



UNIVERSIDADE D  
COIMBRA

João David Neves Pacau

**APLICAÇÃO DO CICLO DMAIC PARA A MELHORIA  
DE UM PROCESSO DE MAQUINAGEM**

Dissertação no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial orientada pelo  
Professor Doutor Cristóvão Silva e apresentada no Departamento de Engenharia Mecânica  
da faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

setembro de 2023



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS  
E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA MECÂNICA

# Aplicação do ciclo DMAIC para a melhoria de um processo de maquinagem

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

## Application of the DMAIC cycle to improve a machining process

Autor

**João David Pacau**

Orientadores

**Professor Doutor Cristóvão Silva**

**Engenheira Adelaide Martins**

Júri

Presidente	Professor Doutor VANESSA MELO MAGALHÃES Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra Professor Doutor PAULO JOAQUIM ANTUNES VAZ
Vogais	Professor Adjunto do Instituto Politécnico de Viseu Professor Doutor CRISTOVÃO SILVA Professor Associado do DEM-FCTUC
Orientador	Professor Doutor CRISTOVÃO SILVA Professor Associado do DEM-FCTUC

Colaboração Institucional

---



Bresimar Automação

Coimbra, setembro, 2023



“Nothing can stop the man with the right mental attitude from achieving his goal; nothing on earth can help the man with the wrong mental attitude.”

Thomas Jefferson

Aos meus pais



## Agradecimentos

Um trabalho de mestrado é uma longa caminhada, trilhada por desafios, incertezas, alegrias e alguns percalços pelo caminho, mas que reúne contributos de várias pessoas, indispensáveis para encontrar o melhor rumo em cada momento da caminhada. Trilhar este caminho só foi possível com o apoio, energia e força de várias pessoas, a quem dedico especialmente este trabalho.

Quero agradecer a todos os que me apoiaram, não só, durante a realização da dissertação, mas também durante o meu percurso académico.

Em primeiro lugar quero agradecer aos meus pais que me possibilitaram estudar e que me deram todo o apoio para sempre seguir o que mais gostava, estando sempre presentes nos melhores e nos piores momentos e foram, sem dúvida, os que me deram mais forças para ultrapassar todas as adversidades.

Quero agradecer também aos amigos que fiz no início e ao longo do percurso académico, em especial àqueles que permaneceram até ao fim. Sem os nomear, cada um deles sabe a importância que teve e o contributo de cada um deles me conduziu à conclusão desta etapa na Universidade de Coimbra, de que tanto me orgulho.

Quero também agradecer a todos os professores, em especial, ao professor Cristóvão Silva pelo acompanhamento, disponibilidade e conhecimento que me transmitiu.

Por último, agradecer à Bresimar Automação pela oportunidade que me deu de ingressar numa empresa onde a integração não é uma barreira, mas sim uma facilidade. O tamanho conhecimento e experiência que os seus elementos me transmitiram é algo que me fizeram compreender certos valores imprescindíveis dentro de uma empresa. Quero também deixar um agradecimento especial, à Engenheira Adelaide Martins e à Engenheira Fabiana Moreira por me terem recebido tão bem no departamento e por todos os seus ensinamentos. Não esquecendo o agradecimento à “mesa de almoço” que me forneceu momentos inesquecíveis durante o estágio.

A todos, os meus sinceros agradecimentos! E está feito!

## Resumo

A Bresimar Automação identificou um problema no processo produtivo de preparação de caixas para sensores/transmissores sem fio. O problema em questão está relacionado com a metodologia utilizada para fazer a maquinação das caixas, feita com recurso a máquina CNC. A máquina CNC atualmente utilizada, implica que existam etapas de suporte ao processo de preparação das caixas, realizadas pelos operadores. O objetivo da empresa é reduzir ou eliminar essas atividades de suporte que não acrescentem valor, reduzindo a intervenção do operador no processo, tornando-se mais eficiente. Em suma, pretende-se melhorar o processo de preparação das caixas.

Para abordar o problema apresentado pela empresa e, conseqüentemente atingir os objetivos propostos, recorreu-se à metodologia DMAIC.

A partir da metodologia foi possível atingir os resultados, sendo apresentadas oportunidades de melhoria, onde estavam presentes a diminuição do lead time do processo, a diminuição do número de atividades que não acrescentam valor e uma melhor gestão dos recursos. Foi possível diminuir o *lead time* do processo em 30%, com um investimento de 1 800 €. Melhorias a nível de qualidade de equipamento e de software de maquinação também foram visados e pensados com o objetivo de melhorar a sua performance.

Numa última fase analisou-se a possibilidade de subcontratar a operação de preparação das caixas, até porque esse processo não é a atividade *core* da empresa. Verificou-se que a subcontratação pode levar a aumento de qualidade do produto e libertar os operadores para atividades que acrescentam valor à empresa. Tendo em conta o custo de subcontratação foi feita uma análise de viabilidade financeira desta solução.

**Palavras – chave:** *Lean, Six Sigma, Melhoria Contínua, DMAIC*

## Abstract

Bresimar Automação identified an issue in the production process of preparing boxes for wireless sensors/transmitters. The problem at hand is related to the methodology used for machining boxes, which is currently done using a CNC machine. The CNC machine in use requires support steps in the box preparation process performed by the operator. The company's goal is to reduce and if possible, eliminate these non-value-added support activities, thereby reducing operation intervention in the process and making it more efficient. In short, the aim is to improve the box preparation process.

To address the issue presented by the company and, consequently, achieve the proposed objectives, the DMAIC methodology was employed.

Through this methodology, it was possible to achieve results, including identified opportunities for improvement, such as reducing the process lead time, decreasing the number of non-value-added activities, and better resource management. The process lead time was reduced by 30% with an investment of €1,800. Improvements in equipment and machining software quality were also considered to enhance performance.

In a final phase, the possibility of outsourcing the box preparation operation was analysed, especially because this process is not the core activity of the company. It was found that outsourcing could lead to an increase in product quality and free up operators for value-added activities. A financial feasibility analysis of this outsourcing solution was conducted, considering the outsourcing cost.

**Keywords:** Lean, Six Sigma, Continuous Improvement, DMAIC.

## Índice

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO .....	3
2.1. Lean .....	3
2.2. Six Sigma.....	7
2.3. Lean Six Sigma.....	9
2.4. Ciclo DMAIC .....	10
3. CASO DE ESTUDO .....	13
3.1. A empresa .....	13
3.1.1. Bresimar Automação.....	13
3.1.2. Tekon Eletronics .....	14
3.2. Produtos da Tekon Eletronics.....	14
3.2.1. Plus System Overview .....	15
3.2.2. Transmissor de Temperatura de Cabeça .....	16
3.3. Definição do Processo .....	17
3.3.1. Descrição do Processo de Preparação da Caixa .....	17
3.3.2. Etapas do processo de preparação da Caixa.....	19
3.4. Descrição do Problema.....	24
4. CICLO DMAIC.....	26
4.1. Definir.....	26
4.1.1. Project Charter.....	26
4.2. Medir .....	28
4.2.1. Estudo da Produção.....	28
4.2.2. Análise dos tempos.....	30
4.2.3. Indicadores de Desempenho do Processo .....	34
4.3. Analisar.....	37
4.4. Melhorar .....	40
4.4.1. Potenciais Soluções .....	40
4.4.2. Desenvolvimento 1: Solução 1 - Gabarit para a Tekon Eletronics .....	41
4.4.3. Desenvolvimento 1: Solução 2: Atualização das ferramentas utilizadas na Tekon Eletronics .....	47
4.4.4. Desenvolvimento 1: Solução 1 + Solução 2.....	49
4.4.5. Desenvolvimento 2: Solução 1 - Subcontratação.....	49
4.5. Controlar.....	53
5. ANÁLISE DE PRODUÇÃO .....	55
5.1. Ganhos de Produção .....	55
5.1.1. Ganhos de Produção Desenvolvimento 1: Solução 1 + Solução 2 .....	56
5.1.2. Análise Financeira Desenvolvimento 1: Solução 1 + Solução 2 .....	58

---

5.1.3. Ganhos de Produção do Desenvolvimento 2: Solução 1 .....	59
5.1.4. Análise Financeira do Desenvolvimento 2: Solução 1 .....	61
6. CONCLUSÃO.....	62
ANEXO A: Diagrama de Ishikawa .....	67
ANEXO B: Desenhos 2D do gabarit e pinos .....	68
ANEXO C: Desenhos 2D do gabarit para máquina cnc da Selmatron .....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Objetivos de Melhoria do Lean Six Sigma .....	9
Figura 3.1: <i>Plus System Overview</i> .....	16
Figura 3.2: Transmissor de Temperatura de Cabeça, TTC .....	17
Figura 3.3: Máquina CNC.....	18
Figura 3.4: Caixa de um TTC .....	18
Figura 3.5: Caixa de um sistema <i>Wireless Plus</i> .....	18
Figura 3.6: Exemplo de um tipo de maquinação feito num TTC e num sistema <i>Wireless Plus</i> , respetivamente.....	19
Figura 3.7: Fluxograma Processo de Preparação da Caixa.....	19
Figura 3.8: Forma de Fixação dos TTC.....	20
Figura 3.9: Forma de encaixe entre o JIG e o TTC.....	20
Figura 3.10: JIG do sistema <i>Wireless Plus</i> .....	21
Figura 3.11: Maquinação de um sistema <i>Wireless Plus</i> .....	22
Figura 3.12: Exemplo de uma peça que apresenta rebarba .....	23
Figura 3.13: Tipo de Maquinação de um TWPB-1UT.....	23
Figura 4.1: THU301-I e a sua respetiva maquinação.....	31
Figura 4.2: Diagrama de Ishikawa .....	37
Figura 4.3: Esquematização dos problemas encontrados divididos pela sua raiz e finalizando no seu resultado .....	39
Figura 4.4: Desenho 2D do Gabarit desenvolvido.....	42
Figura 4.5: Pinos desenvolvidos para garantir a fixação da peça no gabarit.....	42
Figura 4.6: Desenho 3D do encaixe do gabarit na máquina CNC .....	43
Figura 4.7: Fluxograma do processo com a implementação do gabarit.....	44

---

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1: Descrição das cinco fases do ciclo DMAIC, segundo diferentes autores .....	10
Tabela 2.2: Ferramentas associadas a cada fase do ciclo DMAIC (Kosieradzka & Ciechańska, 2018).....	12
Tabela 3.1: Descrição dos Problemas Encontrados em Cada Fase .....	25
Tabela 4.1: Equipa de Trabalho .....	27
Tabela 4.2: Cronograma Ciclo DMAIC .....	28
Tabela 4.3: Percentagens relativas à necessidade de maquinação com berbequim.....	30
Tabela 4.4: Análise de tempos de produção de 200 THU301-I para cada etapa .....	31
Tabela 4.5: Tempo total despendido em cada etapa.....	33
Tabela 4.6: Tempos de ciclo de cada etapa, exclusive o tempo de <i>setup</i> da máquina CNC .....	34
Tabela 4.7: Unidades vendidas de cada produto em estudo e o seu custo unitário .....	35
Tabela 4.8: Tempo de Maquinação CNC, Tempo de Retirar Rebarba e Tempo de Maquinação Berbequim (se necessário), de cada referência .....	36
Tabela 4.9: Tempo de <i>setup</i> da máquina CNC para TTC e sistema Wireless Plus.....	36
Tabela 4.10: Diferença entre os tempos da etapa de maquinação CNC vs retirar rebarba, em segundos.....	45
Tabela 4.11: Cálculo do número de peças que, teoricamente, é possível retirar rebarba, enquanto a máquina CNC está em funcionamento, em segundos.....	46
Tabela 4.12: Investimento de todos os equipamentos e software adquiridos pela Tekon	48
Tabela 4.13: Análise de tempos efetuada através de um lote de 600 peças de THM501..	51
Tabela 4.14: Redução do tempo de processamento (segundos) por unidade, em percentagem.....	51
Tabela 4.15: Custo de Subcontratação por cada unidade maquinada .....	52
Tabela 4.16: Custo de subcontratação tendo em conta as unidades vendidas em 2022...	53

Tabela 5.1: Objetivos das soluções implementadas consoante os problemas encontrados .....	55
Tabela 5.2: Tempo de processamento de um lote de 200 peças de THU301-I, no modelo atual, em minutos .....	56
Tabela 5.3: Tempo de processamento (minutos) de um lote de 200 peças de THU301-I, com a implementação de melhorias.....	57
Tabela 5.4: Ganho de tempo (minutos), em percentagem.....	58
Tabela 5.5: Custos associados ao desenvolvimento 1 .....	58
Tabela 5.6: Cálculo do número de unidades que é possível produzir com o gabarit e o potencial financeiro .....	59
Tabela 5.7: Diferença entre o tempo de processamento/unidade do modelo atual para a subcontratação, em segundos. ....	60

## **SIGLAS**

CNC - Computer numerical control  
DMAIC – Define, Measure, Anlyze, Improve, Control  
DOE – Design of Experiments  
FMEA – Failure Mode and Effects Analysis  
PDCA – Plan, Do, Check, Act  
SIPOC – Supplier, Input, Process, Output, Customer  
SMED – Single Minute Exchange of Die  
TC – Tempo de Ciclo  
TTC – Transmissor de Temperatura de Cabeça  
TPM – Total Productive Maintenance  
VSM – Value Stream Mapping  
VOC – Voice of Costumer  
WIP – Work in Progress  
WP – Wireless Plus



## 1. INTRODUÇÃO

Cada vez mais as empresas procuram a excelência e a melhoria contínua como referências para o seu sucesso e sobrevivência num ambiente empresarial cada vez mais competitivo. Neste contexto, a melhoria contínua emerge como uma abordagem estratégica que visa impulsionar o crescimento, a eficiência e a eficácia das operações.

Com a adoção desta cultura de melhoria contínua, as organizações procuram maximizar aquilo que consideram ser a representação do seu sucesso, a satisfação dos clientes. Isto pode ser atingido através da redução de desperdícios, da otimização da eficiência operacional, do aumento da qualidade dos produtos ou serviços e, conseqüentemente, impulsiona a competitividade no mercado.

Para ser possível chegar às metas anteriormente descritas, as organizações têm adotado metodologias como o *Lean* e o *Six Sigma*, pois estas têm-se demonstrado bastante eficazes na resolução de problemas. Mais recentemente, estas metodologias têm vindo a ser utilizadas de forma conjunta, numa abordagem denominada *Lean Six Sigma* de forma a reduzir a variabilidade e a eliminar desperdícios em processos industriais.

É importante que as organizações tenham bem definidas as suas metas e objetivos de melhoria, que implica uma adequada utilização de métricas de desempenho para ser possível medir o progresso e o sucesso dos projetos *Lean Six Sigma* (Pyzdek & Keller, 2003).

Esta dissertação tem como objetivo apresentar o trabalho desenvolvido pelo autor ao longo do estágio curricular, na Tekon Eletronics, uma unidade de negócio do grupo Bresimar Automação. A Tekon Eletronics é especializada no desenvolvimento e fabrico de tecnologia inovadora de sensores sem fios e tem como valores o seu contínuo crescimento e melhoria.

O estudo baseia-se num problema encontrado numa fase inicial de produção, a fase de preparação das caixas, que implicam o manuseamento de uma máquina CNC. Esta foi desenvolvida pela própria Tekon Eletronics, no entanto, apresenta bastantes limitações. O desafio proposto ao autor no âmbito do estágio curricular passou então por contornar essas mesmas limitações e procurar soluções viáveis para a diminuição da variabilidade e dos desperdícios encontrados no processo.

Depois de um período de análise do problema e da compreensão detalhada do funcionamento do processo, entendeu-se que a metodologia que melhor se enquadra para abordar o mesmo será o Lean Six Sigma, mais concretamente o ciclo DMAIC.

Em 2003, Thomas Pyzdek definiu o ciclo DMAIC como uma abordagem estruturada e sequencial para melhorar processos, compreendida em cinco fases:

- Definir: Objetivo de definir de forma clara e precisa o problema ou oportunidade de melhoria, estabelecer as metas específicas;
- Medir: Obter dados sobre o desempenho do processo atual através da identificação e medição de indicadores-chave de desempenho (KPIs);
- Analisar: Análise dos dados obtidos na fase de medição para identificar as causas raiz dos problemas encontrados no processo.
- Melhorar: Com base na análise da etapa anterior propor e implementar soluções para melhorar o processo;
- Controlar: Estabelecer controlos e medidas para garantir a sustentabilidade das melhorias implementadas.

O objetivo da presente dissertação consiste em melhorar o método de trabalho do processo atual. Com esta melhoria procura-se a redução do lead time, dos custos de não qualidade, a otimização dos recursos utilizados, o aumento da produção, a redução da quantidade do trabalho em curso de produção, *Work-In-Progress* (WIP), a redução de atividades que não acrescentam valor e, conseqüentemente, a disponibilização de tempo por forma a que os operadores possam realizar atividades paralelas.

## 2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Nas últimas décadas tem havido uma crescente consciencialização da necessidade de melhorar a qualidade do setor industrial (Smętkowska & Mrugalska, 2018).

