pelos aproveitamentos
	23-25-0207	171516-46-022X-R03	4,00	EN-AW 5083	Principal 04-01-0001 Bruto 04-37-0424 (Materia Prima- 022/01- 02/01A)	161	35	Principal AL 5083 - 30mm Bruto EN-AW 5083: 161X35X30mm	HAAS Mill - O51944, O51945, O51946, O65276	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b> 1 Bruto Faz 4 Peças Contem programa para UMC
	23-25-0029	171516-46-018X-R02	4,00	Brass	Principal 04-04-0013	10	0	Principal Varão hexagonal 10mm entre faces, latão	EMCO Turn 155 - O1789 HAAS Lathe - O02030	Bruto	





## **Anexos D - Lista de maquinação da Opção Single Fixture do equipamento STCS-VMir**







# Lista de Maquinação / Maquinación Bill of Materials

Mod.0073.PT-C



<b>Projecto:</b>	<b>Posição:</b>	<b>Qt.:</b>	<b>Autor:</b> Nídia Camilo	<b>Referência do assembly principal:</b> 027615-47-001A/B-R21
<b>Descrição:</b> STCS-Vmir Single fixture system	<b>Referência Lista:</b> 027615-51-011-R08		<b>Data:</b> 2023-09-27 09:47:18	

Foto Photo	Ref. Mecalbi da Peça Mecalbi Piece Ref.	Ref. Desenho Drawing Ref.	Qt. Qty.	Tipo Material Material	Ref. Mecalbi Materia Prima Mecalbi Ref. Raw Material	Comp. Length	Larg. Width	Materia Prima Raw Material	Maquina - Programas Machine - Programs	Acabamento Finish	Observações Observations
	23-17-0160	027615-46-155X-R02	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0007 <b>Bruto</b> 04-37-0217 (Materia Prima- 022/01- 03/01D)	75	20	<b>Principal</b> AL 5083 - 20 mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 75X20X20mm	HAAS Mill - O36375, O36376, O36377, O36378, O36379	Bruto	
	23-17-0162	027615-46-157X-R02	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0008 <b>Bruto</b> 04-37-0082 (Materia Prima- 037/01- 02/01L)	40	35	<b>Principal</b> AL 5083 - 15mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 40X35X15mm	HAAS Mill - O36380, O36381, O36382	Bruto	
	23-17-0159	027615-46-154X-R01	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0018	85	30	<b>Principal</b> AW 6082-T6 2 mm	HAAS Mill - O34873, O34874, O34875	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b>  um bruto produz 2 peças
	23-17-0206	027615-46-003B-R12	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0008 <b>Bruto</b> 04-37-0165 (Materia Prima- 022/01- 02/01B)	170	126	<b>Principal</b> AL 5083 - 15mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 170X126X15mm	HAAS Mill - O50801, O50802, O50803	Bruto	

<b>Foto</b> <i>Photo</i>	<b>Ref. Mecalbi da Peça</b> <i>Mecalbi Piece Ref.</i>	<b>Ref. Desenho</b> <i>Drawing Ref.</i>	<b>Qt.</b> <i>Qty.</i>	<b>TipoMaterial</b> <i>Material</i>	<b>Ref. Mecalbi Materia Prima</b> <i>Mecalbi Ref. RawMaterial</i>	<b>Comp.</b> <i>Length</i>	<b>Larg.</b> <i>Width</i>	<b>Materia Prima</b> <i>Raw Material</i>	<b>Maquina - Programas</b> <i>Machine - Programs</i>	<b>Acabamento</b> <i>Finish</i>	<b>Observações</b> <i>Observations</i>
	23-17-0224	027615-46-143B-R05	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0007 <b>Bruto</b> 04-37-0294 <i>(Materia Prima-022/01-01/01A)</i>	180	96	<b>Principal</b> AL 5083 - 20 mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 180X96X20mm	HAAS Mill - O52089, O52090, O52091, O52092	Bruto	
	23-25-0199	171516-46-019X-R03	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0002 <b>Bruto</b> 04-37-0500 <i>(Materia Prima-026/01-03/01I)</i>	143	25	<b>Principal</b> AL 5083 - 10mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 143X25X10	HAAS Mill - O50355, O50356, O50357, O57570, O57571, O57572	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b>  1 bruto faz 6 peças
	23-17-0207	027615-46-003C-R12	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0007 <b>Bruto</b> 04-37-0286 <i>(Materia Prima-022/01-02/01C)</i>	170	126	<b>Principal</b> AL 5083 - 20 mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 170X126X20mm	HAAS Mill - O50812, O50813, O50814, O50815	Bruto	
	23-25-0225	171516-46-030X-R04	2,00	Alumínio	<b>Principal</b> 08-24-0039	145	0	<b>Principal</b> Calha perfil CM83 1MT	HAAS Mill - O51958	Bruto	
	23-22-0113	099716-46-092X-R01	4,00	POM C - Black	<b>Principal</b> 04-11-0004 <b>Secundário</b> 04-30-0003	140	21	<b>Principal</b> POM C - 30 Preto <b>Secundário</b> Delrin Negro 1-1/2 (38.1 mm)	HAAS Mill - O34324, O34325	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b>  Produz 7 peças do mesmo Bruto
	23-17-0223	027615-46-143A-R05	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0007 <b>Bruto</b> 04-37-0294 <i>(Materia Prima-022/01-01/01A)</i>	180	96	<b>Principal</b> AL 5083 - 20 mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 180X96X20mm	HAAS Mill - O52085, O52086, O52087, O52088	Bruto	

