



# MELHORIA DO PROCESSO DE TORNEAMENTO NA PRODUÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS

**ANDRÉ DANIEL REBELO FERREIRA**

dezembro de 2020

# MELHORIA DO PROCESSO DE TORNEAMENTO NA PRODUÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS

André Daniel Rebelo Ferreira  
1140175

**2020**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO  
DO PORTO

isep

# MELHORIA DO PROCESSO DE TORNEAMENTO NA PRODUÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS

André Daniel Rebelo Ferreira  
1140175

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação de Professor Doutor Francisco José Gomes da Silva.

**2020**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO  
DO PORTO

isep

# JÚRI

## **Presidente**

Mestre/ Especialista José Carlos Vieira de Sá

Professor Assistente, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

## **Orientador**

Doutor Francisco José Gomes da Silva

Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

## **Arguente**

Doutora Carla Alexandra Soares Galdes

Professora Adjunta, Departamento de Gestão Industrial, Instituto Politécnico de Bragança



## AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Francisco Silva por demonstrar desde o primeiro contacto, muita disponibilidade e conhecimento para orientação na execução desta dissertação.

Ao meu orientador na WEGeuro, Engenheiro Rui Manuel Borges Moura Guedes.

A todos os membros da WEGeuro que ajudaram na recolha de dados, pela disponibilidade e partilha de conhecimento.

Gostaria ainda de agradecer a todos os amigos, à minha família.

E um agradecimento especial à minha companheira de vida, a minha namorada Juliana, responsável por nunca me deixar desistir, por estar sempre presente, pelo apoio em todos os momentos, pela motivação passada e pelos seus conhecimentos transmitidos.



## PALAVRAS CHAVE

Motores elétricos; *Seis Sigma*; Torneamento;

## RESUMO

A busca pela eficiência e qualidade nas produções industriais são produto da competitividade do mercado industrial. A capacidade de satisfazer os clientes e diminuir custos associados aos processos e produção, é diretamente proporcional à representatividade e competitividade de uma empresa num determinado setor.

Considerando estes pressupostos, encontrou-se na *WEGeuro* - Indústria Eléctrica, S.A. a disponibilidade e necessidade para, em complementaridade com os seus objetivos estratégicos, se estudar a melhoria de um processo de produção com a implementação de metodologia Seis-Sigma.

Este estudo tem como objetivo melhorar a qualidade do processo de torneamento dos veios W22 dos motores elétricos produzidos na empresa *WEGeuro* - Indústria Eléctrica, S.A, erradicando as reclamações e não-conformidades internas atribuídas a este processo.

A melhoria na estabilidade do processo foi significativa com a implementação do projeto, validada graficamente e quantitativamente. Verificou-se uma redução de 100% do número de não conformidades após a elaboração deste projeto. O plano de melhorias implementado prevê ainda uma reavaliação a longo prazo para revalidação das alterações efetuadas ao processo, promovendo uma melhoria contínua.



**KEYWORDS**

*Electric motors; Six Sigma; Turning;*

**ABSTRACT**

*The search for efficiency and quality in industrial production is a product of the competitiveness of the industrial market. The ability to satisfy customers and reduce costs associated with processes and production, is directly proportional to the representativeness and competitiveness of a company in each sector.*

*Considering these assumptions, WEGeuro - Indústria Eléctrica, S.A. found the availability and need to study the improvement of a production process with the implementation of the Six-Sigma methodology, in complementarity with its strategic objectives.*

*This study aims to improve the quality of the turning process of W22 electric motors produced at the company WEGeuro - Indústria Eléctrica, S.A, eliminating complaints and non-conformities attributed to this process.*

*The improvement in the stability of the process was significant with the implementation of the project, validated graphically and quantitatively. There was a 100% reduction in the number of non-conformities after the elaboration of this project. The implemented improvement plan also provides for a long-term reassessment to revalidate the changes made to the process, promoting continuous improvement.*



## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

### Lista de Abreviaturas

Ap	Profundidade de corte
Avg	Média
COV	<i>Components of Variance</i>
CP	Capacidade do processo
D	Diâmetro
d	Profundidade
Df	Diâmetro gerado depois da remoção
DMAIC	<i>Define, Measure, Analyze, Improve, Control</i>
Do	Diâmetro original
DOE	<i>Design Of Experiments</i>
f	Frequência
Fn	Avanço
Fp	Força perpendicular ao plano de trabalho
Ft	Força ativa
Fu	Força de maquinagem
H	Espessura de corte
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
L	Comprimento
LIE	Limite Inferior de Especificação
LSE	Limite Superior de Especificação
MSE	<i>Measurement System Evaluation</i>
N	Rotação da peça
Ns	Velocidade Síncrona
P	Número de Polos
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Act</i>
QA	Reclamações de clientes
QC	Não conformidades internas da empresa
SPC	<i>Statistical Process Control</i>
T	Tempo
TMR	Taxa de material removido
u	Energia específica de corte
Vc	Velocidade de corte
Y's	Variáveis resposta

### Lista de Unidades

m	Metro
---	-------

---

### Lista de Símbolos

---

$\gamma$	Dados amostragens
$\Sigma$	Somatório
%	Percentagem
€	Percentagem
/	Divisão
$\pi$	Número Pi, número irracional