O mercado mundial reflete-se na procura de uma vasta gama de novos produtos, com ciclos de vida mais curtos, e no aparecimento de novos produtos, com elevados padrões de qualidade, entrega curta e custos reduzidos. São estes os desafios que as empresas terão de enfrentar e para os quais terão de se preparar. A competitividade existente nos mercados obriga a que as empresas sejam mais eficazes (atuando, acertadamente, nos momentos necessários) a serem mais eficientes e produtivas, fazendo as coisas certas com o menor uso de recursos e tempo possível, oferecendo aos seus clientes a qualidade dos seus produtos e serviços.

Deste modo, várias metodologias têm-se mostrado eficazes quando o objetivo é obter um controlo de qualidade e, ao mesmo tempo, a melhoria dos processos (Trimarjoko et al., 2023).

### 2.1. Lean

O conceito de produção *lean* deriva do *Toyota Production System* (TPS). O TPS foi desenvolvido pela *Toyota Motor Corporation*, liderado por Taiichi Ohno, um engenheiro mecânico japonês que ingressou na Toyota em 1943 e foi um dos principais impulsionadores dessa metodologia que viria a ficar conhecida mundialmente como abordagem de produção *lean* (J. Womack et al., 2007)

Ohno e a sua equipa tinham como objetivo melhorar a eficiência na produção de automóveis da Toyota, a fim de responder à procura do mercado japonês e competir com os fabricantes de automóveis estrangeiros que lideravam o mercado naquela época. Com o propósito de alcançar esses objetivos, a equipa de Ohno estava determinada a criar um sistema de produção que eliminasse os desperdícios que iam encontrando e que permitisse à Toyota produzir carros de alta qualidade com custos reduzidos.

O TPS baseia-se em dois pilares: *Just in Time* (JIT) e *jidoka*. JIT significa produzir apenas o que é necessário, na quantidade necessária e no momento necessário, evitando assim o excesso de inventário e desperdício. *Jidoka* refere-se à capacidade de as máquinas detetarem e interromperem a produção quando ocorrem problemas, evitando assim defeitos e problemas de qualidade.

Em *Lean Thinking* (J. P. Womack & Jones, 1997) os autores apresentam cinco princípios fundamentais que qualquer organização que pretendia implementar esta filosofia tem de seguir de forma a alcançar o mesmo sucesso que a indústria japonesa alcançou.

Os cinco princípios-chave da filosofia *Lean* são:

- **Identificar Valor:** Entender o que o cliente valoriza e está disposto a pagar. Para a organização criar valor para o cliente através das suas atividades, é essencial esta concentrar-se na perspetiva do cliente e entender as suas reais necessidades e desejos.
- **Cadeia de valor:** Identificar todos os processos que compõem a cadeia de valor, desde a aquisição de matérias-primas até à entrega do produto ou serviço ao cliente. O objetivo é tornar o fluxo de trabalho mais fluido e eficiente, eliminando gargalos, redundâncias e desperdícios.
- **Fluxo:** Estabelecer um fluxo de trabalho sem qualquer tipo de interrupções, com o objetivo de produzir de forma contínua, melhorando a eficiência e reduzindo o tempo de ciclo.
- **Puxar (Sistema Pull):** Este sistema consiste em produzir apenas o que é necessário e quando é necessário, a partir da procura do cliente. O objetivo é reduzir o lead time para o cliente, eliminando desperdícios, stock excessivo, fornecendo recursos na hora certa, em sintonia com a procura do cliente;
- **Perfeição:** A organização, deve de forma constante, procurar o aperfeiçoamento contínuo, isto é, deve procurar formas de aperfeiçoar os seus processos e produtos, ao melhorar a qualidade e, conseqüentemente, a satisfação do cliente. Para isso é essencial criar uma cultura de melhoria contínua e serem implementadas práticas de medição e análise de desempenho.

Os resultados que podem ser obtidos com estas implementações são vários: menor tempo de ciclo de produção; menos trabalho em processos, menos retrabalho e

defeitos; maior tempo para responder às mudanças do mercado; aumento da moral dos funcionários; e melhoria dos rácios financeiros a longo prazo (Ohno, 1988).

Ohno (1988) identificou sete tipos de desperdícios, conhecidos como “muda”, que devem ser eliminados, de forma a criar valor para o cliente, a eliminar desperdícios e a criar um fluxo contínuo de trabalho, estes são:

- **Transporte:** Representa uma movimentcao desnecessária de materiais, produtos ou equipamentos de um lugar para outro pode aumentar o tempo de ciclo, o custo e o risco de danos. Para Shingo (1981), o layout  uma questão crítica para o sucesso da producao, pois a disposicao física dos equipamentos, máquinas e materiais numa fábrica têm um impacto significativo na eficiência e produtividade. O layout de fluxo consiste no agrupamento das operacoes de producao de acordo com o fluxo de valor, de forma que as peças e produtos possam fluir de uma etapa para outra com o mínimo de transporte e manuseio. Shingo realcou a importância do layout como um elemento fundamental do processo de producao e destacou a necessidade de implementar layouts que permitam fluxos contínuos e eficientes de materiais e produtos, reduzindo o desperdício de transporte e movimentcao.
- **Inventário:** Corresponde a qualquer bem econmico mantido para venda ou uso futuro numa empresa e representa uma das principais fontes de desperdício na producao, isto porque representam um investimento de capital que está imobilizado e não gera qualquer tipo de valor para o cliente ou para a empresa. O inventário excessivo pode levar a problemas de capacidade, aumento de custos, obsolescência e maiores dificuldades relativas a necessidade de resposta face às mudanças de mercado. A implementacao de práticas *lean* tem como objetivo minimizar a quantidade de inventário mantida em stock, aumentar a flexibilidade e melhorar essa capacidade de resposta  procura do mercado (Karlsson & hlstrm, 1996);
- **Movimentcao:** A movimentcao desnecessária pode ser relativa às pessoas ou aos equipamentos e leva a perdas de tempo e esforco desnecessário. Este desperdício advm de layouts pouco eficientes e

deve ser eliminado através da redução da necessidade de movimentação e da utilização de dispositivos para auxiliar os transportes (Ohno, 1988);

- **Espera:** O tempo de espera pode ocorrer quando a produção de um processo anterior não está concluída, há falta de materiais ou equipamentos, falta de pessoal, entre outros. Este desperdício resulta em atrasos, perda de tempo e diminuição da produtividade. A eliminação deste desperdício envolve a coordenação do fluxo de produção e eliminação das causas raiz que levam a esse tempo de espera.
- **Sobreprodução:** Produzir mais do que aquilo que é necessário ou a produção antecipada pode resultar em excesso de inventário, desperdício de recursos e custos adicionais de armazenamento e manuseio. Este desperdício pode ser evitado com base em análises de procura ou um sistema *pull* de forma a perceber quando é necessário produzir e a quantidades necessária.
- **Sobreprocessamento:** muitas vezes são realizadas operações extra para produzir aquilo que é pretendido, quer sejam por erro do operador ou da máquina, estas fazem com que os custos sejam maiores.
- **Defeitos ou Retrabalho:** representa os produtos defeituosos feitos durante a produção, e que obrigam os operadores e máquinas a refazerem o mesmo trabalho. Estes erros têm de ser reduzidos, uma vez que representam custos muito elevados.

Atualmente, fala-se de um oitavo desperdício, o desperdício intelectual ou do conhecimento, isto é, do não aproveitamento do potencial humano, *waste of skills*. Este refere-se à subutilização ou não utilização das competências de conhecimento ou experiências dos funcionários em prol da organização. Este desperdício pode levar à insatisfação e desmotivação, redução da produtividade e perda de oportunidades de melhoria e, por isso, as empresas devem procurar implementar práticas lean que valorizem e desenvolvam o potencial humano, pois é um elemento-chave para o sucesso da organização como um todo.

## 2.2. Six Sigma

Cada vez mais as empresas “vovem” sob pressão, o mercado e a competitividade assim o exigem, obrigando à procura de melhorar a cada dia, de forma a manterem-se competitivas, satisfazerem os seus clientes atuais e conquistarem novos clientes, e aumentar a qualidade dos seus produtos. No entanto, enquanto procuram melhorar é necessário aumentar a eficiência, reduzindo erros e retrabalho. Para isto existe um vasto número de ferramentas, métodos e conceções que podem ser aplicados em várias áreas da empresa que devem ser utilizados para manter um bom nível de qualidade e que proporcionam o desenvolvimento contínuo da empresa (Smętkowska & Mrugalska, 2018).

Em 2000, Roger Snee definiu *Six Sigma* como uma metodologia estatística e de gestão de qualidade que procura concentrar-se na identificação e eliminação de causas raiz de defeitos e variações num processo de produção ou negócio. Esta metodologia é baseada na medição e análise de dados para identificar oportunidades de melhoria e reduzir a variabilidade do processo (R. Snee, 2000).

O conceito *Six Sigma* teve origem na Motorola em 1985 nos EUA. Na altura, a empresa enfrentava a ameaça da concorrência japonesa na indústria eletrónica e necessitava de realizar melhorias drásticas ao nível da qualidade. Bill Smith, engenheiro da Motorola desenvolveu a metodologia de forma a ajudar a empresa a melhorar a qualidade e reduzir custos. O termo *Six Sigma* refere-se a um termo estatístico que indica a quantidade de variação permitida num processo, isto é, a meta da metodologia é reduzir a variabilidade do processo a um nível em que haja menos de 3,4 defeitos por milhão de oportunidades. A partir daqui a Motorola implementou a metodologia *Six Sigma* obtendo resultados muito positivos para a empresa e tendo sucesso na melhoria da qualidade e da redução de custos.

*Six Sigma* apresenta tanto componentes de gestão como componentes técnicas. Do lado da gestão concentra-se em obter as métricas e metas de processo corretas, os projetos certos e as pessoas indicadas para trabalhar nos projetos e o uso de sistemas de gestão para concluir os projetos com sucesso. No lado técnico, o foco está em melhorar o desempenho do processo, reduzindo a variabilidade (R. Snee, 2000).

Kumar et al. (2006) destaca, também, a importância de um compromisso forte da alta gestão de topo e uma cultura de melhoria contínua em toda a organização para garantir o sucesso da implementação do *Six Sigma*.

Flifel et al. (2017) analisaram vários casos de estudo de implantação de *Six Sigma*, bem e malsucedidos, e identificaram os seguintes fatores como sendo críticos para a implementação da metodologia:

- **Comprometimento da gestão de topo:** A liderança deve estar comprometida com a implementação do *Six Sigma* e deve apoiar e promover a mudança cultural necessária para torná-lo bem sucedido.
- **Escolha adequada de projeto:** é importante escolher projetos que sejam relevantes para os objetivos estratégicos da empresa e que possam ser realizados com sucesso dentro do prazo e dos recursos disponíveis.
- **Envolvimento dos colaboradores:** os colaboradores devem estar envolvidos no processo de implementação, isto ajuda a garantir que todos os membros da equipa estão comprometidos e trabalham juntos para alcançar os objetivos do projeto.
- **Utilização adequada de ferramentas e metodologias:** A escolha das ferramentas e metodologias *Six Sigma* adequadas ao projeto em questão é essencial e tem de ser tida em consideração a complexidade do projeto, os recursos disponíveis e o conhecimento da equipa.
- **Monitorização e medição do processo:** A empresa deve monitorizar de forma regular o progresso do projeto e medir os resultados alcançados. Isto ajuda a identificar os potenciais problemas antecipadamente e a tomar as medidas necessárias para manter o projeto no caminho certo.

Purba et al. (2021) aborda vários benefícios associados à implementação do *Six Sigma*, tais como, a melhoria da qualidade, uma vez que a metodologia em questão é orientada por dados e estatística que ajudam as empresas a identificar e eliminar a variação nos processos, consequentemente, reduzem-se os defeitos e melhora-se a qualidade dos produtos ou serviços; a redução dos custos, que está associada à melhoria de qualidade e a eliminação dos defeitos nos processos; o aumento da satisfação dos clientes seguido de um aumento do volume de vendas; aumento da eficiência, através da identificação e eliminação das atividades desnecessárias e que não acrescentam valor; melhoria na comunicação e colaboração, pois a implementação de *Six Sigma* deve conter uma melhoria na comunicação e colaboração entre equipas, de forma a melhorar a resolução de problemas e tomada de decisões com mais informação.

### 2.3. Lean Six Sigma

Nos dias de hoje a estratégia Six Sigma é cada vez mais utilizada em simultâneo com estratégias Lean, que se concentram na eliminação de desperdícios e atividades desnecessárias nos processos. As empresas utilizam as estratégias em simultâneo com o objetivo de diminuir as fraquezas e aumentar os seus pontos fortes combinando as ferramentas e técnicas de redução de variabilidade do Six Sigma com as de eliminação de desperdício e das atividades que não acrescentam valor do Lean Manufacturing (Kumar et al., 2006).

O termo *Lean Six Sigma* surge no final dos anos 1990 e início dos anos 2000 para descrever a combinação das duas filosofias (Cherrafi et al., 2016).

Segundo R. D. Snee (2010), os objetivos de melhoria e necessidades de uma organização estão apresentados na figura 2.1.

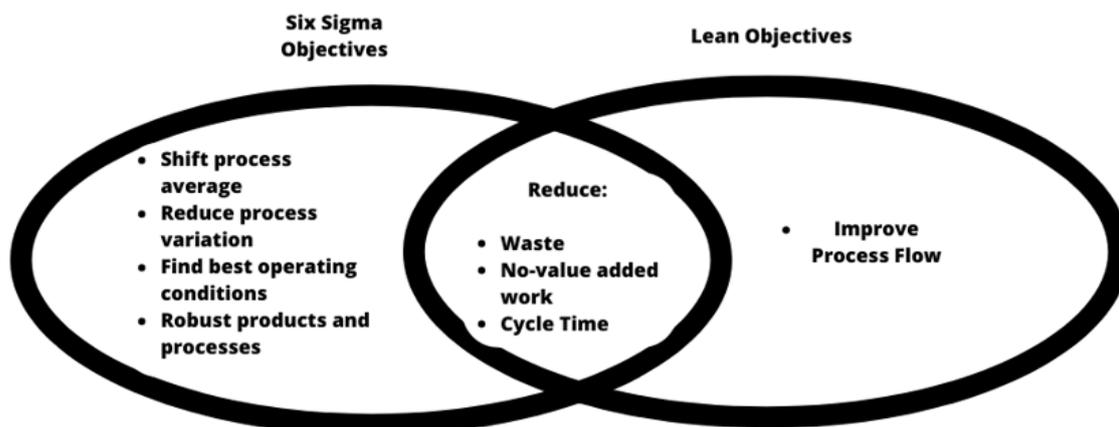


Figura 2.1: Objetivos de Melhoria do Lean Six Sigma

No contexto organizacional, para a implementação de *Lean Six Sigma*, a metodologia DMAIC é considerada a mais eficaz, pois representa uma abordagem disciplinada, simples e sistemática que aponta para uma rápida conclusão dos projetos onde é aplicada e onde é possível integrar conceitos *Lean* e *Six Sigma* (Snee, 2010; Thomas et al., 2008).

## 2.4. Ciclo DMAIC

O ciclo DMAIC é uma ferramenta *Lean Six Sigma* de melhoria contínua que é, muitas vezes, descrita como uma metodologia de resolução de problemas e melhoria de processos que tem por base os objetivos pretendidos pelas empresas. Embora a Motorola tenha sido a primeira a popularizar o ciclo DMAIC, a metodologia em si evoluiu a partir de uma variedade de técnicas de melhoria de processos que se desenvolveram ao longo do tempo.

As cinco fases do ciclo DMAIC (D- Define; M- Measure; A- Analyze, I- Improve, C-Control) têm várias etapas a si associadas e na tabela 2.1 estão as mesmas expressas, de forma a perceber aquilo que está atribuída a cada fase:

**Tabela 2.1:** Descrição das cinco fases do ciclo DMAIC, segundo diferentes autores

Fase	Descrição da fase	Autor
Definir	Esta é a primeira fase do ciclo DMAIC que envolve a definição do problema, a identificação das metas e objetivos do projeto, definir os recursos e responsabilidades. É importante estabelecer um plano claro para o projeto para garantir que tudo está alinhado em relação ao problema que está a ser abordado e aos objetivos que são desejados.	(N & S, 2011)
Medir	A segunda fase passa por medir o processo atual, desde a recolha de dados através da identificação de métricas válidas e fiáveis, analisar esses mesmos dados de forma a perceber como é que o processo atual se encontra e onde é que estão a ocorrer os problemas. Estes dados podem incluir informações sobre o tempo de ciclo, erros e retrabalho, qualidade, eficiência. É uma etapa fundamental para identificar a raiz dos problemas.	Pyzdek, T. (2003).