## **Anexos E - Lista de maquinação do equipamento STCS-VMir Plus**

# Lista de Maquinação / Maquinación Bill of Materials

Mod.0073.PT-C



<b>Projecto:</b>	<b>Posição:</b>	<b>Qt.:</b>	<b>Autor:</b> João André	<b>Referência do assembly principal:</b> 171516-47-001-R27
<b>Descrição:</b> STCS-VMir+	<b>Referência Lista:</b> 171516-51-001-R44		<b>Data:</b> 2023-12-07 12:31:26	

Foto Photo	Ref. Mecalbi da Peça Mecalbi Piece Ref.	Ref. Desenho Drawing Ref.	Qt. Qty.	Tipo Material Material	Ref. Mecalbi Materia Prima Mecalbi Ref. Raw Material	Comp. Length	Larg. Width	Materia Prima Raw Material	Maquina - Programas Machine - Programs	Acabamento Finish	Observações Observations
	24-23-0141	171516-46-004X-R14	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0014 <b>Bruto</b> 04-37-0057 (Materia Prima- 027/01- 03/01A)	470	400	<b>Principal</b> Alca 5 - 10mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083 Rectificado: 470X400X10mm	HAAS Mill - O54526, O54527	Bruto	
	23-25-0200	171516-46-005X-R06	1,00	Alumínio	<b>Principal</b> 04-01-0021	145	105	<b>Principal</b> AL 5083 - 4mm	HAAS Mill - O50335, O50336, O50337	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b> Contém apertos no gabarito
	24-23-0142	171516-46-006X-R10	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0013 <b>Bruto</b> 04-37-0020 (Materia Prima- 019/01- 02/01C)	275	185	<b>Principal</b> Alca 5 - 8mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083 Rectificado: 275X185X8mm	HAAS Mill - O54528, O54529, O54530, O54531	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b> Contém apertos no gabarito
	24-23-0143	171516-46-007X-R06	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0008 <b>Bruto</b> 04-37-0088 (Materia Prima- 022/01- 03/01F)	46	35	<b>Principal</b> AL 5083 - 15mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 46X35X15mm	HAAS Mill - O55939, O55940, O55941	Bruto	
