---

## GLOSSÁRIO DE TERMOS

---

<i>Brainstorming</i>	Termo que define uma dinâmica de um grupo de conhecedores de um determinado assunto/problema a resolver com o intuito de explorar a criatividade, impelindo ao debate de ideias com foco na obtenção de soluções.
Filosofia <i>Lean</i>	Filosofia que objetiva a irradicação dos defeitos, desperdícios e custos associados a processos que não sejam valorizados pelo cliente.
Seis Sigma	Metodologia cujo objetivo é melhorar continuamente os processos inerentes ao objeto final da produção com zero defeitos.
<i>Software</i>	Define um estrangeirismo. Programa utilizado num computador para a execução de tarefas pretendidas.
Torneamento	Processo de maquinagem que combina dois movimentos: a rotação da peça e o avanço da ferramenta de corte, sob o mesmo eixo. Este processo permite tornear peças de forma geométrica de revolução.
Ciclo PDCA	O Ciclo PDCA (Plan-do-check-act) é uma ferramenta que traduz o processo de planeamento, execução, verificação e de ação.
<i>Project Charter</i>	Documento de projeto onde constam objetivos, prazos e métodos a utilizar.

---



## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – DIAGRAMA RESUMO DOS PROCEDIMENTOS E MÉTODOS DO ESTUDO.	5
FIGURA 2 – QUADRO-RESUMO DA CARACTERIZAÇÃO DOS MOTORES ELÉTRICOS (ADAPTADO DE WEG, 2020)	10
FIGURA 3 – TIPOS DE TORNEAMENTO (ADAPTADO DE WEG, 2020)	11
FIGURA 4 – COMPONENTES DO MOTOR GAMA W22: 3.1- CARÇAÇA, 3.2- OLHAIS, 3.4- TERMINAIS DE ATERRAMENTO, 3.5- CAIXA DE LIGAÇÃO, 3.8- TAMPAS, 3.10- TAMPA DEFLETORA, 3.11- PLACA DE IDENTIFICAÇÃO, 4.1- SISTEMA DE VENTILAÇÃO, 5.1- VEIO, 5.2- ROLAMENTOS, 7.2- VEDAÇÃO, 7.3- PINTURA (WEG, 2020)	23
FIGURA 5 – ESQUEMA RESUMO DO PROCESSO PRODUTIVO DO VEIO DOS MOTORES W22	24
FIGURA 6 - INICIO DE PRODUÇÃO, MATERIAL EM BRUTO (IMAGEM ORIGINAL)	24
FIGURA 7 - CORTE DO MATERIAL (IMAGEM ORIGINAL)	25
FIGURA 8 - TROÇOS (IMAGEM ORIGINAL)	26
FIGURA 9 - FACEJAMENTO E FURAÇÃO PARA FIXAÇÃO (IMAGEM ORIGINAL)	26
FIGURA 10 – TORNEAMENTO (IMAGEM ORIGINAL)	29
FIGURA 11 – LOCAL DO DEFEITO, NÃO CONFORMIDADES ASSOCIADAS E CUSTOS NOS ANOS DE 2018 E 2019 (QC – NÃO CONFORMIDADE INTERNA; QA – NÃO CONFORMIDADE EXTERNA/NO CLIENTE)	30
FIGURA 12 – DIAGRAMA DE <i>ISHIKAWA</i>	31
FIGURA 13 – PERGUNTAS DO MAPA DE RACIOCÍNIO	32
FIGURA 14 - MAPA DE PROCESSO (C- FATOR/VARIÁVEL CONTROLADO; N – RUÍDO; X – CONSIDERADO CRÍTICO)	33
FIGURA 15 - ÁRVORE DE AMOSTRAGEM PARA VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO	34
FIGURA 16 – GRÁFICO DO CRITÉRIO DE ESTABILIDADE DO SISTEMA DE MEDIÇÃO	35
FIGURA 17 – GRÁFICOS DO CRITÉRIO DE DISCRIMINAÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO	36
FIGURA 18 – GRÁFICO DO CRITÉRIO DE REPRODUTIBILIDADE DO SISTEMA DE MEDIÇÃO	36
FIGURA 19 – GRÁFICO DO CRITÉRIO DE REPETIBILIDADE DO SISTEMA DE MEDIÇÃO	37
FIGURA 20 - ÁRVORE DE AMOSTRAGEM PARA AVALIAÇÃO DAS FONTES DE VARIAÇÃO	38
FIGURA 21 – GRÁFICO DE ANÁLISE PRÁTICA (LSE – LIMITE SUPERIOR ESPECIFICADO; LIE – LIMITE INFERIOR ESPECIFICADO)	39
FIGURA 22 – ANÁLISE QUANTITATIVA DAS FONTES DE VARIAÇÃO DO PROCESSO E DAS SUAS INTERAÇÕES (% OF TOTAL - EXPRESSA O PERCENTUAL DO IMPACTO DA FONTE DE VARIAÇÃO E DAS SUAS INTERAÇÕES EM PERCENTAGEM)	39
FIGURA 23 – ANÁLISE GRÁFICA DA VARIAÇÃO E MÉDIA DE DIÂMETRO DE ACORDO COM A ORDEM DE SAÍDA DO VEIO (LSE – LIMITE SUPERIOR ESPECIFICADO; LIE – LIMITE INFERIOR ESPECIFICADO; Y4 – ORDEM DE SAÍDA DO VEIO)	40
FIGURA 24 – ANÁLISE GRÁFICA DA VARIAÇÃO E MÉDIA DE DIÂMETRO DE ACORDO COM AS MÁQUINAS (LSE – LIMITE SUPERIOR ESPECIFICADO; LIE – LIMITE INFERIOR ESPECIFICADO)	40
FIGURA 25 – ANÁLISE GRÁFICA DA VARIAÇÃO E MÉDIA DE ACORDO COM OS DIFERENTES OPERADORES	41