Analisar	A terceira fase consiste na análise dos dados recolhidos anteriormente para determinar as causas-raiz dos problemas e determinar quais são as áreas que necessitam de melhorias. Uma variedade de métodos e ferramentas são utilizados para identificar essas possíveis causas-raiz e confirmar a relação entre estas e o desempenho do processo.	(Ganguly, 2012)
Melhorar	Esta fase de melhoria envolve desenvolver soluções para os problemas identificados e implementar um plano de ação para fazer as melhorias necessárias. As soluções devem incluir aprimoramentos nos processos, treino de funcionários, nova tecnologia ou atualizada e outras mudanças. É importante testar e verificar as melhorias para garantir que são eficazes antes de implementá-las em toda a organização.	(Pande et al., 2003)
Controlar	A última fase consiste na implementação de controlos de forma a monitorizar o processo e garantir que as melhorias são de facto sustentáveis a longo prazo. Isto pode ser feito através de um monitoramento contínuo, treino adicional, documentação do processo atualizada e outras medidas que garantam que os processos permanecem eficazes e eficientes ao longo do tempo.	(Linderman et al., 2003)

Nestas cinco fases do ciclo DMAIC, para além de compreender as várias atividades a si associadas, é importante também compreender quais são as ferramentas que são usualmente utilizadas em cada uma. Na tabela 2.2 é possível perceber as ferramentas associadas a cada fase segundo Kosieradzka & Ciechańska et. al. (2018).

**Tabela 2.2:** Ferramentas associadas a cada fase do ciclo DMAIC (Kosieradzka & Ciechańska, 2018)

Fase	Ferramentas
Definir	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Project Charter</li> <li>• Fluxograma do processo</li> <li>• Diagrama SIPOC</li> <li>• Análise de <i>stakeholders</i></li> <li>• VSM</li> <li>• Gemba Walk</li> <li>• Gestão Visual</li> </ul>
Medir	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planeamento de Recolha de Dados</li> <li>• Identificação e Seleção de Dados</li> <li>• Avaliação do Sistema de Medição</li> <li>• VSM</li> </ul>
Analisar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análise de Correlação Entre Variáveis</li> <li>• Verificação de Hipóteses</li> <li>• Elaboração da Lista de Causas Raíz</li> </ul>
Melhorar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Design of Experiments (DOE)</i></li> <li>• <i>Brainstorming</i></li> <li>• <i>5 S</i></li> <li>• <i>Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)</i></li> <li>• <i>Standard Work</i></li> </ul>
Controlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cartas de Controlo</li> <li>• Cálculos da Redução de Custos</li> <li>• Plano de Controlo</li> <li>• Controlo Estatístico do Processo</li> <li>• <i>Daily Kaizen</i></li> </ul>

### **3. CASO DE ESTUDO**

Neste capítulo é apresentada a empresa Bresimar Automação onde a dissertação foi desenvolvida. É realizada uma pequena introdução relativa à empresa, seguida de uma apresentação à unidade de negócio *Tekon Eletronics* conjuntamente com os produtos que vão ser abordados. Posteriormente, são abordados todos os aspetos relevantes para o projeto relativos ao processo de produção da empresa. Por fim é descrito o problema que foi analisado.

#### **3.1. A empresa**

##### **3.1.1. Bresimar Automação**

A Bresimar Automação, S.A foi fundada em 1982, na altura com o nome Bresimar – Sociedade de Equipamentos Elétricos, LDA, que comercializava materiais elétricos para a indústria, construção civil e naval.

Em 1985, a Bresimar Automação dá início aos acordos comerciais para a importação e representação exclusiva em Portugal com os fabricantes das principais marcas de equipamento para a automação industrial. Em 1999, dá-se a mudança de instalações e inauguração da sua sede em Aveiro.

Em 2006, a empresa passa a ser designada por Bresimar Automação S.A. afirmando-se como líder em automação industrial e, posteriormente, em 2010, acontece a criação e registo das marcas ASATEK e Tekon Electronics.

Atualmente, a Bresimar está vocacionada para a indústria em geral, disponibilizando uma vasta gama de produtos e sistemas com aplicações em diferentes soluções industriais. Tem como visão ser referência de mercado onde atua, inovadora, apresentando as melhores soluções com adaptação às exigências e necessidades de cada cliente.

### **3.1.2. Tekon Eletronics**

A Tekon Eletronics é uma marca europeia com sede em Portugal, especializada no desenvolvimento e fabrico de tecnologia inovadora de sensores sem fios. É uma unidade de negócios da Bresimar Automação, S.A. A Tekon desenvolve e fabrica soluções sem fios para aplicações de medição e monitorização, focando-se em tópicos atuais como a *Internet of Things* e a Indústria 4.0. Uma equipa de I & D capacitada e conjugada com um planeamento de produção rigoroso são alguns dos fatores críticos de sucesso para o desenvolvimento de produtos.

Como foi anteriormente referido a Bresimar Automação criou uma marca em 2010, a Tekon Eletronics, devido à existência de um mercado em constante evolução tecnológica e permanente avanço em contexto digital, que motivava a visão de expansão global.

A investigação, desenvolvimento e inovação (*I&D+I*) é um pilar estratégico no crescimento da Bresimar Automação e da unidade de negócios Tekon Eletronics. Este pilar tem contribuído para a elaboração de soluções pioneiras no mercado nacional, com elevado potencial de exportação. Estas soluções definem as orientações da atividade para os novos nichos de negócio, com características distintas dos anteriormente explorados pela Bresimar Automação.

A evolução tecnológica para sistemas wireless advém do enorme potencial, capaz de agregar valor à experiência produtiva da Bresimar Automação, de mais de 20 anos, em processos de produção de sondas de temperatura e nível, onde é uma referência de mercado.

## **3.2. Produtos da Tekon Eletronics**

A produção da Tekon oferece ao cliente soluções confiáveis de monitorização. A linha de produtos abrange sensores sem fio, transmissores sem fio, transmissores com fio, software, sondas e acessórios.

A empresa está comprometida com o desenvolvimento de soluções inovadoras, entregando produtos de mais alta qualidade que atendam às necessidades de cada cliente.

### **3.2.1. Plus System Overview**

O Plus System Overview é um sistema de fácil utilização que permite a transmissão sem fios de variáveis de processo que possam ser transformados em sinal analógico. O sistema Sem Fios PLUS foi projetado para monitorizar sinais de 4.20 mA / 0.10V, providenciando uma comunicação segura, sem os requisitos de uma solução complexa com fio. Condutividade, PH, vibração, humidade, nível, pressão e temperatura são alguns exemplos de variáveis de processo industrial que podem ser monitorizadas através da solução *Wireless Plus*.

#### **3.2.1.1. Casos de aplicação do produto**

##### **Monitorização do Nível de um Tanque**

A família de produtos *PLUS* monitorizou um sistema de abastecimento de tanque de água, projetado para garantir o fornecimento de água numa unidade deslocada. A aplicação da instrumentação com sensores diversificados, que monitorizam a pressão, temperatura, fluxo, nível e válvula de segurança, suporta a garantia máxima da disponibilidade contínua do processo.

##### **Monitorização de resíduos biodegradáveis**

Dentro de uma instalação de gestão de resíduos, o processo de compostagem de elementos biodegradáveis deve ser constantemente monitorizado, a fim de controlar o estágio ideal de matérias-primas e acelerar a rotação de recursos. O desenvolvimento de um sistema de monitorização sem fio, composto por um transmissor *PLUS* alimentado por baterias, juntamente com a solução de *cloud Tekon Eletronics*, a plataforma *IoT*, certificou o processo de colocação de sondas e monitorização em tempo real de todas as fases.

### Tratamento térmico em tambor industrial

Várias indústrias são equipadas com tambores rotativos para tratamentos térmicos como parte do processo de produção. A monitorização de temperatura pode ser simplificada com a utilização de soluções sem fios, sem ter qualquer interferência no movimento normal de rotação do equipamento, em vez das soluções com fios, que podem ser um obstáculo nesse ambiente, além de ser mais dispendioso. O posicionamento de transmissores sem fio TWPH – 1UT ao longo do tambor ofereceu vários pontos de medição de temperatura e maior confiabilidade do processo de medição, como se pode ver na figura 3.1.

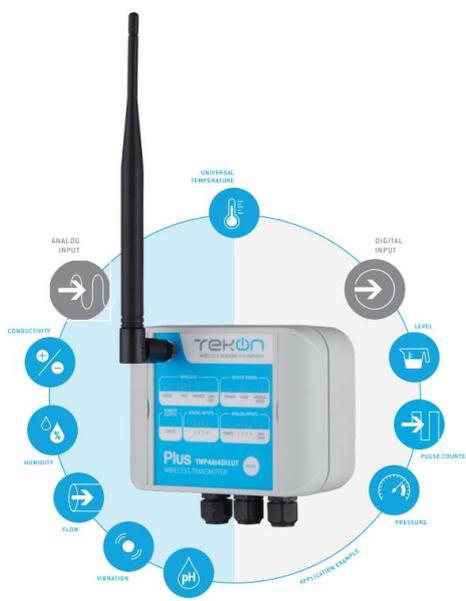


Figura 3.1: Plus System Overview

#### 3.2.2. Transmissor de Temperatura de Cabeça

Os transmissores de temperatura de cabeça, ou TTC, da *Tekon Electronics* são projetados especificamente para responder aos mais rigorosos requisitos de operação nos ambientes de processos industriais. A Tekon Eletronics desenvolveu este produto com especificações com alta precisão e exatidão com baixa temperatura de operação.



**Figura 3.2:** Transmissor de Temperatura de Cabeça, TTC

### 3.3. Definição do Processo

#### 3.3.1. Descrição do Processo de Preparação da Caixa

Todos os produtos produzidos na Tekon Eletronics passam por várias etapas até serem apresentados como um produto final ou produto acabado. Neste projeto será abordado o primeiro passo do processo produtivo, a preparação da caixa.

O processo de preparação da caixa consiste na realização de atividades necessárias na caixa para esta poder prosseguir o seu processo produtivo. Para isso é preciso realizar maquinações nas mesmas conforme as especificações. Estas maquinações são feitas através de uma máquina de controle numérico computadorizado (CNC), que é uma máquina que utiliza um sistema de controle computadorizado para automatizar a operação de ferramentas mecânicas, como tornos, fresadoras, entre outras. Ao invés de as peças serem operadas manualmente pelo operador, as máquinas CNC são programadas com um conjunto de instruções de código G, que é uma linguagem de programação específica para máquinas CNC, que instruem à máquina exatamente como se mover e maquinar a peça. Estas instruções são carregadas num software de controlo que é executado na própria máquina, ou, no caso da Tekon, num computador conectado à máquina.

A máquina CNC utilizada na Tekon Eltronics foi produzida na própria empresa e está representada na figura 3.3.



**Figura 3.3:** Máquina CNC

Nas figuras 3.4 e 3.5 estão identificadas a caixa de um Transmissor de Temperatura de Cabeça e de um sistema *Wireless Plus*, respetivamente. As caixas são adquiridas a um fornecedor e, posteriormente, são preparadas para poderem seguir o processo produtivo. A preparação da caixa consiste na maquinação da mesma, no entanto, como a produção da Tekon procura sempre ir ao encontro das necessidades do cliente, ambas as peças podem levar diferentes maquinações/furações consoante o produto que é necessário maquinar, logo a mesma caixa pode representar diferentes peças cujas referências são diferentes.



**Figura 3.4:** Caixa de um TTC



**Figura 3.5:** Caixa de um sistema *Wireless Plus*

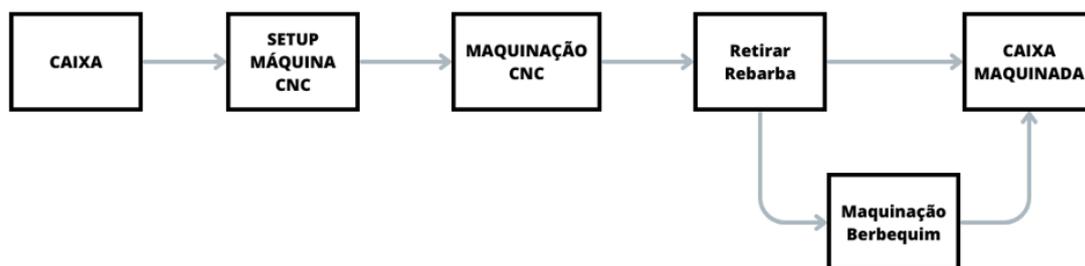
Na figura 3.6 é possível perceber um tipo de maquinação feito, tanto no transmissor de temperatura de cabeça, como no sistema *wireless plus*, no entanto, este é apenas um exemplo, pois pode ter maquinações em locais diferentes da peça.



**Figura 3.6:** Exemplo de um tipo de maquinação feito num TTC e num sistema *Wireless Plus*, respetivamente

### 3.3.2. Etapas do processo de preparação da Caixa

O esquema da figura 3.7, representado em baixo apresenta, muito sinteticamente, o processo de preparação da caixa no sistema atual, onde, primeiramente, o operador faz o *setup* da máquina CNC consoante as especificações necessárias. De seguida, faz a maquinação das peças. Devido às limitações da máquina CNC, existe necessidade de aperfeiçoar o acabamento, retirando as rebarbas deixadas pelo processo de maquinação, trabalho esse efetuado de forma manual. Quando necessário é realizada uma outra operação de furação usando um berbequim manual. Após as operações supramencionadas, a caixa é considerada como maquinada, seguindo o fluxo do processo produtivo.

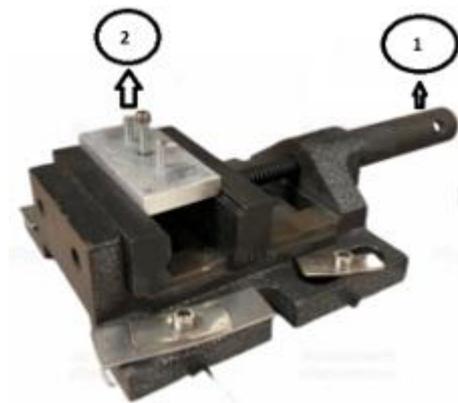


**Figura 3.7:** Fluxograma Processo de Preparação da Caixa

#### 3.3.2.1. Fase de Setup

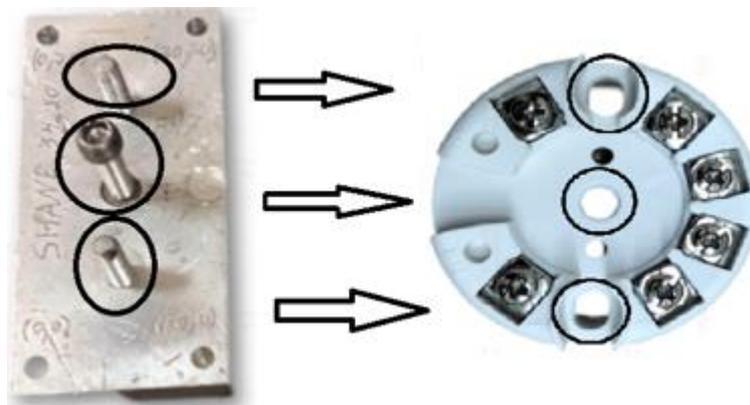
Num primeiro passo existe a preparação da máquina CNC, a denominada fase de *setup*, onde o operador tem de colocar um JIG, que é uma ferramenta utilizada para o auxílio na maquinação. Este é projetado para garantir a precisão e a eficiência do processo,

tal como para orientar a posição correta das peças e fixar a mesma numa posição específica durante a maquinação. Existem duas formas distintas de fixação das peças, dependendo do produto final, se para os transmissores de temperatura de cabeça ou para o sistema *wireless plus*. Na figura 3.8 está representada a forma como é feita a fixação dos transmissores, onde é possível identificar um torno de bancada (1), este encontra-se instalado na bancada, pois é este que vai servir para apertar o JIG (2), relativo aos transmissores de cabeça. O JIG relativo ao sistema *wireless plus* está representado na figura 3.10 e este não necessita de um torno de bancada, é colocado diretamente na base da máquina CNC.



**Figura 3.8:** Forma de Fixação dos TTC

No caso do JIG dos transmissores da cabeça, este contém dois pontos para garantir a posição da peça no JIG e outro ponto (central) para garantir a fixação. A figura 3.9 exemplifica melhor onde é que os pontos encaixam no transmissor de forma a posicioná-lo e a fixá-lo no JIG.



**Figura 3.9:** Forma de encaixe entre o JIG e o TTC

O JIG correspondente ao sistema *wireless plus* está identificado na figura 3.10. neste caso, o JIG apenas apresenta pontos que garantam a posição da peça, pelo que a fixação da peça não é garantida na sua totalidade.



**Figura 3.10:** JIG do sistema Wireless Plus

A etapa de *setup* requer muita atenção por parte do operador, uma vez que este precisa de garantir que os pontos de referência da máquina estão alinhados e que a posição da peça é perfeita, pois caso isto não aconteça a sua maquinação será considerada como não conforme.

### 3.3.2.2. Fase de Maquinação CNC

Após terminada a fase de *setup*, segue-se a fase de maquinação CNC. Após o operador colocar a primeira peça na fixação, este inicia o processo de maquinação. O tempo deste processo dependerá do tipo de peça, da sua referência e do número de peças que o operador deseja maquinar. O tempo de maquinação de uma unidade pode variar entre 30 segundos e 15 minutos, dependendo do número de furações necessárias e do nível de detalhe das mesmas.