<b>Foto</b> <i>Photo</i>	<b>Ref. Mecalbi</b> <i>da Peça</i> <b>Mecalbi</b> <i>Piece Ref.</i>	<b>Ref. Desenho</b> <i>Drawing Ref.</i>	<b>Qt.</b> <i>Qty.</i>	<b>TipoMaterial</b> <i>Material</i>	<b>Ref. Mecalbi</b> <b>Materia</b> <b>Prima</b> <i>Mecalbi Ref.</i> <b>RawMaterial</b>	<b>Comp.</b> <i>Length</i>	<b>Larg.</b> <i>Width</i>	<b>Materia Prima</b> <i>Raw Material</i>	<b>Maquina - Programas</b> <i>Machine - Programs</i>	<b>Acabamento</b> <i>Finish</i>	<b>Observações</b> <i>Observations</i>
	24-23-0144	171516-46-009X-R05	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0008 <b>Bruto</b> 04-37-0141 <i>(Materia</i> <i>Prima-</i> <i>023/01-</i> <i>01/01C)</i>	105	45	<b>Principal</b> AL 5083 - 15mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 105X45X15mm	HAAS Mill - O54535, O54536	Bruto	
	23-25-0125	171516-46-011X-R04	2,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0012 <b>Bruto</b> 04-37-0391 <i>(Materia</i> <i>Prima-</i> <i>034/01-</i> <i>04/01A)</i>	360	45	<b>Principal</b> AL 5083 - 25mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 360X45X25mm	HAAS Mill - O32677, O32678	Bruto	
	23-25-0126	171516-46-020X-R04	4,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0007 <b>Bruto</b> 04-37-0251 <i>(Materia</i> <i>Prima-</i> <i>023/01-</i> <i>01/01E)</i>	118	25	<b>Principal</b> AL 5083 - 20 mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 118X25X20mm	HAAS Mill - O32679, O32680, O32681	Bruto	<b>Observações Lista</b> <b>Maq..</b>  Faz duas peÇas de cada bruto
	23-25-0207	171516-46-022X-R03	4,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0001 <b>Bruto</b> 04-37-0424 <i>(Materia</i> <i>Prima-</i> <i>022/01-</i> <i>02/01A)</i>	161	35	<b>Principal</b> AL 5083 - 30mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 161X35X30mm	HAAS Mill - O51944, O51945, O51946, O65276	Bruto	<b>Observações Lista</b> <b>Maq..</b>  1 Bruto Faz 4 Peças  Contem programa para UMC
	23-25-0087	171516-46-025X-R03	2,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0008 <b>Bruto</b> 04-37-0501 <i>(Materia</i> <i>Prima-</i> <i>023/01-</i> <i>01/01D)</i>	141	35	<b>Principal</b> AL 5083 - 15mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 141X35X15	HAAS Mill - O57573, O57574, O57575	Bruto	<b>Observações Lista</b> <b>Maq..</b>  1 bruto faz 5 peças
	23-25-0041	171516-46-028X-R02	2,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0007 <b>Bruto</b> 04-37-0278 <i>(Materia</i> <i>Prima-</i> <i>022/01-</i> <i>04/01A)</i>	161	35	<b>Principal</b> AL 5083 - 20 mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 161X35X20mm	HAAS Mill - O22673, O22674, O22675	Bruto	

Foto Photo	Ref. Mecalbi da Peça Mecalbi Piece Ref.	Ref. Desenho Drawing Ref.	Qt. Qty.	TipoMaterial Material	Ref. Mecalbi Materia Prima Mecalbi Ref. RawMaterial	Comp. Length	Larg. Width	Materia Prima Raw Material	Maquina - Programas Machine - Programs	Acabamento Finish	Observações Observations
	23-25-0159	171516-46-010X-R03	8,00	AISI 304	Principal 04-06-0003	18	0	Principal AISI 304 - Ø12	HAAS Lathe - O02084 EMCO Turn 155 - O1928	Bruto	
	23-25-0155	171516-46-077X-R01	8,00	AISI 304	Principal 04-06-0010	25	0	Principal AISI 304 - Ø10	HAAS Mill - O38844 HAAS Lathe - O02121, O02122	Bruto	
	23-25-0156	171516-46-078X-R01	10,00	AISI 304	Principal 04-06-0003	18	0	Principal AISI 304 - Ø12	HAAS Lathe - O02108	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b> Enviar para soldar em peça subcontratar o
	23-25-0084	171516-46-024X-R02	2,00	Brass	Principal 04-04-0012	145	0	Principal Varão hexagonal 13mm entre faces, latão	EMCO Turn 155 - O1742, O1743 HAAS Lathe - O02340	Bruto	
	23-25-0112	171516-46-017X-R04	4,00	EN-AW 6082 T6	Principal 04-02-0006	100	0	Principal AW6082 - Ø10 (Calibrado h9)	HAAS Mill - O31356 HAAS Lathe - O01780	Bruto	
	23-25-0148	171516-46-076X-R01	4,00	EN-AW 6082 T6	Principal 04-02-0001	90	0	Principal AW6082 - Ø15 (Calibrado h9)	HAAS Lathe - O02008, O02009 EMCO Turn 155 - O1891, O1892	Bruto	
	23-25-0046	171516-46-048X-R01	2,00	-	Principal 01-01-0002	0	0	Principal Dummy Matéria Prima (Não Editar)	HAAS Mill - O23491	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b> Entregue pelos aproveitamentos
	23-25-0229	171516-46-071X-R04	1,00	EN-AW 5083	Principal 04-01-0007	98	73	Principal AL 5083 - 20 mm	HAAS Mill - O59707, O59708, O59709, O65636	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b> O65636 P /5 Eixos
	23-25-0029	171516-46-018X-R02	4,00	Brass	Principal 04-04-0013	10	0	Principal Varão hexagonal 10mm entre faces, latão	EMCO Turn 155 - O1789 HAAS Lathe - O02030	Bruto	





## **Anexos F - Lista de maquinação da Opção Single Fixture do equipamento STCS-VMir Plus**




# Lista de Maquinação / Maquinación Bill of Materials

Mod.0073.PT-C



<b>Projecto:</b>	<b>Posição:</b>	<b>Qt.:</b>	<b>Autor:</b> Ricardo Amado	<b>Referência do assembly principal:</b> 171516-47-112X-R15
<b>Descrição:</b> STCS-Vmir+ Single fixture system	<b>Referência Lista:</b> 171516-51-002-R14		<b>Data:</b> 2023-05-19 10:47:22	