FIGURA 26 – ANÁLISE GRÁFICA DA VARIAÇÃO E MÉDIA DE ACORDO COM OS DIFERENTES OPERADORES E NAS DIFERENTES MÁQUINAS	41
FIGURA 27 – ÁRVORE DE AMOSTRAGEM DA 2ª APLICAÇÃO DO MSE	43
FIGURA 28 – ANÁLISE DA ESTABILIDADE DO DIÂMETRO DO VEIO EM TODAS AS MEDIÇÕES E COM TODOS OS OPERADORES - 2ª APLICAÇÃO DO MSE (LSE – LIMITE SUPERIOR ESPECIFICADO; LIE – LIMITE INFERIOR ESPECIFICADO)	43
FIGURA 29 – ANÁLISE DA DISCRIMINAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO - 2ª APLICAÇÃO DO MSE	44
FIGURA 30 – GRÁFICO DO CRITÉRIO DE REPRODUTIBILIDADE – 2ª APLICAÇÃO MSE	44
FIGURA 31 – GRÁFICO DO CRITÉRIO DE REPETIBILIDADE - 2ª APLICAÇÃO MSE	45
FIGURA 32 – ANÁLISE DE RUGOSIDADE DOS VEIOS	46
FIGURA 33 – ÁRVORE DE AMOSTRAGEM DO DOE PARA ANALISAR AS VARIÁVEIS CRÍTICAS DA MÁQUINA	48
FIGURA 34 – <i>OVERLAY PLOT</i>	49
FIGURA 35 – <i>PARETO PLOT OF ESTIMATES AND NORMAL PLOT</i> - DIFERENÇA EM RELAÇÃO AO 1º VEIO	50
FIGURA 36 – <i>PREDICTION PROFILER</i>	51
FIGURA 37 – ÁRVORE DE AMOSTRAGEM – VALIDAÇÃO DE DADOS	51
FIGURA 38 - VARIAÇÃO DO PROCESSO ANTES E APÓS OS AJUSTES	52
FIGURA 39 - NÃO CONFORMIDADES APÓS IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO	54

## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – CARACTERIZAÇÃO DO CONCEITO DA FILOSOFIA <i>LEAN</i> SEGUNDO DIVERSOS AUTORES	13
TABELA 2 – CARACTERIZAÇÃO DAS FONTES DE VARIAÇÃO E VARIÁVEIS CONSIDERADAS NO DOE	47
TABELA 3 – HIERARQUIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS AÇÕES DE MELHORIA	53



# ÍNDICE

RESUMO	IX
ABSTRACT	XI
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	XIV
GLOSSÁRIO DE TERMOS	XV
ÍNDICE DE FIGURAS	XVIII
ÍNDICE DE TABELAS	XIX
1 INTRODUÇÃO .....	3
1.1. <i>Enquadramento</i> .....	3
1.2. <i>Objetivos</i> .....	4
1.3. <i>Metodologia</i> .....	4
1.4. <i>Empresa de Acolhimento</i> .....	5
1.5. <i>Estrutura da Dissertação</i> .....	6
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1. <i>A indústria dos Motores Elétricos</i> .....	9
2.1.1 Motores Elétricos .....	9
2.1.2 O processo de torneamento.....	11
2.2 <i>Filosofia Lean</i> .....	13
2.2.1 Metodologia Seis Sigma .....	15
2.2.2 Técnicas e Ferramentas da Qualidade .....	15
2.2.2.1 Ciclo PDCA.....	16
2.2.2.2 DMAIC.....	17
2.2.2.3 Fluxograma .....	17
2.2.2.4 Diagrama de Pareto .....	17
2.2.2.5 Brainstorming .....	18
2.2.2.6 Diagrama de Ishikawa .....	18
2.2.2.7 Controlo de Estatística de Processo (SPC) .....	18
2.2.2.8 Design of Experiments (DOE).....	19
2.2.2.9 Measurement System Evaluation (MSE).....	19
2.2.2.10 Project Charter.....	19
3 PROCESSO PRODUTIVO .....	23
3.1 <i>Produto WEG: Motores elétricos gama W22</i> .....	23

3.2	<i>Processo de corte do varão para veio/ Corte do aço</i> .....	24
3.3	<i>Facejamento e furação para fixação</i> .....	26
3.4	<i>Torneamento</i> .....	27
3.5	<i>Medição</i> .....	29
4	<b>CASO DE ESTUDO</b> .....	29
4.1	<i>Apresentação do Problema</i> .....	29
4.2	<i>Identificação do Problema</i> .....	30
4.2.1	<i>Measurement System Evaluation (MSE)</i> .....	34
4.2.2	<i>Components of Variance (COV)</i> .....	37
4.2.3	<i>Measurement System Evaluation (MSE) – 2ª aplicação</i> .....	42
4.2.4	<i>Design of Experiments (DOE)</i> .....	45
4.2.5	Definição e implementação de ações de melhoria .....	51
4.2.6	Avaliação da implementação das ações de melhoria.....	53
5	<b>CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS</b> .....	57
5.1	<b>CONCLUSÕES</b> .....	57
5.2	<b>PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS</b> .....	58
6	<b>BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO</b> .....	61
7	<b>ANEXOS</b> .....	67
7.1	<b>ANEXO 1 – Mapa de Raciocínio</b> .....	67
7.2	<b>ANEXO 2 – Project Charter</b> .....	69

# INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

1.2 Objetivos

1.3 Metodologia

1.4 Estrutura da Dissertação

# 1 INTRODUÇÃO

Nesta primeira parte da dissertação consta um enquadramento teórico, são apresentados os objetivos, a metodologia de investigação utilizada na realização do estudo e é apresentada a estrutura do relatório, bem como a empresa de acolhimento onde decorreu o estudo.