No modelo atual, a maquinação é feita peça a peça, o operador tem a função de colocar uma peça na fixação como está demonstrado na figura 3.11, e, após a peça estar maquinada, retirar, colocar outra e maquinar, isto até ter maquinado o número de peças que deseja. É de notar que o operador, depois de maquinar a primeira peça de um lote, verifica se a maquinação está conforme, caso esteja prossegue com o processo, caso não se encontre de acordo com as especificações, o operador tenta perceber onde se encontra o erro e resolve-o.

No caso do sistema *wireless plus*, o operador, enquanto as peças estão a maquinar, usa as duas mãos, segurando o aspirador para ir limpando as rebarbas durante o processo e com a outra mão segura a peça que está no JIG, uma vez que, no modelo atual do processo, o JIG de fixação apresenta problemas de funcionamento e existe a probabilidade de este não fixar e segurar a peça convenientemente.

Na figura 3.11 está representada a forma como o operador realiza a maquinação de um sistema *wireless plus*, onde é possível observar que ao mesmo tempo que a máquina está em funcionamento, este segura a mesma com uma mão e com a outra vai limpado a peça com o aspirador.



**Figura 3.11:** Maquinação de um sistema Wireless Plus

### **3.3.2.3. Fase de Retirar Rebarba**

As limitações da máquina CNC representam um grande problema no processo, razão pela qual o operador necessita de trabalhar as peças manualmente. O processo de maquinação CNC deixa rebarbas nos furos das peças, em especial nas suas bordas, pelo que é necessária a sua remoção, através da rebarbação, para que a peça fique perfeita e possa avançar para a etapa seguinte.

Na imagem 3.12 é possível ver as saliências, rebarbas que ficam na peça, após maquinação, o que não permite que a peça avance no processo e, por isso, o operador tem de retirar esta rebarba manualmente.



**Figura 3.12:** Exemplo de uma peça que apresenta rebarba

#### 3.3.2.4. Fase de Maquinação com Berbequim

Existe ainda uma terceira fase em algumas referências em que, após a maquinação CNC, é necessário realizar uma maquinação manual utilizando um berbequim. A fase de maquinação com berbequim é uma etapa adicional em caso de necessidade, aplicável por uma das seguintes razões, ou por limitação da máquina CNC, que não consegue garantir a mesma qualidade comparada com a operação manual ou por necessidade de furações de dimensões diferentes que exijam que o código G tenha de ser alterado.

Como exemplo temos um sistema de temperatura *wireless plus*, TWPH-1UT, demonstrado na figura 3.13. Nesta peça os furos nas zonas 2, 3 e 4 são realizados pela máquina CNC, enquanto os furos 1 e 5 são realizados manualmente pelo operador, com um berbequim.

Neste exemplo é possível verificar que, o operador realiza a maquinação com berbequim em furos de menor dimensão, pois, a máquina CNC, tem uma velocidade de corte muito elevada e deixa rebarba, sendo difícil a sua remoção, razão pela qual o operador realiza a maquinação manualmente, obtendo um melhor acabamento da peça.



**Figura 3.13:** Tipo de Maquinação de um TWPH-1UT

Após estarem concluídas estas três etapas, a caixa está pronta para prosseguir o seu processo produtivo.

### **3.4. Descrição do Problema**

Com a descrição geral do processo é possível identificar potenciais pontos de falhas, que podem acontecer devido à presença de deficiências na fixação da peça na máquina CNC, às limitações apresentadas pela máquina e à grande influência por parte do operador no processo nas suas diferentes fases. Esta variabilidade de potenciais falhas pode levar a defeitos no produto final ou produtos de qualidade inferior e a um aumento de custos de produção, uma vez que os processos requerem várias intervenções manuais realizadas pelo operador, por isso, tendem a demorar mais tempo. Este aumento de tempo no processo interfere na utilização eficiente de recursos, materiais e conduzem a uma agilização nos prazos de entrega.

Atualmente, existem vários problemas presentes neste processo, problemas estes relativos aos métodos utilizados que podem causar um tempo de processamento elevado, etapas adicionais, aumento da probabilidade de defeitos, variabilidade, desperdícios e uma má gestão dos recursos. O método é a maior causa para estes efeitos. De momento, o processo apresenta um elevado número de passos, associado a uma maior probabilidade do erro humano, por isso, é necessário analisar os problemas encontrados em cada etapa do processo e perceber de que forma é que estes erros podem ser reduzidos e, até mesmo, eliminados. Na tabela 3.1 estão expressos os problemas encontrados em cada fase do processo.

**Tabela 3.1:** Descrição dos Problemas Encontrados em Cada Fase

Fase	Problemas encontrados
Setup Máquina CNC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O <i>setup</i> da máquina CNC é feito de forma manual, representando um enorme problema para o operador, pois este tem de colocar de forma perfeita a fixação da peça para que a furação seja feita no local desejado, o que exige um elevado nível de detalhe.</li> <li>• O <i>setup</i> muda consoante a peça em questão, logo, se o operador quiser mudar a produção para uma peça diferente, tem de mudar todo o <i>setup</i> da máquina CNC.</li> <li>• Má utilização da capacidade total da máquina. O sistema atual apenas permite a fixação e respetiva maquinação de peças unitárias, contudo, a máquina tem capacidade e espaço para maquinar mais peças de forma sequencial.</li> </ul>
Maquinação CNC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Como a fixação da peça não é a ideal, o operador é obrigado a estar alocado à máquina, o que o impede de realizar outras atividades paralelas enquanto a máquina está em funcionamento.</li> <li>• A velocidade de corte da máquina CNC é demasiado elevada, o que leva a que maquinações com certas dimensões fiquem com um mau acabamento.</li> </ul>
Retirar Rebarba	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Este processo é uma consequência das limitações da máquina CNC, representando um maior lead time do processo.</li> </ul>
Maquinação Berbequim	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A maquinação com berbequim é uma etapa adicional e é feita manualmente, aumentando o <i>lead time</i> do processo e uma probabilidade significativa de retrabalho, de pouca eficiência e uma menor qualidade no produto.</li> </ul>

## 4. CICLO DMAIC

A Bresimar Automação é uma empresa que tem como foco a formação do grupo e dos seus colaboradores em metodologias e ferramentas orientadas para a melhoria contínua, a fim de obter melhores resultados, tornar-se mais competitiva no mercado onde está inserida, daí o seu investimento nestas ferramentas.

O ciclo DMAIC é uma ferramenta *Lean Six Sigma* de melhoria contínua e será a ferramenta, perante este projeto e a revisão de literatura feita, que melhor se adaptará para abordar o problema e para estruturar o projeto e, conseqüentemente, apresentar soluções para combater o problema encontrado.

Neste capítulo encontram-se descritas as cinco fases presentes no ciclo DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve e Control*) que foram descritas no capítulo da revisão bibliográfica.

### 4.1. Definir

O ciclo DMAIC inicia-se com a fase de definir, etapa crucial para o sucesso de todo o projeto. Nesta etapa é definido o problema e as oportunidades de melhoria, é estabelecida a equipa e os membros que farão parte do projeto, são também delineados os objetivos e as respetivas metas. É também essencial definir o resultado esperado, pois este define as fronteiras do projeto que ajudam a delimitar as atividades necessárias e a inclusão de atividades desnecessárias.

#### 4.1.1. Project Charter

O Project Charter é uma ferramenta utilizada para realizar o alinhamento e a compreensão comum do projeto entre os membros da equipa do projeto. Esta ferramenta, para além de servir como referência central para o projeto, no qual está descrito o projeto de forma clara e concisa, serve de guia para orientar toda a equipa do projeto ao fornecer as diretrizes sobre o projeto em si, as restrições, recursos necessários e as expectativas no geral.

**Problema** – A metodologia do processo de preparação da caixa no modelo atual representa uma elevada variabilidade, tanto em termos de tempo de processamento, como em termos de utilização de recursos e materiais e apresenta, também, uma elevada exposição ao erro provocado pelo operador.

**Limites do projeto** – O processo está limitado pelos recursos utilizados, como a máquina CNC que limita o processo devido à necessidade da sua utilização.

**VOC (Voice of Customer)** – Neste projeto o operador será a voz associada às necessidades de avançar com o mesmo projeto, de momento os requisitos apresentados pelo operador são a otimização do seu trabalho, tornando-o mais eficiente, para isso é necessário extinguir, ou pelo menos reduzir, as atividades que este realiza que não acrescentam qualquer tipo de valor ao processo.

**Equipa de trabalho** – Na tabela 4.1 está identificada a equipa de trabalho, onde é possível ver todos os seus elementos. Esta equipa foi construída com base na diversificação de forma a integrar as diferentes áreas da empresa.

Tabela 4.1: Equipa de Trabalho

<b>Líder de Equipa - João Pacau</b>
<b>Colíder de Equipa - Black Belt</b>
<b>Master Black Belt</b>
<b>Diretor Geral</b>
<b>Diretor Financeiro</b>
<b>Diretor de Operações</b>
<b>Diretor da Qualidade</b>
<b>Diretor de IT</b>

**Objetivo** – O objetivo do projeto é reformular o método do processo de maquinação CNC na fase de preparação das caixas de forma a tornar o processo mais automatizado e eficiente.

**Benefícios** – Com o objetivo atingido é suposto:

- Diminuir o Lead Time do processo;
- Diminuir o retrabalho e o seu custo;
- Aumentar a capacidade do processo;
- Aumentar o número de atividades realizadas em simultâneo;
- Diminuir o WIP.

**Meta** – Na tabela 4.2 é possível observar o planeamento da abordagem a cada fase do ciclo DMAIC, em que o número de semanas corresponde ao número de semanas previstas de estágio.

**Tabela 4.2:** Cronograma Ciclo DMAIC

Fase/semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Definir	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Medir			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
Analisar	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Melhorar									■	■	■	■	■	■	■	■
Controlar	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

## 4.2. Medir

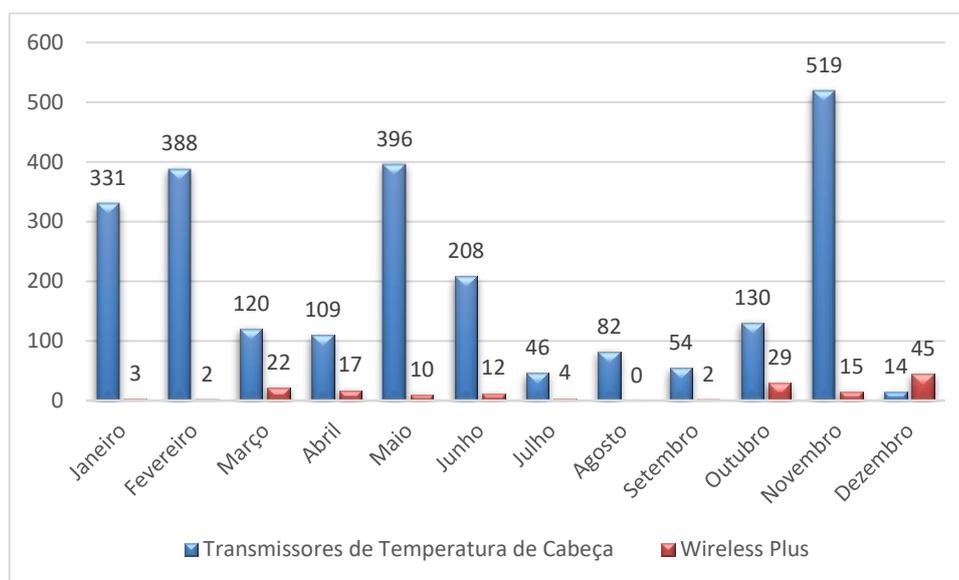
Nesta segunda fase da metodologia DMAIC, começamos a medição do sistema atual, com o objetivo de adquirir o máximo de informação sobre o processo em si e estabelecer métricas válidas e fiáveis. Isto inclui identificar variáveis-chave que afetam o processo e definir os indicadores de desempenho (KPI's) que serão utilizados mais à frente na avaliação da eficácia das soluções propostas.

### 4.2.1. Estudo da Produção

Primeiramente, inicia-se a fase de medição com um estudo de produção. Para isso são recolhidos dados históricos relativos à produção dos objetos em estudo (Wireless Plus e Transmissores de Temperatura de Cabeça). De forma a ter uma quantidade

significativa de dados foi selecionada uma amostra relativa ao ano de 2022, com início em janeiro de 2022 e finalizado em dezembro de 2022. As quantidades produzidas de cada produto ao longo de 2022 encontram-se apresentadas no gráfico 4.1.

**Gráfico 4.1:** Quantidades produzidas de cada produto ao longo de 2022



O sistema de produção da Tekon Eletronics é um sistema pull, isto é, as peças são produzidas com base na procura real, o que já permite uma abordagem mais flexível e adaptável consoante a necessidade dos clientes e os inputs de mercado.

No gráfico 4.2 está representada percentualmente a produção da Tekon Eletronics do ano 2022, onde estão identificadas as percentagens de produção vendida de Transmissores de Temperatura de Cabeça, Wireless Plus (que têm a necessidade de maquinação) e o resto da produção. A partir deste gráfico é possível perceber que 28% da produção é referente aos produtos em estudo, sendo que a maior parte dela (26%) é relativa aos transmissores de temperatura de cabeça.



**Gráfico 4.2:** Unidades Vendidas em 2022, em percentagem

Para além de perceber aquilo a que corresponde, em termos percentuais, a produção da Tekon, em que este estudo se baseia, é importante perceber também, desta percentagem, aquela que tem necessidade de maquinação adicional através do berbequim. Através da tabela 4.3 é possível perceber que a quantidade de peças em que é necessária a maquinação manual e a correspondente percentagem, tendo em conta as peças que são maquinadas e a produção total, ou seja, do total de peças que são maquinadas, 15% necessita de maquinação berbequim, sendo que, se for relativo à produção total da Tekon Eletronics, apenas 4% necessita de maquinação com berbequim.

**Tabela 4.3:** Percentagens relativas à necessidade de maquinação com berbequim

Quantidade Maquinação CNC	Quantidade Maquinação Berbequim	Qt.Maqui. Berbequim/Qt. Maqui. CNC	Qt.Maqui.Berbequim/Total Produção
2558	389	15%	4%

#### 4.2.2. Análise dos tempos

Dentro desta fase de medição é essencial fazer uma análise de tempos de forma a identificar e quantificar a duração de cada etapa do processo e, a partir daí, identificar áreas de melhoria e estabelecer metas de desempenho.

Para isso, foi feita uma análise dos tempos de cada etapa do processo de preparação da caixa. Como a Tekon Eletronics apresenta um número de referências considerável, a referência selecionada foi um transmissor de temperatura de cabeça universal isolado, THU301-I, representado na figura 4.1, uma vez que passa pelas três etapas. Este produto não apresenta um elevado detalhe na maquinação, apenas no círculo 2

apresentado na imagem, logo, o tempo de maquinação de cada peça é curto. No entanto, necessita de maquinação adicional com berbequim no círculo 1.



**Figura 4.1:** THU301-I e a sua respetiva maquinação

A análise de tempos foi feita para a produção de um lote de 200 peças de THU301-I e os tempos de cada etapa estão representados na tabela 4.4.

**Tabela 4.4:** Análise de tempos de produção de 200 THU301-I para cada etapa

Data	Início	Duração	Número de peças	Término
Setup	9:10	0:23	-	9:33
Maquinação CNC	9:35	1:40	94	11:15
Maquinação CNC	11:30	1:35	78	13:05
Retirar Rebarba	14:05	2:00	125	16:05
Retirar Rebarba	16:15	1:00	75	17:15
Maquinação Berbequim	17:20	1:00	84	18:20
Maquinação Berbequim*	9:05	1:15	116	10:20

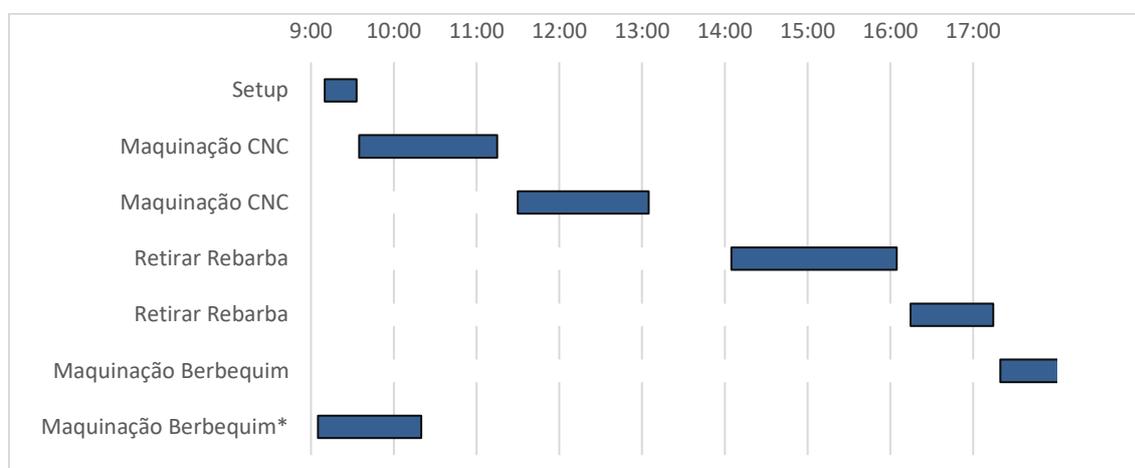
No gráfico 4.3 é possível perceber melhor o processo de preparação da caixa tendo em conta o tempo a que cada fase começa e termina e, conseqüentemente, de que forma é que se vai abordar o projeto para que este consiga aumentar a eficiência e o rendimento dos recursos.