Foto Photo	Ref. Mecalbi da Peça Mecalbi Piece Ref.	Ref. Desenho Drawing Ref.	Qt. Qty.	Tipo Material Material	Ref. Mecalbi Materia Prima Mecalbi Ref. Raw Material	Comp. Length	Larg. Width	Materia Prima Raw Material	Maquina - Programas Machine - Programs	Acabamento Finish	Observações Observations
	23-25-0225	171516-46-030X-R04	2,00	Alumínio	<b>Principal</b> 08-24-0039	145	0	<b>Principal</b> Calha perfil CM83 1MT	HAAS Mill - O51958	Bruto	
	23-25-0227	171516-46-008A-R09	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0007 <b>Bruto</b> 04-37-0291 (Materia Prima- 022/01- 04/01B)	178	105	<b>Principal</b> AL 5083 - 20 mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 178X105X20mm	HAAS Mill - O54537, O54538, O54539, O54540	Bruto	
	23-25-0228	171516-46-008B-R09	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0007 <b>Bruto</b> 04-37-0291 (Materia Prima- 022/01- 04/01B)	178	105	<b>Principal</b> AL 5083 - 20 mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 178X105X20mm	HAAS Mill - O54541, O54542, O54543, O54544	Bruto	
	23-25-0199	171516-46-019X-R03	2,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0002 <b>Bruto</b> 04-37-0500 (Materia Prima- 026/01- 03/01I)	143	25	<b>Principal</b> AL 5083 - 10mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 143X25X10	HAAS Mill - O50355, O50356, O50357, O57570, O57571, O57572	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b>  1 bruto faz 6 peças

<b>Foto</b> <i>Photo</i>	<b>Ref. Mecalbi da Peça</b> <i>Mecalbi Piece Ref.</i>	<b>Ref. Desenho</b> <i>Drawing Ref.</i>	<b>Qt.</b> <i>Qty.</i>	<b>TipoMaterial</b> <i>Material</i>	<b>Ref. Mecalbi Materia Prima</b> <i>Mecalbi Ref. RawMaterial</i>	<b>Comp.</b> <i>Length</i>	<b>Larg.</b> <i>Width</i>	<b>Materia Prima</b> <i>Raw Material</i>	<b>Maquina - Programas</b> <i>Machine - Programs</i>	<b>Acabamento</b> <i>Finish</i>	<b>Observações</b> <i>Observations</i>
	23-22-0113	099716-46-092X-R01	4,00	POM C - Black	<b>Principal</b> 04-11-0004 <b>Secundário</b> 04-30-0003	140	21	<b>Principal</b> POM C - 30 Preto <b>Secundário</b> Delrin Negro 1 - 1/2 (38.1 mm)	HAAS Mill - O34324, O34325	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b>  Produz 7 peças do mesmo Bruto
	24-23-0145	171516-46-003A-R06	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0007 <b>Bruto</b> 04-37-0274 <i>(Materia Prima-020/01-03/01C)</i>	155	60	<b>Principal</b> AL 5083 - 20 mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 155X60X20mm	HAAS Mill - O50338, O50339, O50340, O50341	Bruto	
	24-23-0146	171516-46-003B-R06	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0007 <b>Bruto</b> 04-37-0274 <i>(Materia Prima-020/01-03/01C)</i>	155	60	<b>Principal</b> AL 5083 - 20 mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 155X60X20mm	HAAS Mill - O50343, O50344, O50345, O50346	Bruto	

## **Anexos G - Lista de maquinação do equipamento STCS-VMir Plus UV**

# Lista de Maquinação / Maquinación Bill of Materials

Mod.0073.PT-C



<b>Projecto:</b>	<b>Posição:</b>	<b>Qt.:</b>	<b>Autor:</b> Bruno Valente	<b>Referência do assembly principal:</b> 253020-47-001A-R06
<b>Descrição:</b> STCS-VMir+ UV	<b>Referência Lista:</b> 253020-51-001-R08		<b>Data:</b> 2024-02-23 10:23:38	



