## 1.1. Enquadramento

A procura da eficiência e da qualidade nas produções industriais tem vindo a ocupar os administradores. O cenário atual da indústria e a competitividade do mercado industrial são os promotores desta busca (Rosa *et al.*, 2019; SinghKaswan & Rathi, 2020).

A competitividade de uma indústria encontra-se associada à sua capacidade de satisfazer os clientes e reduzir custos associados. Para a melhoria das linhas de produção foram apresentadas nas últimas décadas inúmeras metodologias e ferramentas. No entanto, nem todas se mostraram eficazes no alinhamento total com a estratégia principal das empresas ou o envolvimento de todas as áreas – de manufatura, suporte e comercial (Costa *et al.*, 2020).

As metodologias *Lean* e Seis sigma abriram um capítulo na história da qualidade dos processos. O conjunto de práticas com o propósito de melhorar sistematicamente os processos e eliminar as não-conformidades recorrentes são basilares na filosofia Seis Sigma. Desde a sua origem, esta filosofia de trabalho procura aumentar a produtividade, melhorar a qualidade e reduzir os custos associados aos produtos e aos processos (Montgomery, & Woodall, 2008; Trad & Maximiano, 2009).

Considerando estes pressupostos, encontrou-se na WEGeuro - Indústria Eléctrica, S.A. a disponibilidade e necessidade para, em complementaridade com os seus objetivos estratégicos, se estudar a melhoria de um processo de produção com a implementação de metodologia *Lean Seis-Sigma*. Deste modo, esta dissertação - “Melhoria do Processo de Torneamento na Produção de Motores Eléctricos”, surge no âmbito da dissertação de mestrado do Mestrado em Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) - ramo de energias, e foi elaborada em contexto industrial entre janeiro e julho de 2020.

## 1.2. Objetivos

Este estudo pretendeu melhorar o processo de torneamento dos veios W22 dos motores elétricos produzidos na empresa WEGeuro - Indústria Eléctrica, S.A. Assente na filosofia Seis Sigma, na necessidade de eliminar não-conformidades recorrentes, o objetivo deste estudo foi melhorar o processo de torneamento do veio dos motores W22, evitando o ruído na zona do ventilador e o desperdício de ventiladores que se partiam no processo de montagem, assim como aumentar o controlo dos resultados do processo. Deste modo, o objetivo geral do estudo é:

- Eliminar o erro dimensional do diâmetro 65h6 no veio dos motores W22;

A hipótese colocada face ao racional do objetivo seria que o erro dimensional do diâmetro estaria na origem destas não-conformidades. Para responder ao objetivo geral, foram identificados objetivos específicos:

- Avaliar todas as possíveis fontes de variação do processo;
  - Avaliar a capacidade de preparação das máquinas por cada operador (*setup*);
  - Avaliar diferentes máquinas de produção, o resultado de diferentes tornos;
  - Avaliar os equipamentos de medição existentes;
  - Avaliar os desvios geométricos da zona do diâmetro 65h6 (0;0,018 mm);
  - Correlacionar o diâmetro final face ao tipo de material utilizado no processo;
- Avaliar todas as fontes de variação e variáveis da própria máquina;
  - Avaliar o tipo de inserto utilizado e a geometria do mesmo;
  - Avaliar se os parâmetros que estão definidos para a máquina (velocidade, avanço e profundidade de corte) são os mais adequados;
  - Avaliar o tipo de lubrificação utilizado e a sua adequabilidade;
- Elaborar plano de ação com análise custo-benefício da sua implementação.

## 1.3. Metodologia

A metodologia utilizada na realização do presente trabalho foi a metodologia Seis Sigma. O presente trabalho tratou-se de um estudo de otimização de um processo, o torneamento dos motores W22 com vista à resolução do problema basilar às não-conformidades e reclamações de clientes. A escolha da metodologia assentou na sua proficuidade para responder ao objetivo, traduzindo-se numa filosofia de qualidade que consiste na definição de objetivos a curto prazo para que sejam atingidas metas a longo prazo, orientado para a melhoria dos processos (Costa *et al.*, 2020; SinghKaswan & Rathi, 2020).

A complexidade do problema com vista à melhoria de um processo exigente, traduziu-se na adoção da abordagem pelo ciclo *Plan-do-study-act* (PDSA), abordagem sequencial para encontrar soluções de problemas mais complexos (Raluca & Adriana, 2015; Crowfoot & Prasad, 2017). Deste modo, o estudo dividiu-se em quatro etapas: **Etapa 1** - Na fase de planeamento (*plan*), com recurso à pesquisa bibliográfica e consulta de documentação interna, elaborou-se um mapa de raciocínio e mapa de processo; Para definição da criticidade, procedeu-se a um *brainstorming* e desenvolveu-se um diagrama de *Ishikawa*; **Etapa 2** - (fase *do*) Aplicação de *Measurement System Evaluation* (MSE); Para avaliação das fontes de variação críticas mencionadas no mapa de processo, recorreu-se ao *Components of Variance* (COV); Para avaliação das fontes de variação críticas mencionadas no mapa de processo, recorreu-se ao *Components of Variance* (COV); Aplicação de um *Design of Experiments* (DOE); **Etapa 3** - (fase *study*) Avaliação dos dados recolhidos na etapa anterior; **Etapa 4** - (fase *act*) Elaboração de um plano de ação.