No processo atual, as operações são sequenciais, o operador só prossegue para a etapa seguinte quando termina a etapa anterior que devido aos problemas referidos

anteriormente, de o operador ser obrigado a estar alocado à maquinação, evitando que a peça se mova durante o processo de maquinação.

O objetivo é que o operador não esteja alocado à máquina enquanto esta executa o ciclo de maquinação, mas que consiga realizar outras atividades enquanto esta está a maquinar, tornando o processo mais dinâmico, e, conseqüentemente, mais eficiente, reduzindo, também, o tempo total de execução.

**Gráfico 4.3:** Tempo que o operador despendeu em cada etapa, tendo em conta um horário de trabalho das 9h às 18, no dia 03/04. \*operação é já executada no dia seguinte



Esta produção passou por quatro etapas: a primeira corresponde à preparação/*setup* da máquina CNC, em que os 23 minutos representam o tempo que o operador está a configurar tanto o torno de bancada (figura do torno) como a fixação de metal para transmissores de temperatura de cabeça; a segunda é a maquinação das 200 peças divididas em dois períodos, uma vez que o operador fez uma pausa a meio da manhã. O operador, após a maquinação total das peças, necessita de remover a rebarba que se encontra nos furos das peças, em dois tempos. De seguida, quando as 200 peças estão maquinadas, o operador começa a furação com o berbequim.

O processo na sua totalidade tem um lead time de 528 minutos para este lote de 200 peças, isto é, o intervalo de tempo necessário para realizar o processo, desde o início até à sua conclusão. Na tabela 4.5 encontra-se o tempo total que o operador despendeu em cada etapa.

**Tabela 4.5:** Tempo total despendido em cada etapa

	Horas	Minutos
Setup	0:23:00	23
Maquinação CNC	3:15:00	190
Retirar Rebarba	3:00:00	180
Maquinação Berbequim	2:15:00	135
Lead Time	10:25:00	528

Na tabela 4.6 estão identificados os tempos de ciclo da maquinação CNC, da rebarbação e maquinação com o berbequim, o tempo de ciclo representa o tempo necessário para concluir uma unidade de produção ou execução de uma atividade, neste caso o tempo de ciclo de cada atividade começa a partir do momento em que o operador retira a peça do lote e a coloca na máquina, até esta ser maquinada na sua totalidade, ser retirada e colocada no lote. Ou seja, o tempo de o operador realizar a maquinação CNC de apenas um THU301-I é aproximadamente 1 minuto, tal como o tempo de rebarbação da própria peça, enquanto a maquinação com berbequim é de 40 segundos.

Os tempos de ciclo são relativamente reduzidos, uma vez que o tempo que uma peça THU301-I leva a fazer a sua maquinação completa é curto devido à baixa complexidade da mesma. Para peças com uma maquinação mais complexa, o seu tempo de ciclo será superior. No entanto, em peças com esse tempo de ciclo superior não nos devemos focar no tempo de ciclo em si, uma vez que esse tempo representa uma atividade de valor acrescentado, isto é, é uma atividade que acrescenta valor ao produto final e está diretamente relacionada com as necessidades e desejos do cliente.

**Tabela 4.6:** Tempos de ciclo de cada etapa, exclusive o tempo de *setup* da máquina CNC

	Unidades	Tempo Total de Maquinação	Tempo de ciclo
<b>Maquinação CNC</b>	200	03:10:00	00:00:57
<b>Retirar. Rebarba</b>	200	03:00:00	00:00:54
<b>Maquinação Berbequim</b>	200	02:15:00	00:00:40

### 4.2.3. Indicadores de Desempenho do Processo

Os indicadores de desempenho de um processo são importantes devido a vários fatores, sendo eles, o facto de fornecer uma visão objetiva e mensurável do desempenho de um processo em relação às metas e objetivos estabelecidos.

No fundo fornecem uma estrutura para medir, monitorar, avaliar e procurar a melhoria num processo. Numa primeira fase são identificadas todas as referências que abrangem o projeto, seguida das unidades vendidas referentes ao ano de 2022 e o respetivo custo unitário. A tabela 4.7 serve para perceber quais são os produtos que têm um maior valor para a empresa e, no futuro, ser possível perceber quais são as melhorias a nível financeiro.

**Tabela 4.7:** Unidades vendidas de cada produto em estudo e o seu custo unitário

	Referência	Unidades Vendidas	Custo Unitário
TTP	THM501	596	89 €
	THM602-I	902	119 €
	THM502-I	417	119 €
	THU301-I	388	79 €
	THT202-I	87	67 €
	THP102-I	7	67 €
WP	PLUSTWP	7	239 €
	PLUSTWP4AI	12	299 €
	PLUSGW420	36	319 €
	PLUSTWPH-1UT	35	199 €
	PLUS TWP-1UT	19	239 €
	PLUS TWP-1DI	10	239 €
	PLUS TWP-1AI	9	239 €
	PLUS TWP-2AI	8	259 €
	PLUS TWP-2DI	5	259 €
	PLUS TWP-2UT	10	259 €
	WRP101	47	239 €

Para além de perceber quais são os produtos que carecem de maior atenção e recursos, é também importante perceber o desempenho do processo no que toca a cada referência, por isso, foram calculados os tempos de ciclo de cada etapa de cada referência.

Isto serve para compreender melhor de que forma é que o tempo de processo varia consoante as diferentes referências. Na tabela 4.8, são apresentadas as referências que abrangem o projeto e os seus respetivos tempos de ciclo, o tempo de maquinação CNC, o tempo de retirar a rebarba das peças, se apresentam necessidade ou não de maquinação berbequim e o tempo de maquinação com berbequim das respetivas referências.

**Tabela 4.8:** Tempo de Maquinação CNC, Tempo de Retirar Rebarba e Tempo de Maquinação Berbequim (se necessário), de cada referência

	Referência	Tempo de Maquinação CNC (segundos)	Tempo de Retirar Rebarba (segundos)	Necessidade de Maquinação Berbequim	Tempo de Maquinação Berbequim (segundos)
TTC	THM501	38	60	Não	-
	THM602-I				
	THM502-I				
	THU301-I	57	54	Sim	30
	THT202-I				
	THP102-I				
WP	PLUSTWP	300	60	Sim	42
	PLUSTWP4AI				
	PLUSGW420	60	90	Sim	75
	PLUSTWPH-1UT	57	60	Sim	59
	PLUS TWP-1UT	115	53	Sim	23
	PLUS TWP-1DI				
	PLUS TWP-1AI				
	PLUS TWP-2AI				
	PLUS TWP-2DI				
	PLUS TWP-2UT				
PLUS WRP001	219	64	Sim	38	

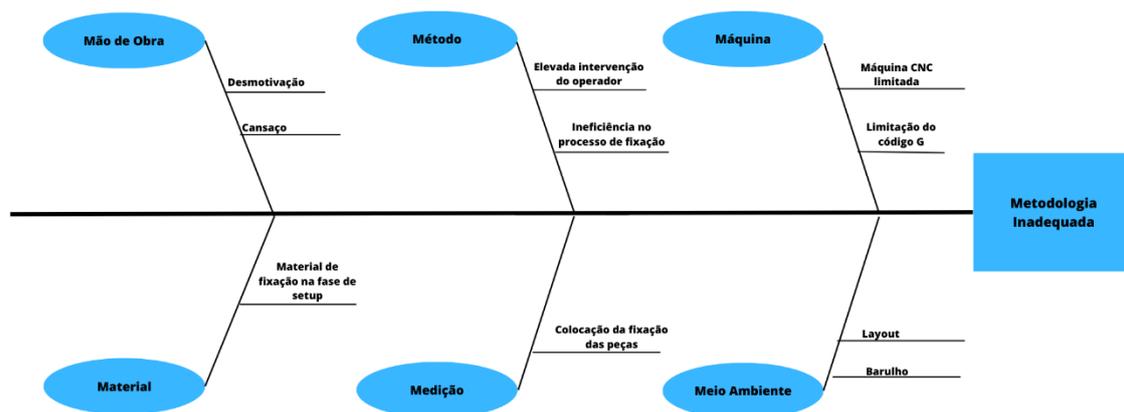
Para além dos tempos de ciclo respetivos a cada referência, é necessário perceber o tempo de setup da máquina CNC, tanto para os transmissores de temperatura, como para o sistema *wireless plus*. Para isso foi contabilizado o tempo que demora em cada uma das etapas que está representado na tabela 4.9.

**Tabela 4.9:** Tempo de *setup* da máquina CNC para TTC e sistema Wireless Plus

Setup Máquina CNC	Tempo (minutos)
Transmissor de Temperatura de Cabeça	23
Wireless Plus	23

### 4.3. Analisar

Esta etapa do ciclo DMAIC tem como objetivo analisar os dados que foram adquiridos durante a fase de medir para ser possível identificar as causas-raiz dos problemas e compreender a situação atual do processo. Para isso foi utilizado o Diagrama de Ishikawa que está representado na figura 4.2. Esta ferramenta permite categorizar e organizar as potenciais causas-raiz de um problema ou efeito indesejado para uma análise mais detalhada. Este método divide as causas em 6 categorias: mão de obra, método, máquina, material, meio ambiente e medida.



**Figura 4.2:** Diagrama de Ishikawa

Naquilo que toca a causas relacionadas com a mão de obra, os problemas encontrados foram o cansaço e desmotivação por parte do operador, uma vez que este se encontra a realizar um processo monótono, o seu trabalho torna-se entediante. O operador é obrigado a estar alocado à máquina enquanto esta trabalha apenas para assegurar que a peça não se mova. Esta é uma atividade que não acrescenta valor ao processo e onde é perceptível uma má utilização da mão de obra do operador.

É no método do processo que se encontra o maior problema e aquele que tem a maior prioridade dentro do projeto, pois o método é demasiado manual. Existe um grande envolvimento do operador em atividades que requerem um elevado nível de precisão no

processo, o que leva a maior variabilidade no mesmo, maior probabilidade de erro e retrabalho. Estes fatores acontecem devido à necessidade de fases adicionais que envolvem a intervenção do operador, como a fase de maquinação com berbequim, mas também na fase inicial de preparação da fixação das peças, pois esta é pouco automática e dificulta a operação.

A máquina CNC também representa um enorme problema no processo devido às suas limitações. Apesar de ser uma máquina desenvolvida na própria Tekon, não acompanhou a evolução da tecnologia entretanto desenvolvida e, apresenta problemas, tais como a imperfeição na maquinação das peças, pois apresenta resíduos de material nas furações e dificuldade no desenvolvimento do código G para que seja possível realizar furos de maiores dimensões nas peças que assim o exijam. Esta limitação representa a necessidade de duas atividades adicionais que podem ser evitadas.

Respetivamente ao meio ambiente, é de notar a localização da máquina CNC, algo distante quer do armazém quer do local onde se encontra o berbequim, logo, existe um tempo adicional que está associado à movimentação do operador.

Os problemas apresentados na medição são visíveis na fase de *setup* da máquina CNC, onde o operador tem que, manualmente, colocar um suporte de fixação da peça na posição exata, o que eleva a probabilidade de erro, inconsistência e variação no processo. Isto pode representar um elevado custo, uma vez que, para além do operador necessitar de mais tempo para colocar o suporte com precisão, caso o coloque erradamente, a peça ou as peças que forem maquinadas a seguir serão não conformes.

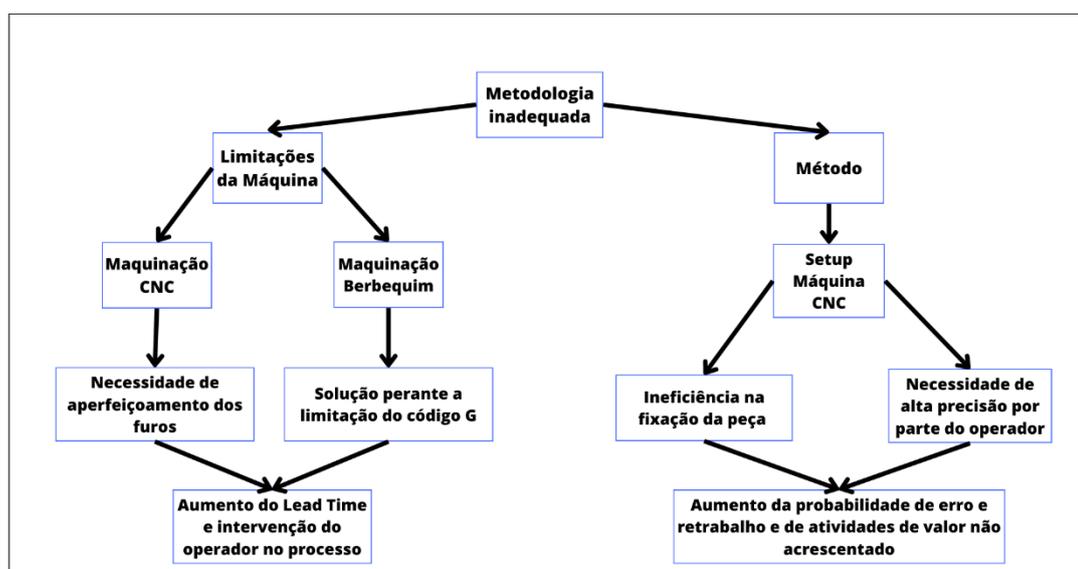
Por último, o sistema de fixação apresenta um problema na etapa de *setup* da máquina CNC, razão pelo qual o operador é obrigado a estar alocado à máquina enquanto esta está em funcionamento, isto porque o sistema de fixação não cumpre a sua função, ou seja, fixar as peças de forma correta, não excluindo a possibilidade de a peça se soltar. Podemos concluir que a incorreta fixação está associada à solução em si, mas também à falta de qualidade e de eficiência do material utilizado.

Conclui-se, portanto, que o processo de preparação da caixa é um processo com demasiados problemas que envolvem a alta variabilidade, alta tendência para o erro e para o retrabalho e isso deve-se tanto ao método como às limitações da máquina. Estes são os dois fatores que devem ser tidos em conta com maior prioridade relativamente às outras potenciais causas, porque esta advém desses fatores.

Na figura 4.3 está representado um esquema onde se encontram os problemas encontrados, divididos pela causa-raiz de cada um, tendo em conta os fatores: o método e a máquina utilizados. É importante identificarmos estes fatores, as potenciais causas e os problemas que causam no processo, pois só assim é possível idealizar uma solução.

Em relação ao método utilizado, este está associado à primeira etapa do processo, à etapa de *setup* da máquina CNC, onde estão identificados problemas como a elevada probabilidade de erro, retrabalho e elevado tempo de *setup* causados pela presença notória da intervenção do operador em processos onde é requerido uma alta precisão e detalhe para a maquinação ser feita nas coordenadas exatas que estão descritas no código G. Para além da fixação ser feita de forma manual esta não resulta 100%, uma vez que o operador é obrigado a segurar a peça para que esta não se solte.

No caso da máquina estão associadas as duas outras etapas: a maquinação CNC e a maquinação com berbequim. Nestas duas etapas é visível que a máquina apresenta limitações que prejudicam o processo e o trabalho do operador. Após a maquinação encontram-se resíduos nos furos e o operador tem de os retirar para aperfeiçoar a peça o que faz aumentar o lead time do processo, e, no caso da maquinação com berbequim, esta representa uma atividade adicional devido à limitação do código G, aumentando também o *lead time* do processo e a intervenção do operador no processo.



**Figura 4.3:** Esquematização dos problemas encontrados divididos pela sua raiz e finalizando no seu resultado

## 4.4. Melhorar

Após a fase de análise pode-se avançar para a fase de melhoria do ciclo DMAIC, em que as soluções são desenvolvidas e implementadas de forma a resolver os problemas identificados na fase anterior. É de notar que nesta fase foram necessárias algumas etapas que não se encontram explícitas no projeto, mas que foram essenciais para formular o mesmo, tais como:

- Brainstorming de soluções;
- Seleção das melhores soluções;
- Planeamento e implementação das soluções.

Esta fase é de extrema importância, pois é nela que se procura atingir e gerar resultados significativos e de longa duração, que leva a ganhos de eficiência, a uma redução dos custos, ao aumento de qualidade e à satisfação do cliente, entre outros benefícios que são possíveis de atingir.

### 4.4.1. Potenciais Soluções

Depois de ser feita a análise aos problemas e às causas-raiz desses problemas, já é possível trabalhar nas potenciais melhorias e soluções nesta fase do ciclo DMAIC.

Através da fase de análise foi determinado que os potenciais problemas estão associados a dois fatores, a máquina e o método. Então as soluções devem representar melhorias tendo em conta estes mesmos fatores.