Foto Photo	Ref. Mecalbi da Peça Mecalbi Piece Ref.	Ref. Desenho Drawing Ref.	Qt. Qty.	Tipo Material Material	Ref. Mecalbi Materia Prima Mecalbi Ref. Raw Material	Comp. Length	Larg. Width	Materia Prima Raw Material	Maquina - Programas Machine - Programs	Acabamento Finish	Observações Observations
	23-25-0159	171516-46-010X-R03	8,00	AISI 304	Principal 04-06-0003	18	0	Principal AISI 304 - Ø12	HAAS Lathe - O02084 EMCO Turn 155 - O1928	Bruto	
	23-25-0175	171516-46-066X-R02	2,00	AISI 304	Principal 04-06-0015	25	0	Principal AISI 304 - Ø20	HAAS Lathe - O02591 EMCO Turn 155 - O1779	Bruto	
	23-25-0155	171516-46-077X-R01	8,00	AISI 304	Principal 04-06-0010	25	0	Principal AISI 304 - Ø10	HAAS Mill - O38844 HAAS Lathe - O02121, O02122	Bruto	
	23-25-0156	171516-46-078X-R01	10,00	AISI 304	Principal 04-06-0003	18	0	Principal AISI 304 - Ø12	HAAS Lathe - O02108	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b> Enviar para soldar em peça subcontrata
	23-25-0225	171516-46-030X-R04	2,00	Alumínio	Principal 08-24-0039	145	0	Principal Calha perfil CM83 1MT	HAAS Mill - O51958	Bruto	
	23-25-0029	171516-46-018X-R02	4,00	Brass	Principal 04-04-0013	10	0	Principal Varão hexagonal 10mm entre faces, latão	EMCO Turn 155 - O1789 HAAS Lathe - O02030	Bruto	

Foto Photo	Ref. Mecalbi da Peça Mecalbi Piece Ref.	Ref. Desenho Drawing Ref.	Qt. Qty.	TipoMaterial Material	Ref. Mecalbi Materia Prima Mecalbi Ref. RawMaterial	Comp. Length	Larg. Width	Materia Prima Raw Material	Maquina - Programas Machine - Programs	Acabamento Finish	Observações Observations
	23-25-0084	171516-46-024X-R02	2,00	Brass	Principal 04-04-0012	145	0	Principal Varão hexagonal 13mm entre faces, latão	EMCO Turn 155 - O1742, O1743 HAAS Lathe - O02340	Bruto	
	23-25-0075	171516-46-067X-R01	4,00	Brass	Principal 04-04-0012	25	0	Principal Varão hexagonal 13mm entre faces, latão	HAAS Lathe - O01415, O01416 EMCO Turn 155 - O1777, O1752	Bruto	
	23-25-0200	171516-46-005X-R06	1,00	Alumínio	Principal 04-01-0021	145	105	Principal AL 5083 - 4mm	HAAS Mill - O50335, O50336, O50337	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b> Contém apertos no gabarito
	24-23-0142	171516-46-006X-R10	1,00	EN-AW 5083	Principal 04-01-0013 Bruto 04-37-0020 (Materia Prima- 019/01- 02/01C)	275	185	Principal Alca 5 - 8mm Bruto EN-AW 5083 Rectificado: 275X185X8mm	HAAS Mill - O54528, O54529, O54530, O54531	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b> Contém apertos no gabarito
	24-23-0143	171516-46-007X-R06	1,00	EN-AW 5083	Principal 04-01-0008 Bruto 04-37-0088 (Materia Prima- 022/01- 03/01F)	46	35	Principal AL 5083 - 15mm Bruto EN-AW 5083: 46X35X15mm	HAAS Mill - O55939, O55940, O55941	Bruto	
	24-23-0144	171516-46-009X-R05	1,00	EN-AW 5083	Principal 04-01-0008 Bruto 04-37-0141 (Materia Prima- 023/01- 01/01C)	105	45	Principal AL 5083 - 15mm Bruto EN-AW 5083: 105X45X15mm	HAAS Mill - O54535, O54536	Bruto	