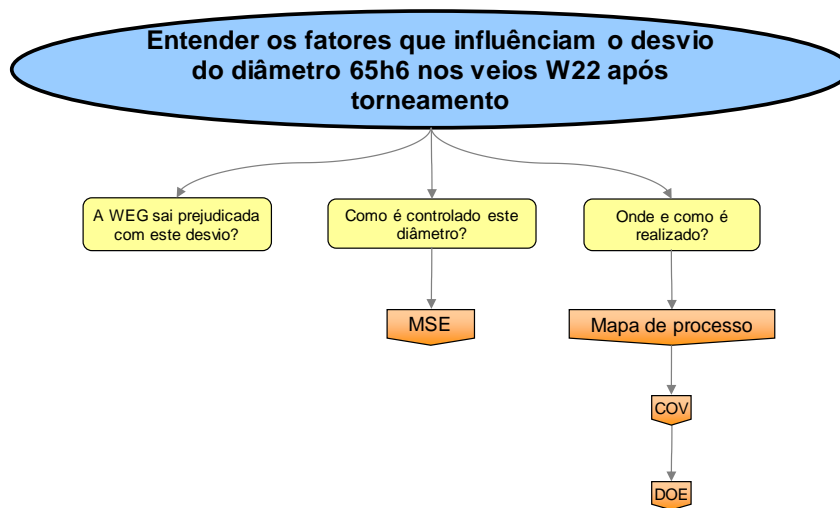


Figura 1 – Diagrama resumo dos procedimentos e métodos do estudo.

#### 1.4. Empresa de Acolhimento

A WEGeuro – Indústria elétrica S.A. é uma das filiais da WEG situada em Portugal, que se dedica principalmente à produção de motores de alta e baixa tensão, geradores e transformadores elétricos (WEG, 2020).

As reclamações dos clientes são a prioridade máxima na tentativa contínua de melhoria e face às reclamações de ruído na zona dos ventiladores dos motores da gama W22 e às não-conformidades internas de ventiladores partidos na fase de montagem, tornou-se crucial melhorar o processo de torneamento e identificar as causas-raíz do problema. O estudo apresentado nesta dissertação que procurou resolver este problema, decorreu

ao longo de seis meses, entre janeiro e julho de 2020, sob a orientação interna do Gerente do Departamento de Engenharia da Qualidade, Engenheiro Rui Manuel Borges de Moura Guedes.

O compromisso da WEGeuro – Indústria elétrica S.A. é desenvolver produtos de qualidade e soluções eficientes que atendam aos parâmetros de qualidade internacionais e reflitam em ações concretas e reconhecimento público. Diminuir as reclamações e as não-conformidades, são ações cruciais para garantir a qualidade dos processos e produtos e aumentar a sua competitividade no mercado (WEG, 2020).

Atualmente a empresa encontra-se na fase inicial de um novo sistema de produção chamado WMS - *World Manufacturing System* o qual adaptou o nome WMS – *WEG Manufacturing System*, que consiste numa filosofia de ser o melhor, o mais rápido e o mais barato produtor de um produto ou serviço. Implica estar em constante melhoria de produtos, processos e serviços para permanecer um líder do setor, com o objetivo de fornecer a melhor escolha para os clientes, independentemente de estes serem internos ou externos à empresa (WEG, 2020).

### 1.5. Estrutura da Dissertação

A dissertação encontra-se estruturada em seis capítulos, ao longo dos quais são apresentados: **Capítulo 1** – o enquadramento do trabalho, uma introdução à fundamentação da pertinência do estudo, dos objetivos, da opção metodológica e do local onde foi implementado; **Capítulo 2** – conceitos teóricos que fundamentam e suportam o desenvolvimento do estudo. Neste capítulo de Revisão Bibliográfica, são apresentados conceitos teóricos que são basilares na fundamentação do desenvolvimento e dos resultados apresentados neste estudo; **Capítulo 3** – procedimentos, métodos, materiais, análise de dados e apresentação de resultados. Neste capítulo de Desenvolvimento é apresentado o processo de recolha de dados e de análise dos resultados; **Capítulo 4** – as conclusões do estudo. No capítulo “Conclusões e propostas futuras” são apresentadas as conclusões finais e propostos trabalhos futuros. Por último, consta a Bibliografia, outras fontes de informação e os anexos, que complementam a informação contida ao longo da dissertação.

# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A indústria dos Motores Elétricos

2.2. Filosofia *Lean*



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. A indústria dos Motores Elétricos

O mercado industrial atual sofre constantes alterações que exigem flexibilidade por parte da gestão das empresas. Perante problemas não estruturados que vão surgindo, aumentar a eficiência e eficácia dos processos impõe aos gestores tomadas de decisões arriscadas, incertas e imprevisíveis. De todas as decisões e desafios diários que surgem, todas são tomadas com o objetivo de aumentar a sua competitividade no mercado face às exigências dos clientes (WEG, 2020; Mahajan et al., 2019)

Desde o séc. XX que as empresas defendem uma postura de ataque/defesa dado que acreditam que não há motivos para crer que uma empresa que obteve lucro no passado possa continuar a ter no futuro, apontando a melhoria contínua como a solução para o sucesso das empresas. Esta melhoria contínua exige dispêndio de tempo e de dinheiro, mas é assumido com um mal necessário para as empresas e que garante a diminuição dos desperdícios, a satisfação do cliente e a melhoria constante dos produtos e processos (Gama *et al.*, 2015; Pombal *et al.*, 2019)

O desenvolvimento de uma indústria pressupõe a supressão dos riscos e a gestão da incerteza associada à tomada de decisão, mas o impacto financeiro para garantir este desenvolvimento é ponderado pelas indústrias. O uso de metodologias validadas que permitem verificar múltiplos fatores internos e externos à empresa é uma aposta das indústrias, garantindo um risco ponderado (Gama *et al.*, 2015).