Tendo em conta o método, a primeira solução abordada pela equipa foi relativa ao método de fixação das peças na máquina CNC. Para melhorar a forma como as peças são fixas no JIG e a própria forma de fixação do JIG, foi desenvolvido um gabarit para a máquina CNC, que é um molde utilizado como referência para garantir a precisão e a consistência da maquinação das peças. Espera-se que este novo gabarit traga benefícios na otimização do processo, na automatização do mesmo, na diminuição do lead time e na redução de retrabalho. Ainda dentro de potenciais soluções para melhorar os métodos utilizados pelo operador, foi expresso, pelo mesmo, a necessidade de atualização do software utilizado e do computador utilizado para a maquinação CNC, pelo que esta solução pode vir a melhorar a performance e o manuseamento da máquina.

No que toca às limitações apresentadas pela máquina, a primeira, e única, solução idealizada pela equipa é a subcontratação do processo de maquinação das peças. O investimento numa máquina CNC que não apresente estas limitações foi logo descartado pela equipa, uma vez que, tendo em conta o panorama atual, não se considerou necessário. Além disso, em caso de subcontratação do processo esta será feita a uma empresa que o grupo Bresimar representa a qual possui uma máquina CNC que corresponde perfeitamente às especificações desejadas. Esta pode ser, então, uma solução viável para resolver grande parte dos problemas encontrados ao longo do projeto. No entanto, esta melhoria deve ser analisada, com cuidado, para se verificar a sua viabilidade em termos financeiros, pois esta implica custos adicionais para a empresa. É fundamental compreender estes custos e verificar se estes serão compensados pela diminuição dos tempos e recursos alocados ao processo atual.

#### **4.4.2. Desenvolvimento 1: Solução 1 - Gabarit para a Tekon Eletronics**

O gabarit é uma ferramenta importante para ajudar a garantir a precisão e a eficiência do processo de *setup* da máquina CNC. O desenho do gabarit desenvolvido pela equipa está representado na figura 4.4. Este gabarit foi projetado de modo a poder ser utilizado para os dois produtos em análise: os transmissores de temperatura de cabeça e os transmissores Wireless Plus

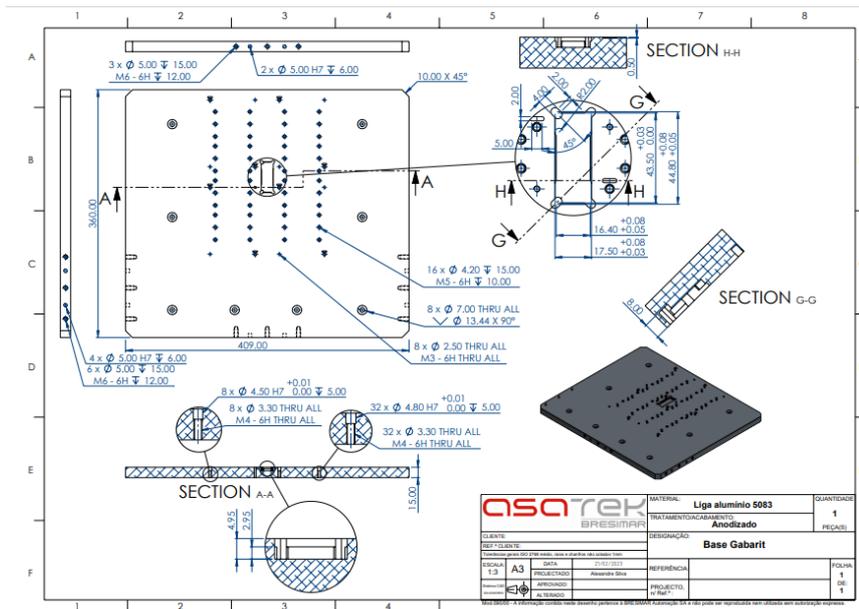


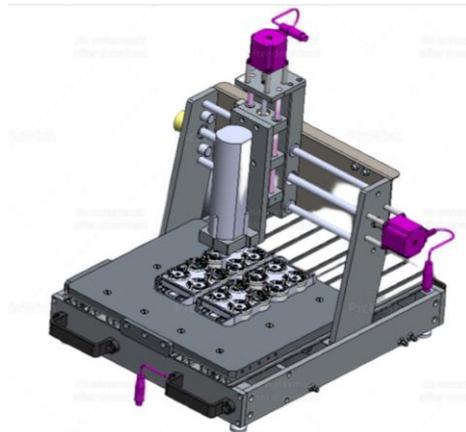
Figura 4.4: Desenho 2D do Gabarit desenvolvido

O gabarit foi desenhado de forma a facilitar o operador a fixar as peças para, posteriormente, as maquinar. Assim, este foi idealizado para a colocação de dezasseis Transmissores de Temperatura de Cabeça e quatro transmissores *Wireless Plus*. Este número corresponde à utilização total da área de possível utilização da máquina CNC. Também foi pensado pela equipa a melhoria da fixação das peças, tendo-se decidido desenvolver pinos para o gabarit para que a peça fique definitivamente fixa e não exista a probabilidade de se deslocar, ver figura 4.5.



Figura 4.5: Pinos desenvolvidos para garantir a fixação da peça no gabarit

Na figura 4.6 está representada a colocação do gabarit na máquina CNC, onde é possível ver de que forma são colocadas as peças no mesmo.



**Figura 4.6:** Desenho 3D do encaixe do gabarit na máquina CNC

#### **4.4.2.1. Alterações no Processo**

Com a introdução do Gabarit, o processo sofre muitas alterações na sua estrutura e nas suas etapas.

A etapa de *setup* da máquina CNC muda por completo, sendo que, neste modelo novo, o gabarit vem substituir o JIG tanto dos transmissores de temperatura de cabeça, como do sistema *wireless plus*, pois o gabarit estará permanentemente posicionado na máquina CNC. O trabalho do operador já não será fazer o *setup* da máquina, mas sim colocar o número de peças que deseja maquinar na CNC, tendo em conta a capacidade máxima de cada peça no gabarit.

Outra alteração significativa é a existência de atividades em paralelo, isto é, uma vez que o operador deixa de ter de manter a peça no lugar durante a maquinação CNC, passando este a ter a possibilidade de realizar atividades paralelamente. Por exemplo, o operador, após maquinar o primeiro lote, pode maquinar o segundo lote e, enquanto a máquina CNC está a maquinar, retirar a rebarba das peças já maquinadas, ou seja, rentabilizar a sua ação da seguinte forma:

1. Colocação do número de peças no gabarit que o operador deseja maquinar tendo em conta as especificações do mesmo.
2. Quando acabam de maquinar, o operador retira-as e, se necessário, coloca outras peças.
3. Enquanto as peças estão a maquinar, o operador pode retirar a rebarba das peças já maquinadas

O objetivo desta solução provém dos problemas encontrados na fase de *setup* da máquina CNC e acaba por explorar a capacidade máxima da máquina, pois passa a ser possível maquinar um maior número de peças de cada vez, mas também retirar o envolvimento do operador na fixação do JIG, o que diminui a probabilidade de erro e uma maior eficiência no processo.

A figura 4.7 vem projetar aquilo que é a sequência do processo com a adição do gabarit, sendo que o número de lotes depende do número de peças que o operador deseja maquinar.

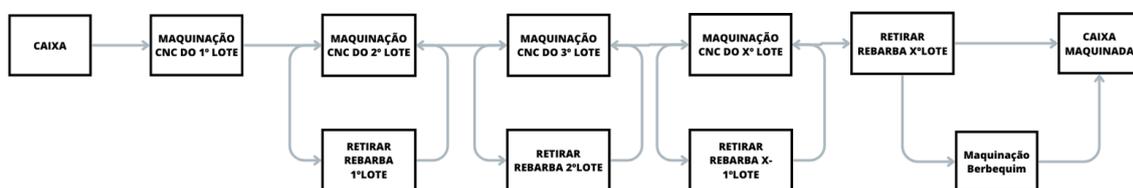


Figura 4.7: Fluxograma do processo com a implementação do gabarit

#### 4.4.2.2. Análise da Melhoria

Através da percepção dos tempos de ciclo das etapas do tempo de maquinação CNC e o tempo de retirar rebarba é possível comparar estes tempos e perceber de que forma é que será possível realizar ambas as atividades em simultâneo. Na tabela 4.10 é feita essa análise.

**Tabela 4.10:** Diferença entre os tempos da etapa de maquinação CNC vs retirar rebarba, em segundos

Exemplo para a capacidade máxima da máquina CNC							
	Referência	Tempo de colocar as peças no Gabarit	Tempo de maquinação das peças	Tempo de retirar as peças do gabarit	Tempo Total de maquinação	Tempo de retirar rebarba	Diferença
TTC	THM501	80	608	80	768	960	-352
	THM602-I						
	THM502-I						
	THU301-I						
	THT202-I						
	THP102-I						
WP	PLUSTWP	10	1200	10	1240	240	960
	PLUSTWP 4AI		240		260	360	-120
	PLUSWG W420		228		248	240	-12
	PLUSTWP H-1UT		460		500	-	-
	PLUS TWP-1UT						
	PLUS TWP-1DI						
	PLUS TWP-1AI						
	PLUS TWP-2AI						
	PLUS TWP-2DI						
	PLUS TWP-2UT		876		896	256	620
	PLUS WRP001						

Portanto, é possível perceber que, para que ambas as atividades aconteçam em simultâneo é necessário que o tempo de retirar rebarba seja menor que o tempo de maquinação CNC, o que não acontece em todas as referências, no entanto, não significa que o operador não possa coincidir ambas as atividades parcialmente, isto é, nos casos em que o tempo de retirar a rebarba é maior, o operador pode fazê-lo ao número de peças que conseguir, enquanto a máquina está a maquinar.

No entanto, esta situação apenas acontece após estar concluído o primeiro lote, ou seja, só após estar concluído o primeiro lote é que é possível que o operador consiga realizar as atividades em simultâneo, uma vez que estão dois lotes em fase de processamento.

**Tabela 4.11:** Cálculo do número de peças que, teoricamente, é possível retirar rebarba, enquanto a máquina CNC está em funcionamento, em segundos

Referência	Tempo de Maquinação CNC/lote	Tempo de Retirar Rebarba	Número de peças de lote	Tempo de Maquinação CNC/ peça	Tempo de Retirar Rebarba/peça	Número de Peças Possível Retirar Rebarba		
THM501	608	960	16	38	60	10	≈11	
THM602-I								
THM502-I								
THU301-I	912	864	16	57	54	16		
THT202-I								
THP102-I								
PLUSTWP	1200	240	4	300	60	4		
PLUSTWP4AI								
PLUSGW420	240	360		65	70	3,4		≈ 4
PLUSTWPH-1UT	228	268		62	67	3,4		≈ 4
PLUS WRP001	876	256		219	64	4		

A tabela 4.11 permite compreender melhor aquilo que será, na teoria, o número de peças às quais o operador conseguirá retirar a rebarba enquanto a máquina CNC está em

funcionamento. Este cálculo é feito da seguinte forma: do tempo de maquinação CNC de um lote, que é a maquinação do número de peças correspondente à capacidade máxima de cada produto (TTC ou sistema WP) a dividir pelo tempo de retirar rebarba de uma peça individual. Nos casos em que o número de peças que é possível retirar rebarba não corresponda a um número inteiro, conta como o número inteiro acima, ou seja, o operador termina de retirar rebarba, mesmo que a máquina CNC já tenha acabado a operação.

Conclui-se então que em todos os casos, excetuando as peças THM501, THM602-I e THM502-I, é possível, teoricamente, retirar a rebarba das peças já maquinadas ao mesmo tempo que a máquina CNC está a operar. No caso das peças anteriormente mencionadas, é possível retirar a rebarba da maior parte das peças, por isso a equipa crê que o operador, neste caso, faça a remoção da rebarba do lote por completo.

#### **4.4.3. Desenvolvimento 1: Solução 2: Atualização das ferramentas utilizadas na Tekon Eletronics**

Com o desenvolvimento do projeto foram encontrados problemas relacionados com as ferramentas/equipamentos utilizados no processo, tal como o computador utilizado e o software de acesso à máquina CNC. Portanto, para contornar este problema, a Bresimar Automação, como distribuidora da Beckhoff, encontrou neste parceiro a solução ideal.

Esta solução vem trazer melhorias na performance dos equipamentos utilizados, uma vez que as utilizadas já eram antigas e desatualizadas e, mais importante, com a implementação destas soluções por parte dos técnicos da Beckhoff, o próprio código G foi revisto e terá as alterações necessárias para expandir o número de maquinações que pode ser feito pela própria máquina CNC, ao invés da maquinação com berbequim.

Assim, o investimento surge como uma forma de manutenção e inovação do processo. O custo associado a esta solução tem um valor total de, sensivelmente, 1662 €, como é possível ver na tabela 4.12.

**Tabela 4.12:** Investimento de todos os equipamentos e software adquiridos pela Tekon

	Preço
C6015-0020   Ultra-compact Industrial PC	501,86 €
C9900-S51x   Microsoft Windows 10 IoT Enterprise 2021 LTSC for Beckhoff Industrial PCs	106,91 €
C9900-S584   Upgrade Intel Atom x5-E3940	122,86 €
TC1250   TwinCAT 3 PLC/NC PTP 10	554,64 €
TF5210   TwinCAT 3 CNC E	261,00 €
BK1120   ETHERCAT BUS COUPLER	114,20 €
<b>Total</b>	<b>1 661,47 €</b>

Os pressupostos em que se baseia esta solução advém da desatualização tecnológica encontrada no processo e vem melhorar aspetos como:

- Evolução da tecnologia utilizada;
- Interface da ferramenta utilizada;
- Revisão e implementação de um novo código G;

Sendo que a melhoria com maior relevância será a revisão do código G, uma vez que este pode otimizar o processo de maquinação CNC, reduzindo o seu lead time e aumentando o número de operações que esta pode efetuar. O objetivo passa por rever o código G, uma vez que este já tem de ser revisto devido à mudança de software e assim, conseguir otimizar as movimentações da máquina para que o processo de maquinação seja mais rápido.

#### **4.4.4. Desenvolvimento 1: Solução 1 + Solução 2**

Tanto a solução 1, como a solução 2 são idealizadas como potenciais soluções para o sistema atual, pelo que a primeira vem otimizar a fase de *setup* da máquina CNC e a segunda vem melhorar as ferramentas que são utilizadas no processo de maquinação. O potencial máximo destas soluções será atingido se estas forem implementadas simultaneamente.

Infelizmente, durante o estágio não foi possível a implementação destas duas soluções na prática, pelo que o estudo se limitou ao seu impacto no processo, pois é importante perceber de que forma é que tanto a solução 1, como a solução 2 afetaram separada e conjuntamente o processo.

#### **4.4.5. Desenvolvimento 2: Solução 1 - Subcontratação**

A Selmatron foi fundada em 2005 e é uma empresa do grupo Bresimar, esta é especializada em sistemas de automação integrados para o desenvolvimento de máquinas especiais, sistemas industriais e quadros elétricos. Esta empresa está sediada nas mesmas instalações que a Bresimar e que a Tekon Eletronics e tem capacidade para fazer a maquinação que é requerida, pois esta tem máquinas CNC de outro calibre, comparativamente à máquina utilizada no modelo atual.

Quando a equipa decidiu desenvolver o gabarit para a Tekon, decidiu-se também produzir outro específico para a Selmatron, representado na figura 4.8, para se poder explorar a hipótese de subcontratar o serviço de maquinação e de que forma é que este vem melhorar o processo. Este tem uma capacidade maior que o produzido para a Tekon, uma vez que a máquina tem também maior capacidade, sendo possível produzir 25 TTC e 4 WP.

Esta hipótese trará claramente melhorias ao processo em si, uma vez que, tendo em conta as causas-raiz do problema, a máquina e o método, esta hipótese altera ambos, uma vez que deixariam de existir limitações na máquina e o método de fixação seria bem mais simples numa máquina industrial de CNC. Então, para testar esta hipótese é necessário apenas perceber se, tendo em conta o custo de subcontratação, valerá a pena o investimento para o número de peças que é necessário produzir, considerando o tempo ganho no processo.

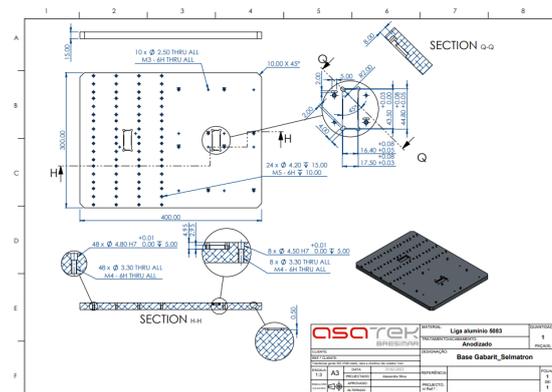


Figura 4.8: Desenho 2D do gabaritado adquirido para a máquina CNC da Selmatron

#### 4.4.5.1. Alterações no Processo

Com a subcontratação do processo de preparação da caixa, o processo muda na sua totalidade, sendo que a Tekon apenas apresenta o material proveniente do fornecedor à Selmatron e recebe o produto já maquinado, logo, a fase de *setup* da máquina deixa de existir, a fase de retirar a rebarba também deixa de existir, uma vez que a máquina utilizada na Selmatron, ao maquinar, não deixa rebarba nas peças e a maquinação com berbequim também deixa de existir, pois existe uma maior capacidade e uma menor limitação da máquina, o que permite uma melhor performance no geral.