<b>Foto</b> <i>Photo</i>	<b>Ref. Mecalbi da Peça</b> <i>Mecalbi Piece Ref.</i>	<b>Ref. Desenho</b> <i>Drawing Ref.</i>	<b>Qt.</b> <i>Qty.</i>	<b>TipoMaterial</b> <i>Material</i>	<b>Ref. Mecalbi Materia Prima</b> <i>Mecalbi Ref. RawMaterial</i>	<b>Comp.</b> <i>Length</i>	<b>Larg.</b> <i>Width</i>	<b>Materia Prima</b> <i>Raw Material</i>	<b>Maquina - Programas</b> <i>Machine - Programs</i>	<b>Acabamento</b> <i>Finish</i>	<b>Observações</b> <i>Observations</i>
	23-25-0125	171516-46-011X-R04	2,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0012 <b>Bruto</b> 04-37-0391 <i>(Materia Prima-034/01-04/01A)</i>	360	45	<b>Principal</b> AL 5083 - 25mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 360X45X25mm	HAAS Mill - O32677, O32678	Bruto	
	23-25-0112	171516-46-017X-R04	4,00	EN-AW 6082 T6	<b>Principal</b> 04-02-0006	100	0	<b>Principal</b> AW6082 - Ø10 (Calibrado h9)	HAAS Mill - O31356 HAAS Lathe - O01780	Bruto	
	23-25-0199	171516-46-019X-R03	4,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0002 <b>Bruto</b> 04-37-0500 <i>(Materia Prima-026/01-03/01I)</i>	143	25	<b>Principal</b> AL 5083 - 10mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 143X25X10	HAAS Mill - O50355, O50356, O50357, O57570, O57571, O57572	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b> 1 bruto faz 6 peças
	23-25-0126	171516-46-020X-R04	4,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0007 <b>Bruto</b> 04-37-0251 <i>(Materia Prima-023/01-01/01E)</i>	118	25	<b>Principal</b> AL 5083 - 20 mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 118X25X20mm	HAAS Mill - O32679, O32680, O32681	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b> Faz duas peÇas de cada bruto
	23-25-0207	171516-46-022X-R03	4,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0001 <b>Bruto</b> 04-37-0424 <i>(Materia Prima-022/01-02/01A)</i>	161	35	<b>Principal</b> AL 5083 - 30mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 161X35X30mm	HAAS Mill - O51944, O51945, O51946, O65276	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b> 1 Bruto Faz 4 Peças Contem programa para UMC
	23-25-0087	171516-46-025X-R03	2,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0008 <b>Bruto</b> 04-37-0501 <i>(Materia Prima-023/01-01/01D)</i>	141	35	<b>Principal</b> AL 5083 - 15mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 141X35X15	HAAS Mill - O57573, O57574, O57575	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b> 1 bruto faz 5 peças







<b>Foto</b> <i>Photo</i>	<b>Ref. Mecalbi da Peça</b> <i>Mecalbi Piece Ref.</i>	<b>Ref. Desenho</b> <i>Drawing Ref.</i>	<b>Qt.</b> <i>Qty.</i>	<b>TipoMaterial</b> <i>Material</i>	<b>Ref. Mecalbi Materia Prima</b> <i>Mecalbi Ref. RawMaterial</i>	<b>Comp.</b> <i>Length</i>	<b>Larg.</b> <i>Width</i>	<b>Materia Prima</b> <i>Raw Material</i>	<b>Maquina - Programas</b> <i>Machine - Programs</i>	<b>Acabamento</b> <i>Finish</i>	<b>Observações</b> <i>Observations</i>
	23-25-0041	171516-46-028X-R02	2,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0007 <b>Bruto</b> 04-37-0278 <i>(Materia Prima-022/01-04/01A)</i>	161	35	<b>Principal</b> AL 5083 - 20 mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 161X35X20mm	HAAS Mill - O22673, O22674, O22675	Bruto	
	23-25-0208	171516-46-058A-R06	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0007 <b>Bruto</b> 04-37-0272 <i>(Materia Prima-022/01-01/01B)</i>	154	102	<b>Principal</b> AL 5083 - 20 mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 154X102X20mm	HAAS Mill - O50358, O50359, O50360, O50361, O65376	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b>  Contém programa para UMC
	23-25-0209	171516-46-058B-R06	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0034 <b>Bruto</b> 04-37-0005 <i>(Materia Prima-022/01-02/01D)</i>	330	154	<b>Principal</b> Alca 5 - 5mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083 Rectificado: 330X154X5mm	HAAS Mill - O50362, O50363, O50364, O50365	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b>  Contém apertos no gabarito
	23-25-0210	171516-46-058C-R06	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0007 <b>Bruto</b> 04-37-0273 <i>(Materia Prima-022/01-01/01C)</i>	154	120	<b>Principal</b> AL 5083 - 20 mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 154X120X20mm	HAAS Mill - O50366, O50367, O50368, O50369, O50370, O65483	Bruto	
	23-25-0211	171516-46-058D-R06	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0034 <b>Bruto</b> 04-37-0005 <i>(Materia Prima-022/01-02/01D)</i>	330	154	<b>Principal</b> Alca 5 - 5mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083 Rectificado: 330X154X5mm	HAAS Mill - O50371, O50372, O50373, O50374	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b>  Contém apertos no gabarito
	23-25-0212	171516-46-058E-R06	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0007 <b>Bruto</b> 04-37-0272 <i>(Materia Prima-022/01-01/01B)</i>	154	102	<b>Principal</b> AL 5083 - 20 mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 154X102X20mm	HAAS Mill - O50375, O50376, O50377, O50378, O65494	Bruto	