#### 2.1.1 Motores Elétricos

Os motores elétricos são máquinas capazes de transformar energia elétrica em energia mecânica. Existe uma grande variedade de motores elétricos atualmente na indústria, no comércio e em aplicações domésticas. A escolha de um motor elétrico é condicionada por vários fatores, de onde se destacam-se os seguintes aspetos elétricos e mecânicos:

- Aspetos Elétricos: Tipo de corrente de alimentação (contínua ou alternada); Tensão utilizada; Frequência ou gamas de frequência; Potência útil; Corrente estipulada; Corrente de arranque; Rendimento; Fator de potência;
- Aspetos Mecânicos: Velocidade ou gamas de velocidade; Binário de arranque; Binário resistente; Fator de serviço; Sistemas de refrigeração; Aspetos construtivos diversos (Germanos *et al.*, 2020).

É importante saber os fatores mencionados para diminuir a corrente de arranque, facilidade de controlo da velocidade de rotação e para saber o binário de arranque necessário para arrancar com uma determinada carga (Germanos *et al.*, 2020).

Existe uma grande diversidade de motores elétricos quanto à sua função e constituição (figura 2).

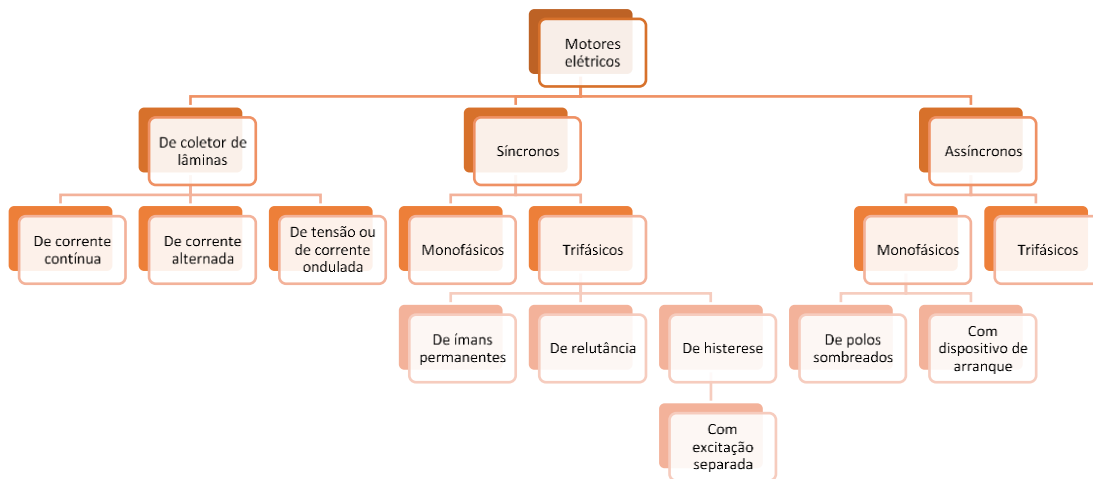


Figura 2 – Quadro-resumo da Caracterização dos motores elétricos (adaptado de Weg, 2020)

Nos motores trifásicos, a variação do campo magnético em enrolamentos de cobre é capaz de fazer girar um outro componente magnético, e este é o princípio de funcionamento do motor. Estes enrolamentos, encontram-se numa parte fixa do motor chamada de estator, a parte que é acionada pelo campo magnético e gira denomina-se de rotor (Germanos *et al.*, 2020; WEG, 2020).

Nos enrolamentos que ficam no estator, estão a circular três fases vindas da rede. É assim que a alternância da tensão nas fases gera campos eletromagnéticos variáveis que induzem a rotação do rotor do motor. O rotor é constituído por dois componentes distintos, a chaparia e o veio. A chaparia traduz-se em chapas magnéticas que foram sujeitas a uma prensagem e formaram um bloco único e o veio, peça resultante de um processo de torneamento (Germanos *et al.*, 2020; WEG, 2020).

A velocidade a que o motor gira depende de dois fatores: a frequência da rede elétrica, normalmente 50 Hz e dos polos magnéticos inseridos no estator. Para determinar a velocidade de um motor trifásico, podemos utilizar a seguinte fórmula:

$$N_s = \frac{120 \cdot f}{p}$$

onde,  $N_s$  = Velocidade Síncrona em RPM;  $F$  = Frequência em Hz;  $P$  = Número de polos

### 2.1.2 O processo de torneamento

Torneamento define-se como um processo em que uma peça em rotação sofre um corte provocado por uma ferramenta em movimento de avanço, tendo por objetivo obter superfícies de revolução em torno do eixo principal de rotação da máquina (figura 3) (WEG, 2020).