Portanto, a subcontratação aconteceria quando a Tekon Eletronics necessitar de maquinar as peças, solicitando à Selmatron a maquinação do número de peças de que necessita.

O processo de maquinação na Selmatron é muito mais simplificado, uma vez que a sua máquina CNC tem um maior calibre. Esta tem uma eficiência muito maior, em que o tempo de maquinação é menor, a qualidade de maquinação é maior, a sua capacidade também é maior, o que permite maquinar um maior número de peças em simultâneo.

As melhorias visíveis desta abordagem são:

- Menor lead time do processo;
- Melhor qualidade de maquinação;
- Melhor eficiência do processo;

#### 4.4.5.2. Análise de Melhorias no Processo

Para analisar as melhorias é apenas necessário analisar o lead time do processo em geral, para isso foram tirados tempos de produção de um lote de 600 unidades de THM501.

A tabela 4.13 contém os dados retirados do teste feito pela Selmatron, neste caso, foi feito uma encomenda de 600 unidades de THM501, onde o tempo de processamento foi de 13 horas

**Tabela 4.13:** Análise de tempos efetuada através de um lote de 600 peças de THM501

Referência	Unidades	Tempo de Processamento (segundos)	Capacidade máxima do gabarit	Número de lotes	Tempo de processamento de um lote (segundos)	Tempo de processamento/unidade (segundos)
THM501	600	46800	24	25	1872	78

A partir destes valores é possível perceber a diferença entre o tempo de processamento entre ambas as máquinas CNC. Na tabela 4.14 encontram-se ambos os tempos cuja diferença entre cada é de cerca 20 segundos, ou seja, há uma redução de 20%. É de notar que a referência THM501 não necessita de maquinação berbequim, ou seja, a redução em referências que necessitem de maquinação berbequim será maior, uma vez que no caso da subcontratação, não exista essa necessidade e a maquinação seja toda em CNC.

**Tabela 4.14:** Redução do tempo de processamento (segundos) por unidade, em percentagem

Referência	Tempo de processamento no sistema atual	Tempo de processamento/unidade	Redução
THM501	98	78	20%

Desta forma é possível perceber as melhorias que existem no processo quando se opta pela subcontratação, para além de outros efeitos que a subcontratação tem, como a melhoria da qualidade das peças, a otimização dos próprios recursos da Tekon, uma vez que, assim, disponibiliza o operador para a realização de atividades que acrescentam valor.

Uma vez que já foram provadas as melhorias existentes na subcontratação do processo, é necessário agora perceber de que forma é que o processo, financeiramente,

funciona. A subcontratação funcionará como um investimento por parte da empresa, que tem de ser rentável para a mesma, isto é, o investimento tem de ser justificado, neste caso, é perceptível que será tanto em tempo, como em custo de mão de obra, no entanto, é importante perceber a que se refere este investimento. Na tabela () é possível ver o custo de subcontratação por unidade, isto é, o custo por cada unidade maquinada na Selmatron é de 0,66 €, investimento este que não depende da referência nem do tipo de maquinação que é feito, apenas do número de unidades.

**Tabela 4.15:** Custo de Subcontratação por cada unidade maquinada

Custo de Subcontratação/Unidade	0,66 €
---------------------------------	--------

Portanto, para ser possível perceber o investimento total que seria necessário fazer, multiplicou-se o custo de subcontratação por unidade pelas unidades vendidas de cada referência no ano de 2022, como estão descritos na tabela 4.16. Em conclusão, o investimento, caso todas as unidades vendidas no ano de 2022 fossem através de subcontratação, seria de 1713 €, de lembrar que este valor é anual, uma vez que foram utilizadas as unidades vendidas num ano.

**Tabela 4.16:** Custo de subcontratação tendo em conta as unidades vendidas em 2022

	Referência	Unidades Vendidas	Custo de Subcontratação
TTP	THM501	596	393 €
	THM602-I	902	595 €
	THM502-I	417	275 €
	THU301-I	388	256 €
	THT202-I	87	57 €
	THP102-I	7	5 €
WP	PLUSTWP	7	5 €
	PLUSTWP4AI	12	8 €
	PLUSWGW420	36	24 €
	PLUSTWPH-1UT	35	23 €
	PLUS TWP-1UT	19	13 €
	PLUS TWP-1DI	10	7 €
	PLUS TWP-1AI	9	6 €
	PLUS TWP-2AI	8	5 €
	PLUS TWP-2DI	5	3 €
	PLUS TWP-2UT	10	7 €
	WRP101	47	31 €
	Total	2595	1 713 €

## 4.5. Controlar

A fase de controlo é a última fase do ciclo DMAIC e vem garantir que as melhorias que foram implementadas na fase anterior sejam sustentáveis a longo prazo, para isto, é essencial estabelecer mecanismos para monitorizar e controlar os resultados que foram alcançados.

Durante o estágio e a realização da presente dissertação, não foi possível implementar de forma completa as melhorias anteriormente estudadas e, conseqüentemente, não é possível realizar esta última etapa do ciclo DMAIC.

No entanto, a equipa não deixou de perceber de que forma é que poderá ser abordada esta fase no futuro e, por isso, estabeleceu as medidas de controlo, isto é, os principais indicadores de desempenho que devem ser monitorizados de forma a garantir que os resultados das melhorias são garantidos e mantidos. Existe uma compreensão da necessidade de ferramentas de controlo que possam garantir que o processo se encontra enquadrado com as expectativas desejadas com as melhorias implementadas.

Uma vez que existe uma mudança do processo em si, é necessário haver uma padronização do processo, isto é, documentar o processo e as práticas recomendadas de forma a criar procedimentos padronizados para que o operador e qualquer elemento da equipa consiga seguir. É também necessário assegurar que o operador está adequadamente treinado para seguir os novos procedimentos e práticas, através do treino.

A equipa definiu necessidade futura de revisões periódicas para analisar estes dados de controlo, avaliar o progresso e identificar oportunidades adicionais de melhoria que irão permitir ajustes nos planos de controlo conforme o necessário. A equipa compreende também que a comunicação aberta e transparente sobre os resultados alcançados constitui uma peça-chave para a melhoria contínua do processo.

## 5. ANÁLISE DE PRODUÇÃO

### 5.1. Ganhos de Produção

Após estar concluído o ciclo DMAIC, onde foi feita toda a análise de dados e resultados obtidos, é visível que ambas as melhorias vêm trazer ganhos significativos para a empresa e para o processo em si.

Apesar de a implementação não ter sido efetuada, é possível perceber que o investimento por parte da empresa para a implementação das respectivas soluções, é necessária. Na tabela 5.1 é possível perceber a respectiva causa raiz de cada solução, os problemas que fizeram com que fosse necessário o desenvolvimento de soluções e o objetivo das mesmas.

**Tabela 5.1:** Objetivos das soluções implementadas consoante os problemas encontrados

	Processo com melhorias		
	Desenvolvimento 1: Solução 1	Desenvolvimento 1: Solução 2	Desenvolvimento 2: Solução 1
Causa Raiz	Método	Método	Máquina
Problemas que que a solução vem melhorar no processo atual	Forma como as peças são colocadas no JIG	Software desatualizado	Máquina CNC limitada
	Fixação imperfeita das peças no JIG	Código G desatualizado	
Objetivo da solução	Passar de processamento por peça para lote	Melhoria no Software e computador utilizado para a maquinação CNC	Melhoria na qualidade do produto e melhor aproveitação dos recursos
	Fixação das peças no gabarit	Atualização do código G de acordo com as especificações necessárias para a maquinação CNC	
	Possibilidade de atividades em simultâneo		

### 5.1.1. Ganhos de Produção Desenvolvimento 1: Solução 1 + Solução 2

Uma vez que a implementação das soluções não foi, em certa parte, efetuada, não foi possível perceber de forma prática quais seriam os ganhos de produção, ao nível de satisfação por parte do operador, no entanto, o gabarit foi concluído e foi possível perceber de imediato as melhorias na fixação das peças no mesmo. A peça mantém-se efetivamente fixa no gabarit, pelo que já não há a necessidade de o operador se preocupar com a movimentação da mesma durante a sua maquinação.

Teoricamente houve também a intenção de perceber como funcionaria a simultaneidade de atividades e sendo possível colocá-las em prática o próximo passo será perceber quais serão as diferenças no tempo de processamento do mesmo.

Nas tabelas 5.2 e 5.3 estão expostos os tempos dos dois processos, o atual e o que provém da melhoria, tendo em conta que, para este estudo, foi utilizada a análise de tempos descrita na fase de medição do ciclo DMAIC, onde foi analisada a produção de 200 peças de THU301-I. Então na tabela 5.2 estão expostos os tempos retirados durante a fase de medição para ser possível perceber melhor a diferença.

**Tabela 5.2:** Tempo de processamento de um lote de 200 peças de THU301-I, no modelo atual, em minutos

Etapas	Setup Máquina CNC	Maquinação CNC	Retirar Rebarba	Maquinação Berbequim	Tempo Total
Processo Atual	23	190	180	135	528

Já na tabela 5.3 estão expostos os tempos, teóricos, com a introdução do gabarit.

**Tabela 5.3:** Tempo de processamento (minutos) de um lote de 200 peças de THU301-I, com a implementação de melhorias

Etapas	Maquinação CNC 1º lote	MQN 2º Lote	MQN CNC 3º Lote	....	MQN CNC 12º Lote	MQN CNC 13º Lote		Maquinação Berbequim	Tempo Total
Tempo	17,9	17,9	17,9	...	17,9	8,9		135	371
Processo com Gabarit	-	Retirar Rebarba 1º Lote	Retirar Rebarba 2º Lote	....	Retirar Rebarba 11º Lote	Retirar Rebarba 12º Lote	Retirar Rebarba 13º Lote		
Tempo	-	14,4	14,4	...	14,4	14,4	7,2		

De forma a perceber como é que foi obtido o tempo total, é necessário perceber os cálculos efetuados. O processo inicia com a maquinação do 1º lote, uma vez que não existe etapa de setup e o gabarit está montado na máquina CNC, de notar que os tempos de maquinação CNC contam com o tempo de colocar e retirar as peças que corresponde a 5 segundos, por peça. De seguida, o operador começa a maquinação CNC do 2º lote e, simultaneamente, começa a retirar rebarba das peças maquinadas anteriormente. Neste caso, como a simulação é para 200 peças, são necessários 12 lotes (16 peças em cada lote) mais um 13º com apenas 8 peças no gabarit. Portanto, a maquinação do 13º lote acaba, no entanto, o operador tem de terminar de retirar a rebarba do 12º lote mais as restantes do 13º lote. A soma do tempo total será, então, a maquinação CNC dos 12 lotes com o tempo de retirar rebarba do 12º lote mais 13º lote, somando a isto o tempo de maquinação berbequim, que neste sentido mantém-se igual ao tempo do modelo atual.

Pela tabela é possível perceber que há ganhos de produtividade com a introdução do gabarit, tanto a nível de utilização de recursos como na diminuição no lead time do processo. Na tabela 5.4 é apresentado o cálculo do ganho de produtividade, que corresponde a uma redução de 30%.

**Tabela 5.4:** Ganho de tempo (minutos), em percentagem

	Processo Atual	Processo com gabarit	Redução
Comparação de Tempos	528	371	30%

No que toca à segunda solução, não foram calculados ganhos de produtividade, uma vez que são vistos como um investimento de manutenção necessário para o bom funcionamento do processo e, por isso, não são mensuráveis. No entanto é esperada uma melhoria de performance por parte da máquina e um aumento de satisfação por parte do operador, que, muitas vezes, são valores que são menosprezados por parte das organizações, contudo são bastante importantes para ter aumentos de produtividade.

### 5.1.2. Análise Financeira Desenvolvimento 1: Solução 1 + Solução 2

Na análise financeira é importante perceber o investimento que foi necessário para desenvolver as soluções, neste caso, o gabarit e a atualização do sistema de maquinação CNC (software + PLC). Na tabela 5.5 estão expressos os custos associados a esses investimentos.

**Tabela 5.5:** Custos associados ao desenvolvimento 1

Custo de Produção Gabarit	Custo de novo equipamento e aquisição do software	Total
170 €	1 661,50 €	1 831,50 €

Portanto, com o primeiro desenvolvimento, o conjunto de ambas as soluções perfaz um investimento de 1832 €, logo, é essencial compreender de que forma este valor vem compensar futuramente.

Assumindo uma redução de 30% no tempo de processamento de todas as referências, é possível perceber qual poderá ser o aumento de produção, isto é, tendo em conta o mesmo tempo de processamento, qual é a diferença entre o número de peças que cada sistema consegue produzir.

Na tabela 5.6 está o cálculo efetuado para a referência THU301-I, em que, através da diferença entre os tempos de processamento de cada sistema, é possível obter o número de unidades, dessa referência que é possível acabar, ou seja, se, neste caso, em 371 minutos se produziram 200 peças de THU301-I, em 157 minutos será possível produzir mais 85, o que representa um aumento de 6 686€. Ou seja, neste exemplo, uma encomenda de 200 caixas de THU301-I, no sistema atual foram necessários 528 minutos, no entanto, com a implementação do desenvolvimento 1, os 528 minutos corresponderiam a uma produção de 285 caixas, o que equivaleria a um aumento de 6 686 € em caso de venda.

**Tabela 5.6:** Cálculo do número de unidades que é possível produzir com o gabarit e o potencial financeiro

Tempo de Processo atual para 200 peças THU301-I (minutos)	Tempo Processo com gabarit para 200 peças THU301-I (minutos)	Diferença	Número de Unidades	Custo Unitário de THU301-I	Ganho Financeiro
528	371	157	85	79 €	6 686 €

Não será sensato realizar o mesmo exercício para o resto das referências, uma vez que este valor é apenas tido em atenção, caso exista um planeamento de vendas superior àquele existente, o que não foi transmitido pela Tekon. O valor mais importante para representar o ganho de produção será a redução do tempo de processamento, pois esse sim é mais significativo e representativo do custo de investimento.

### 5.1.3. Ganhos de Produção do Desenvolvimento 2: Solução 1

A subcontratação aparece como resposta à maior parte dos problemas encontrados ao longo do projeto e vem, de forma simples, resolvê-los. Durante o desenvolvimento da metodologia DMAIC foi possível perceber que existem ganhos produtivos através da subcontratação do serviço de maquinação das peças. Esses ganhos estão representados na tabela 5.7, onde, através da percentagem ganha em tempo pelo produto THM501, de 20%, é possível fazer um balanceamento da redução para os restantes

produtos tendo uma redução de também 20%. Contudo existem também ganhos na qualidade do produto final, pois é feito numa máquina com um maior detalhe e precisão onde não é necessária intervenção do operador; na utilização de recursos, sendo que o processo de preparação da caixa não deve ser algo complexo e que represente um teor de trabalho muito significativo para o operador, a subcontratação vem libertar o operador para outras atividades que possam acrescentar mais valor para o produto final do que a preparação da caixa.

**Tabela 5.7:** Diferença entre o tempo de processamento/unidade do modelo atual para a subcontratação, em segundos.

	Referência	Tempo de processamento/unidade no modelo atual	Tempo de Processamento/unidade Subcontratação	Diferença
TTC	THM501	98	78	20
	THM602-I			
	THM502-I			
	THU301-I	141	112	29
	THT202-I			
	THP102-I			
WP	PLUSTWP	402	320	82
	PLUSTWP4AI			
	PLUSWGW420	225	179	46
	PLUSTWPH-1UT	191	152	39
	PLUS TWP-1UT			
	PLUS TWP-1DI			
	PLUS TWP-1AI			
	PLUS TWP-2AI			
	PLUS TWP-2DI			
	PLUS TWP-2UT			
	PLUS WRP001			

#### **5.1.4. Análise Financeira do Desenvolvimento 2: Solução 1**

No entanto, a subcontratação requer um investimento por parte da empresa. Este investimento também é conhecido e é de 0,66€/unidade, representado na tabela 4.15. Ele permite que a empresa se beneficie da experiência e do conhecimento da Selmatron, sem ter de desenvolver as competências internamente. Para além do custo de subcontratação existe também o custo associado à produção do gabarit para a máquina CNC da Selmatron no valor de 180 €.

Este investimento traz benefícios económicos, pois a própria Bresimar não precisa de suportar custos associados ao treino dos operadores e de infraestruturas, consegue concentrar os operadores nas atividades principais e estratégicas, permite também que a empresa consiga responder com maior facilidade às mudanças de procura do mercado, aumentando ou diminuindo a escala de operações, uma vez que a capacidade de produção da Selmatron é superior à da Tekon. No fundo, é uma alternativa que deve ser avaliada interiormente pelas organizações, pois, por outro lado, esta perde o controlo sobre as tarefas que são executadas e sobre os padrões de qualidade que são necessários manter, podendo haver dependência extrema, isto é, a empresa depender excessivamente de subcontratar o serviço e tornar-se vulnerável nesse sentido. Existem também desafios no que toca à comunicação entre a empresa que contrata e a que é contratada. Este caso é mais simples, uma vez que envolve a subcontratação de uma organização que se faz representar pelo grupo Bresimar, no entanto não deixa de ter aspetos negativos.