Foto Photo	Ref. Mecalbi da Peça Mecalbi Piece Ref.	Ref. Desenho Drawing Ref.	Qt. Qty.	TipoMaterial Material	Ref. Mecalbi Materia Prima Mecalbi Ref. RawMaterial	Comp. Length	Larg. Width	Materia Prima Raw Material	Maquina - Programas Machine - Programs	Acabamento Finish	Observações Observations
	24-23-0147	171516-46-059A-R05	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0009 <b>Bruto</b> 04-37-0434 (Materia Prima- 022/01- 01/01D)	115	38	<b>Principal</b> AL 5083 - 35 mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 115X38X35mm	HAAS Mill - O54545, O54546, O54547, O65277	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b>  Contem programa para UMC
	24-23-0148	171516-46-059B-R05	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0009 <b>Bruto</b> 04-37-0434 (Materia Prima- 022/01- 01/01D)	115	38	<b>Principal</b> AL 5083 - 35 mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 115X38X35mm	HAAS Mill - O54548, O54549, O54550, O54551, O65278	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b>  Contem programa para UMC
	24-23-0149	171516-46-062B-R07	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0007 <b>Bruto</b> 04-37-0290 (Materia Prima- 023/01- 01/01B)	178	65	<b>Principal</b> AL 5083 - 20 mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 178X65X20mm	HAAS Mill - O54566, O54567, O54568, O54569	Bruto	
	24-23-0150	171516-46-062A-R07	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0007 <b>Bruto</b> 04-37-0290 (Materia Prima- 023/01- 01/01B)	178	65	<b>Principal</b> AL 5083 - 20 mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 178X65X20mm	HAAS Mill - O54552, O54553, O54554, O54555	Bruto	
	24-23-0151	171516-46-063A-R07	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0014 <b>Bruto</b> 04-37-0059 (Materia Prima- 034/01- 01/01A)	490	155	<b>Principal</b> Alca 5 - 10mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083 Rectificado: 490X155X10mm	HAAS Mill - O54556, O54557	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b>  Mesa de Vácuo O programa O54556 faz as duas configurações
	24-23-0152	171516-46-063B-R07	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0014 <b>Bruto</b> 04-37-0059 (Materia Prima- 034/01- 01/01A)	490	155	<b>Principal</b> Alca 5 - 10mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083 Rectificado: 490X155X10mm	HAAS Mill - O54556, O54558	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b>  Mesa de Vácuo O programa O54556 faz as duas configurações

Foto Photo	Ref. Mecalbi da Peça Mecalbi Piece Ref.	Ref. Desenho Drawing Ref.	Qt. Qty.	TipoMaterial Material	Ref. Mecalbi Materia Prima Mecalbi Ref. RawMaterial	Comp. Length	Larg. Width	Materia Prima Raw Material	Maquina - Programas Machine - Programs	Acabamento Finish	Observações Observations
	23-25-0219	171516-46-064X-R06	2,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0001 <b>Bruto</b> 04-37-0415 (Materia Prima- 023/01- 01/01G)	130	30	<b>Principal</b> AL 5083 - 30mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 130X30X30mm	HAAS Mill - O51977, O51978, O51979, O51980, O51981, O65280	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b>  COntem programa para UMC
	24-23-0153	171516-46-065X-R04	4,00	Anodized rod h8	<b>Principal</b> 04-02-0018	200	0	<b>Principal</b> Veio Ø16 alumínio h8, anodizado	HAAS Lathe - O02798	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b>  Cortar com 200 mm de comprimento antes de ir ao torno
	24-23-0154	171516-46-068X-R03	2,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0005	160	38	<b>Principal</b> AW 6082-T6 3 mm	HAAS Mill - O54559, O54560, O54561	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b>  1 bruto faz 2 peças  Contém apertos no gabarito
	24-23-0155	171516-46-070X-R04	2,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0001 <b>Bruto</b> 04-37-0421 (Materia Prima- 023/01- 01/01I)	155	30	<b>Principal</b> AL 5083 - 30mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 155X30X30mm	HAAS Mill - O54562, O54563, O54564, O54565, O65279	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b>  Contem programa para UMC
	23-25-0224	171516-46-071X-R03	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0007 <b>Bruto</b> 04-37-0237 (Materia Prima- 022/01- 03/01I)	98	73	<b>Principal</b> AL 5083 - 20 mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 98X73X20mm	HAAS Mill - O51947, O51948, O51949	Bruto	
	23-25-0148	171516-46-076X-R01	4,00	EN-AW 6082 T6	<b>Principal</b> 04-02-0001	90	0	<b>Principal</b> AW6082 - Ø15 (Calibrado h9)	HAAS Lathe - O02008, O02009  EMCO Turn 155 - O1891, O1892	Bruto	