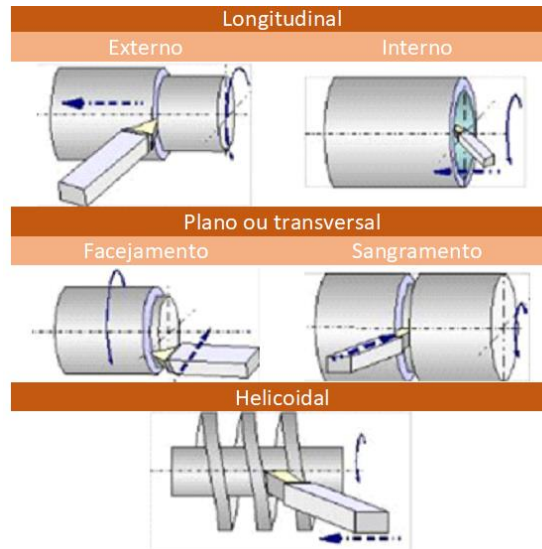


Figura 3 – Tipos de torneamento (adaptado de Weg, 2020)

A ferramenta de corte é colocada a uma determinada profundidade e, enquanto a peça gira sobre o eixo, esta desloca-se sobre ela a uma determinada velocidade. As tensões opostas geradas entre a ferramenta de corte e a peça, criam uma região de cisalhamento, onde ocorre uma rutura parcial ou completa do material. Esta rutura depende das condições de maquinagem e ductilidade do material: há um escorregamento da porção de material deformada e cisalhada sobre a superfície de saída da ferramenta e este material que sai é denominado de cavaco (WEG, 2020).

A razão entre a espessura do cavaco e a espessura de corte é denominada de grau de recalque e pode ser usada para calcular o ângulo de cisalhamento que influencia diretamente a força, energia e temperatura necessárias para um bom torneamento. As variáveis que influenciam o processo de torneamento são:

- A geometria da ferramenta (ângulo de folga ou incidência, ângulo de cunha, ângulo de saída, ângulo de ponta ou aresta, ângulo de direção, ângulo de inclinação e raio de ponta ou aresta);
- A taxa de material (TMR) a ser removida pode ser calculada através da seguinte expressão:

$$TMR = \pi(D_o + D_f) \times d \times f \times N$$

onde,  $D_o$  é o diâmetro original (mm);  $D_f$  é o diâmetro gerado depois da remoção (mm);  $d$  é a profundidade de corte (mm);  $f$  é o avanço (mm/rot) e  $N$  é a rotação da peça (rpm).

- O tempo (T) de maquinagem é dado por:

$$T = L/(f \times N)$$

Onde, L é o comprimento maquinado da peça.

- A força de maquinagem ( $F_u$ ) (N – Newton) é a resultante que atua sobre a ferramenta de corte durante a maquinagem.

$$F_u = \sqrt{F_p^2 + F_t^2}$$

Onde,  $F_p$  é a força perpendicular ao plano de trabalho e  $F_t$  é a força ativa que está no plano de trabalho onde o movimento é realizado.

Os principais fatores que influenciam diretamente na energia específica de corte são o material da peça utilizada, a ferramenta de corte e os diversos parâmetros do corte. Os parâmetros de corte mais importantes são:

- Velocidade de corte ( $V_c$ ) – o efeito desta depende de outros fatores na energia específica de corte. São eles, a temperatura na zona de corte, o grau de recalque e atrito entre o cavaco e a ferramenta. Aumenta exponencialmente a temperatura quando a velocidade é muito alta, e como consequência, isso diminui a resistência do material ao cisalhamento.

$$V_c = \pi \times D \times N$$

Onde,  $D$  = Diâmetro em metros (m) e  $N$  = Rotação da peça em rotações por minuto (rpm).

- Avanço ( $f_n$ ) – o aumento do avanço diminui a energia específica de corte porque praticamente todo o material é transformado em cavaco e, desta forma, a força consumida é pequena.
- Profundidade de corte ( $ap$ ) – Quanto maior a profundidade de corte, menor a energia específica de corte e vice-versa.
- Espessura de Corte ( $h$ ) – Quando  $h$  é maior do que 25  $\mu\text{m}$ , afirma-se que:

$$u = 1/h^x$$

Onde,  $u$  é a energia específica de corte e esta é inversamente proporcional à espessura de corte. O “ $x$ ” na espessura de corte em torneamentos, onde são utilizadas ferramentas de corte com geometrias definidas, assume o valor 0,2.

- Área da Secção de Corte, corresponde ao conjunto do avanço da ferramenta multiplicado pela profundidade de corte. Quanto menor for a área da secção de corte, maior será a energia específica de corte.

- A lubrificação, quando esta se encontra adequada à penetração na zona de contacto ferramenta-cavaco, fica facilitada e esta influência a energia específica de corte e em todas as forças de maquinagem (WEG, 2020).

## 2.2 Filosofia *Lean*

Nas últimas décadas a indústria tem sofrido uma constante evolução tecnológica que se traduz em novos desafios e novas oportunidades. O paradigma da produção em massa tem dado lugar a uma produção centrada no cliente e adaptada às suas necessidades e exigências. A melhoria da produtividade, qualidade, flexibilidade e redução de custos associados ao produto e produção são os passos necessários para responder aos desafios colocados pelas indústrias (Rosa *et al.*, 2017; Barbosa *et al.*, 2017; Pereira *et al.*, 2020, Dias *et al.*, 2019).

O paradigma de produção de *Lean* é um dos modelos que pode ser usado para melhorar a qualidade da produção e dos objetivos, sendo descritos por diversos autores (tabela 1).