## 6. CONCLUSÃO

“Tudo o que estamos a fazer é olhar para a linha do tempo a partir do momento em que o cliente faz uma encomenda até ao ponto de este receber a mesma. E estamos a reduzir essa linha temporal removendo as tarefas de não-valor acrescentado “– Taiichi Ohno, 1998.

Face ao crescente dinamismo dos mercados, à competitividade entre empresas e à recessão económica, implicam cada vez mais que as organizações subsituam os métodos mais tradicionais de gestão, adotando estratégias mais inovadoras que as conduzam à obtenção de melhores resultados, através da eficiência dos seus processos, melhoria dos seus produtos e serviços, reduzindo custos e aumentando a satisfação dos seus clientes.

A Bresimar Automação identificou um problema no processo produtivo de preparação de caixas para sensores/transmissores sem fio e a presente dissertação teve como objetivo abordar o problema e apresentar soluções que possam minimizar, ou até mesmo resolver esse problema.

A presente dissertação, incidiu no uso de ferramentas *lean* e *six sigma*, suportada pela metodologia DMAIC (Define, Measure, Analyse e Control), por ser uma ferramenta que permite solucionar os problemas de forma estruturada, procurando a melhoria contínua.

Neste caso de estudo foi aplicada a metodologia DMAIC com o objetivo de otimizar o processo de maquinação CNC de TTC e WP. Depois de analisado o problema e recolhidos os dados necessários para conseguir retirar conclusões, aferiu-se que a máquina CNC e a metodologia de trabalho utilizado seriam as principais causas dos problemas enumerados. Para estas duas causas foram identificados três pontos de melhoria, sendo que para a metodologia foi desenvolvido um gabarit para ser possível a produção em lotes e a realização de atividades em simultâneo por parte do operador. O gabarit possibilita o operador de ao mesmo tempo que está a acontecer a maquinação CNC, este conseguir retirar a rebarba que se encontra nas peças já maquinadas, reduzindo o *lead time* do processo e um fluxo muito mais produtivo para o operador. Também na metodologia aplicada foram implementadas algumas alterações, nomeadamente nas ferramentas de

suporte à máquina CNC, como o PLC e o software, sendo estas as duas principais ferramentas que necessitavam de atualização, uma vez que já se encontravam em desuso. Esta solução vem trazer pequenas melhorias na performance de *setup* da máquina, uma vez que o novo PLC tem um melhor desempenho, o software é muito mais intuitivo e contém muito mais funcionalidades.

Na segunda oportunidade de melhoria, foi analisada a possibilidade de subcontratação do processo de maquinação CNC de uma empresa do grupo, a Selmatron, esta análise provém da possibilidade de melhorar em todos os aspetos o processo de maquinação, pois a máquina utilizada na Selmatron é de calibre superior à utilizada na Tekon, permitindo por exemplo o uso de diferentes ferramentas e troca em carrossel. Esta solução impacta na qualidade do produto e na eficiência do processo, garantindo um padrão de qualidade, que é possível alcançar no atual modelo, uma vez que existe intervenção do operador nas diferentes etapas no processo.

Através das análises realizadas foi possível concluir que cada uma das soluções sugeridas permitirá, melhorar o processo existente, reduzir o lead time do processo entre 20 a 30%.

Será necessário um investimento por parte da Bresimar, tanto a nível de manutenção de equipamento, como a nível de inovação, para ser possível desenvolver e planear estas melhorias, pelo que o total estimado do investimento rondará os cerca de 2 000 €, que facilmente serão retornáveis pelos ganhos de eficiência: a libertação do operador para a realização de atividades que acrescentem valor; a redução no número de atividades em que é necessária a intervenção do mesmo, minimizando a probabilidade de erro e retrabalho, e ainda o cuidado com a própria qualidade do produto e eficiência do processo que são, objetivamente, amplificados.

No seguimento deste projeto é importante que, após a implementação das melhorias, o processo seja ainda acompanhado para ser possível compreender de forma prática quais são as melhorias efetuadas e compará-las às retiradas teoricamente. A fase de controlo do ciclo DMAIC deve também ser revista e devidamente implementada para o ciclo estar completo e funcional.

De notar que através do desenvolvimento 1, ainda existem problemas que não foram possíveis melhorar devido ao tempo restrito que houve para o desenvolvimento do projeto, como a maquinação com berbequim. Esta etapa do processo de preparação da

caixa não deixa de existir com a existência do gabarit, podendo sofrer alterações no que toca à solução 2 onde ocorre a revisão e otimização do código G, no entanto representa ainda a necessidade de intervenção por parte do operador, pelo que requer revisão futura.

Grande parte dos objetivos foram cumpridos, o problema foi definido, medido, analisado e apresentadas propostas de melhoria para o mesmo.

Não foi possível a realização da última etapa do DMAIC, o controlar, uma vez que as soluções propostas apesar de planeadas não foram implementadas pela empresa durante o período do estágio.

Pessoalmente, a realização deste estágio numa empresa com o perfil da Bresimar que sendo uma PME, representa a esmagadora maioria do tecido empresarial português, permitiu-me sentir o pulso do dia a dia de uma empresa e toda a complexidade em gerir todos os processos, fazendo-me crescer como pessoa e como futuro profissional na engenharia industrial.

As melhores equipas de futebol melhoram um pouco a cada dia, com a prática, jogos e avaliação do seu desempenho através das gravações de jogos. Nenhum atleta para de aprender. E nenhuma organização deve parar de aprender e melhorar. Através da aprendizagem e da experiência sabemos que quando seguimos o processo certo, obtemos os resultados certos.

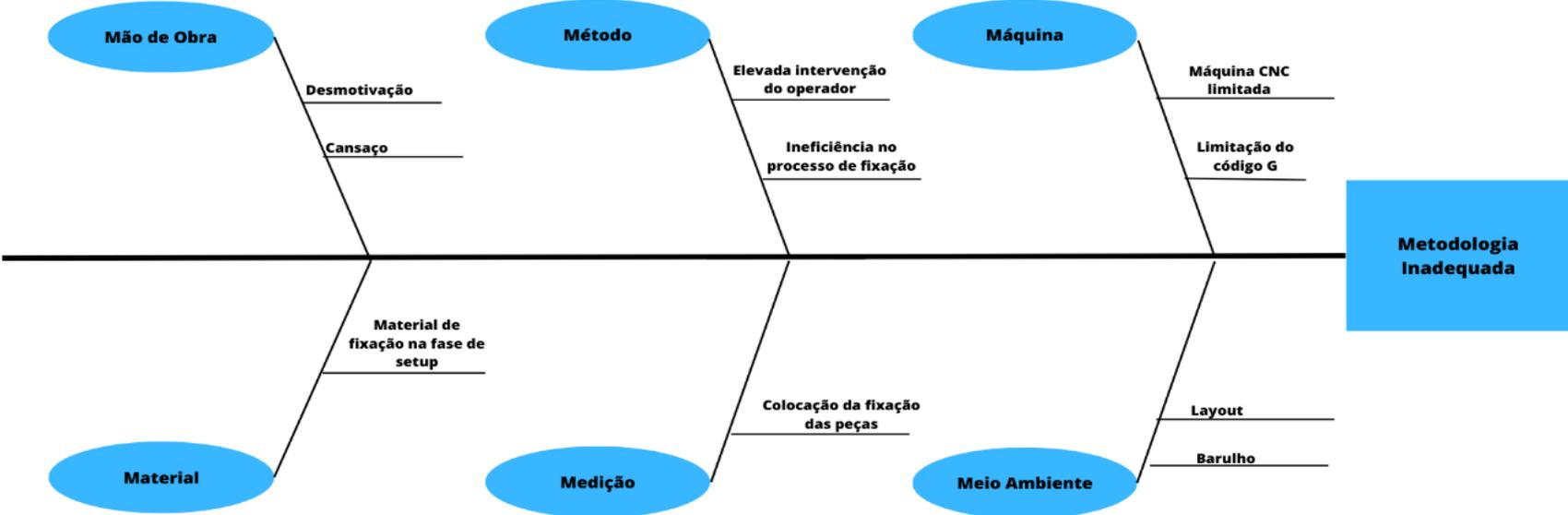
---

## Referências Bibliográficas

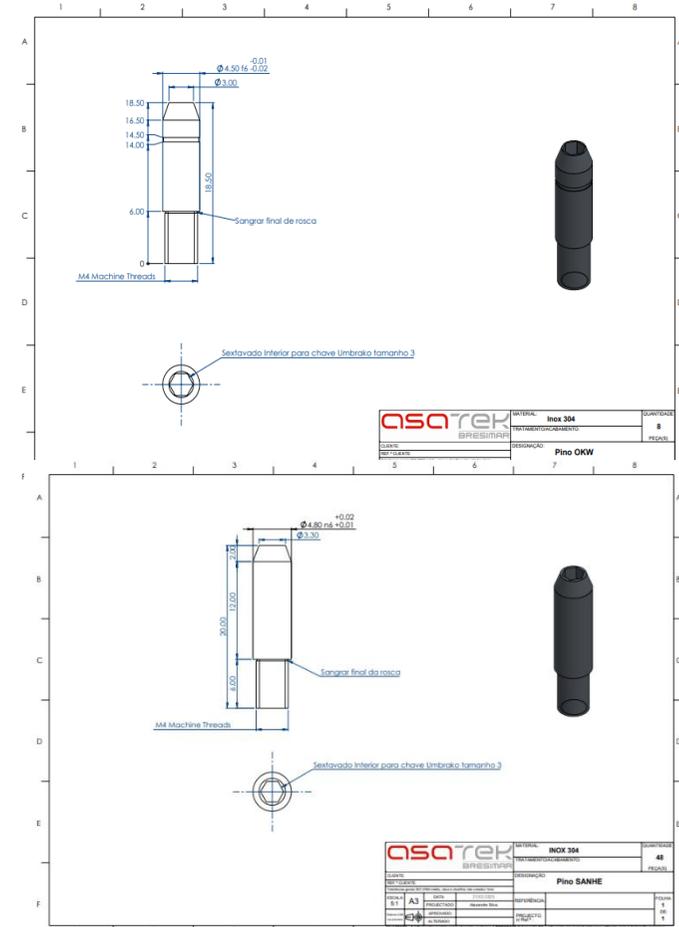
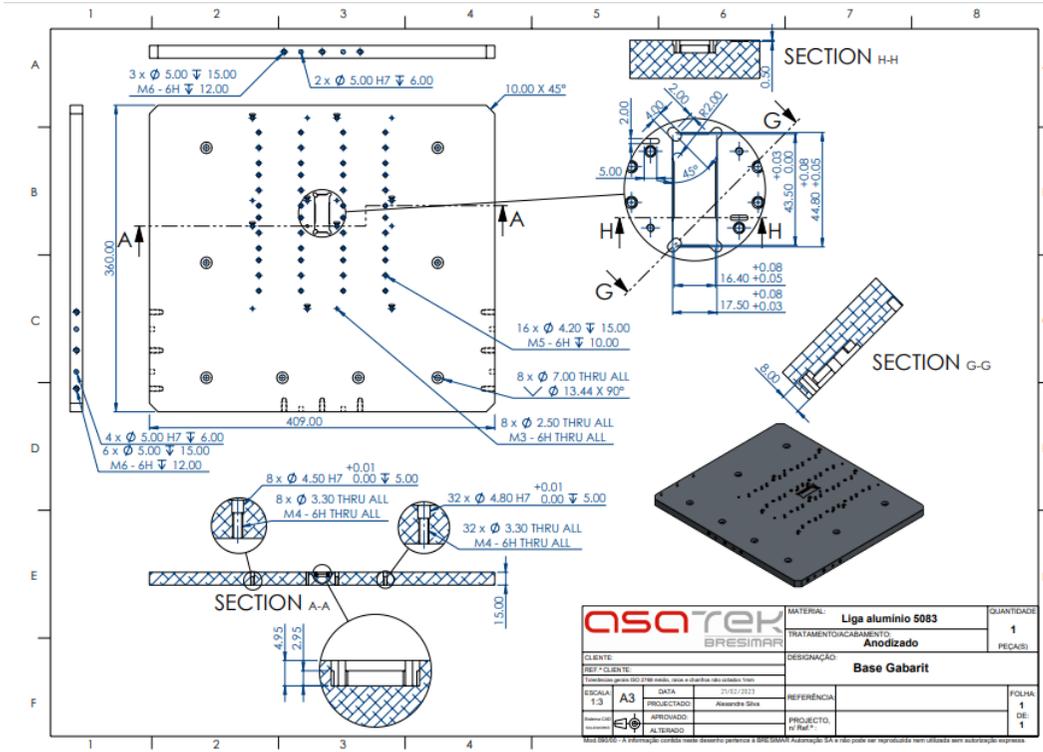
- Cherrafi, A., Elfezazi, S., Chiarini, A., Mokhlis, A., & Benhida, K. (2016). The integration of lean manufacturing, Six Sigma and sustainability: A literature review and future research directions for developing a specific model. *Journal of Cleaner Production*, 139, 828–846. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.101>
- Flifel, A., Zakic, N., & Tornjanski, A. (2017). Identification and selection of six sigma projects. *Journal of Process Management. New Technologies*, 5(2), 10–17. <https://doi.org/10.5937/jouproman5-13748>
- Ganguly, K. (2012). Improvement Process For Rolling Mill Through The DMAIC Six Sigma Approach. *In Internacional Journal for Quality*, 6(3).
- Karlsson, C., & Åhlström, P. (1996). Assessing changes towards lean production. *International Journal of Operations & Production Management*, 16(2), 24–41. <https://doi.org/10.1108/01443579610109820>
- Kosieradzka, A., & Ciechańska, O. (2018). *Impact of enterprise maturity on the implementation of six sigma concept*. 9(3), 59–70.
- Kumar, M., Antony, J., Singh, R. K., Tiwari, M. K., & Perry, D. (2006). Implementing the Lean Sigma framework in an Indian SME: a case study. *Production Planning & Control*, 17(4), 407–423. <https://doi.org/10.1080/09537280500483350>
- Linderman, K., Schroeder, R. G., Zaheer, S., & Choo, A. S. (2003). Six Sigma: a goal-theoretic perspective. *Journal of Operations Management*, 21(2), 193–203. [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(02\)00087-6](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(02)00087-6)
- N, V., & S, S. (2011). Lean Six Sigma. In *Six Sigma Projects and Personal Experiences*. InTech. <https://doi.org/10.5772/17288>
- Pande, P. S., Neuman, R. P., & Cavanaugh, R. R. (2000). *The Six Sigma Way: How to Maximize the Impact of Your Change and Improvement Efforts*.
- Purba, H. H., Nindiani, A., Trimarjoko, A., Jaqin, C., Hasibuan, S., & Tampubolon, S. (2021). Increasing Sigma levels in productivity improvement and industrial sustainability with Six Sigma methods in manufacturing industry: A systematic

- literature review. *Advances in Production Engineering & Management*, 16(3), 307–325. <https://doi.org/10.14743/apem2021.3.402>
- Pyzdek, T., & Keller, P. (2003). *The Six Sigma Handbook: A complete guide for green belts, black belts, and managers at all levels* (3rd ed.).
- Smytkowska, M., & Mrugalska, B. (2018). Using Six Sigma DMAIC to Improve the Quality of the Production Process: A Case Study. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 238, 590–596. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2018.04.039>
- Snee, R. (2000). *Impact of six sigma on quality engineering*. 12(3).
- Snee, R. D. (2010). Lean Six Sigma – getting better all the time. *International Journal of Lean Six Sigma*, 1(1), 9–29. <https://doi.org/10.1108/20401461011033130>
- Thomas, A., Barton, R., & Chuke-Okafor, C. (2008). Applying lean six sigma in a small engineering company – a model for change. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 20(1), 113–129. <https://doi.org/10.1108/17410380910925433>
- Trimarjoko, A., Hardi Purba, H., & Nindiani, A. (2023). Consistency of DMAIC phases implementation on Six Sigma method in manufacturing and service industry: a literature review. *Management and Production Engineering Review*. <https://doi.org/10.24425/mper.2020.136118>
- Womack, J., Jones, D., & Ross Daniel. (2007). *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production-- Toyota's Secret Weapon in the Global Car Wars That Is Now Revolutionizing World Industry*.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1997). Lean Thinking—Banish Waste and Create Wealth in your Corporation. *Journal of the Operational Research Society*, 48(11), 1148–1148. <https://doi.org/10.1038/sj.jors.2600967>

### ANEXO A: DIAGRAMA DE ISHIKAWA



## ANEXO B: DESENHOS 2D DO GABARIT E PINOS



## ANEXO C: DESENHOS 2D DO GABARIT PARA MÁQUINA CNC DA SELMATRON