<b>Foto</b> <i>Photo</i>	<b>Ref. Mecalbi da Peça</b> <i>Mecalbi Piece Ref.</i>	<b>Ref. Desenho</b> <i>Drawing Ref.</i>	<b>Qt.</b> <i>Qty.</i>	<b>TipoMaterial</b> <i>Material</i>	<b>Ref. Mecalbi Materia Prima</b> <i>Mecalbi Ref. RawMaterial</i>	<b>Comp.</b> <i>Length</i>	<b>Larg.</b> <i>Width</i>	<b>Materia Prima</b> <i>Raw Material</i>	<b>Maquina - Programas</b> <i>Machine - Programs</i>	<b>Acabamento</b> <i>Finish</i>	<b>Observações</b> <i>Observations</i>
	23-25-0046	171516-46-048X-R01	2,00	-	<b>Principal</b> 01-01-0002	0	0	<b>Principal</b> Dummy Matéria Prima (Não Editar)	HAAS Mill - O23491	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b>  Entregue pelos aprvisionamentos
	23-48-0001	253020-46-040X-R01	6,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-02-0001	100	0	<b>Principal</b> AW6082 - Ø15 (Calibrado h9)	HAAS Lathe - O02501	Bruto	
	23-48-0002	253020-46-041X-R02	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0002 <b>Bruto</b> 04-37-0057 <i>(Materia Prima-027/01-03/01A)</i>	470	400	<b>Principal</b> AL 5083 - 10mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083 Rectificado: 470X400X10mm	HAAS Mill - O58628, O58629	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b>  Mesa de vácuo
	23-48-0003	253020-46-043X-R01	2,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0008 <b>Bruto</b> 04-37-0109 <i>(Materia Prima-024/01-04/01J)</i>	65	55	<b>Principal</b> AL 5083 - 15mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 65X55X15mm	HAAS Mill - O46945, O46946, O46947	Bruto	
	23-48-0004	253020-46-044X-R01	1,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0008 <b>Bruto</b> 04-37-0484 <i>(Materia Prima-026/01-04/01E)</i>	78	55	<b>Principal</b> AL 5083 - 15mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 78X55X15mm	HAAS Mill - O46948, O46949, O46950, O46951, O65637	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b>  O65637 P/ 5 Eixos
	23-48-0005	253020-46-047X-R01	2,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-02-0004	320	0	<b>Principal</b> AW6082 - Ø8 (Calibrado h9)	HAAS Lathe - O02689	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b>  Cortar veios de 8 de alumínio, com 320mm.

<b>Foto</b> <i>Photo</i>	<b>Ref. Mecalbi da Peça</b> <i>Mecalbi Piece Ref.</i>	<b>Ref. Desenho</b> <i>Drawing Ref.</i>	<b>Qt.</b> <i>Qty.</i>	<b>TipoMaterial</b> <i>Material</i>	<b>Ref. Mecalbi Materia Prima</b> <i>Mecalbi Ref. RawMaterial</i>	<b>Comp.</b> <i>Length</i>	<b>Larg.</b> <i>Width</i>	<b>Materia Prima</b> <i>Raw Material</i>	<b>Maquina - Programas</b> <i>Machine - Programs</i>	<b>Acabamento</b> <i>Finish</i>	<b>Observações</b> <i>Observations</i>
	23-48-0006	253020-46-048X-R01	2,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0007 <b>Bruto</b> 04-37-0485 <i>(Materia Prima-026/01-04/01H)</i>	67	40	<b>Principal</b> AL 5083 - 20 mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 67X40X20mm	HAAS Mill - O47783, O47784	Bruto	
	23-48-0007	253020-46-049X-R02	2,00	EN-AW 5083	<b>Principal</b> 04-01-0007 <b>Bruto</b> 04-37-0486 <i>(Materia Prima-037/01-04/01H)</i>	320	41	<b>Principal</b> AL 5083 - 20 mm <b>Bruto</b> EN-AW 5083: 320X41X20mm	HAAS Mill - O58633, O58634, O58635, O65044	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b>  Programa O65044 para UMC
	23-48-0008	253020-46-035X-R02	2,00	POM C - Black	<b>Principal</b> 04-11-0005	30	25	<b>Principal</b> POM C - 15 Preto	HAAS Mill - O46940, O46941, O46942	Bruto	
	23-22-0113	099716-46-092X-R01	4,00	POM C - Black	<b>Principal</b> 04-11-0004 <b>Secundário</b> 04-30-0003	140	21	<b>Principal</b> POM C - 30 Preto <b>Secundário</b> Delrin Negro 1-1/2 (38.1 mm)	HAAS Mill - O34324, O34325	Bruto	<b>Observações Lista Maq..</b>  Produz 7 peças do mesmo Bruto