Tabela 1 – Caracterização do conceito da filosofia *Lean* segundo diversos autores

Autor	Caracterização
Rosa <i>et al.</i> , 2017	Filosofia <i>Lean</i> ou <i>Toyota Production System</i> foi pensada com base em ferramentas e soluções que promovam uma melhoria contínua de processos e pessoas. Este conceito foi introduzido em 1990 e as técnicas eram focadas na redução do desperdício e em garantir a produção no prazo desejado.
Barbosa <i>et al.</i> , 2017	O paradigma de produção de <i>Lean</i> é uma das metodologias que pode ser utilizada para alcançar objetivos de qualidade e produtividade das empresas. O objetivo desta metodologia é identificar e remover todas as atividades de design, produção e processos relacionados com o abastecimento que não adicionem valor ao pedido feito pelo cliente.
Pereira <i>et al.</i> , 2020	Conceito originário na empresa Toyota em 1980 com o objetivo de diminuir os desperdícios devido à escassez de material, de recursos humanos e financeiros. Com esta metodologia foi possível reduzir os desperdícios sem aumentar os custos para o cliente.
Lopes <i>et al.</i> , 2020	As ferramentas da metodologia <i>Lean</i> são utilizadas para melhorar a gestão do processo de produção e o controlo do mesmo. A adoção destas ferramentas permitem otimizar a produtividade organizacional, definir processos, reduzir tempo de produção e gastos associados. As ferramentas mais

---

utilizadas são: *Value Stream Mapping (VSM)*, *Cycle Plan-Do-Check-Act (PDCA)*, *Kaizen*, *Kanban*, *Single Minute Exchange of die (SMED)*, entre outras.

---

Vieira *et al.*, 2020

A filosofia *Lean* é baseada na identificação do valor, eliminação do desperdício e na criação de um fluxo ou valor pensado para o cliente. Neste sentido, são implementadas melhorias contínuas e podem ser adotadas diferentes ferramentas para identificar os desperdícios e todas as atividades que não acrescentam valor ao produto final.

---

A gestão tendo por base a filosofia *Lean* tem sido descrita como vantajosa, em diversas indústrias e setores. Na indústria automóvel, Rosa et al. (2017) aplicou no seu estudo ferramentas *Lean*, com o intuito de aumentar a flexibilidade e produtividade nas linhas de montagem de cabos de assento. Com recurso a estas ferramentas, foram implementadas ações de melhoria que visavam a organização de ferramentas, identificação das ferramentas, reorganização de tarefas internas e externas, configuração detalhada de arquivos, aplicação de recursos visuais e formação a operadores. Verificou-se uma redução de pelo menos 58,3% nos tempos de paragem por semana para executar configurações na linha de montagem. Os ganhos de tempo de produção são também referidos no estudo de Rosa et al. (2018), em que se objetivou a eliminação de tarefas que não agregavam valor e a diminuição de desperdício no processo de produção de cabos de controlo. A aplicação de ferramentas *Lean* traduziu-se num aumento na linha de produção de 43%.

Também na indústria automóvel, o estudo de Antonioli et al. (2017), mostrou vantagens na otimização de processos com a aplicação da filosofia *Lean* e das suas ferramentas. Numa linha de produção de sistemas de ar condicionado, a padronização das operações, ajustes e alocações nas estações de trabalho permitiram o aumento da produtividade e eliminação de desperdícios. Deste modo, referem ter sido possível o aumento da eficácia geral do equipamento em 16%, perfazendo uma eficácia total de 86%. O estudo de Guariente et al. (2017) corrobora o estudo de Antonioli et al. (2017), sendo que a implementação de ferramentas assentes na filosofia *Lean*, numa empresa de produção de tubos de ar condicionado para a indústria automóvel, também se traduziu num aumento da eficácia geral do equipamento (8%).

Na indústria de joalheria, Rocha et al. (2018) adotou o uso de ferramentas *Lean* e também demonstrou melhorias no processo produtivo. Com a implementação de um quadro *kanban* na produção e com a implementação da filosofia 5s foi otimizada a organização na produção. Também na indústria metalúrgica, Dias et al. (2019) apresentou melhorias com a implementação de 14 medidas assentes nos princípios de

*Lean* e com o uso das suas ferramentas - reorganização dos espaços de armazenamento, uma redução nos tempos de operação logística de cerca de 20% e diminuição do tempo de acesso às ferramentas em cerca de 61%.

Em diversas indústrias se mostrou ser profícua a adoção dos princípios *Lean*, traduzindo-se em melhorias nos processos de produção e na irradicação de desperdícios que não acrescentavam valor ao produto final (Guariente et al., 2017; Rosa et al., 2017; Antonioli et al., 2017; Dias et al., 2019; Rocha et al., 2018; Rosa et al., 2018).

### 2.2.1 Metodologia Seis Sigma

A metodologia seis sigma é uma extensão dos princípios *Lean*, com o objetivo de melhorar continuamente os processos inerentes ao objeto final da produção pretendida com zero defeitos. Com a aplicação desta metodologia, podem ser definidas as características do processo e, com recurso às ferramentas adequadas, podem ser reduzidos os defeitos (Barbosa et al., 2017; Pombal et al., 2019; Kumar et al., 2019).

O impacto da metodologia Seis Sigma nos sistemas de produção *Lean* foi a redução dos defeitos nos processos produtivos, com menos paragens por parte dos operários e menos ajustes nas máquinas. A aplicação pioneira desta metodologia surgiu em 1980, pela Motorola, com o objetivo de diminuir drasticamente o número de defeitos nos seus produtos e na sua produção. Depois da Motorola, muitas empresas apresentaram benefícios significativos com a implementação desta metodologia (Barbosa et al., 2017; Pombal et al., 2019; Chandrasekaran et al., 2019).

Muitas características do processo podem ser definidas em termos numéricos. Para aceder e controlar os processos industriais são utilizadas, por inúmeras indústrias, ferramentas gráficas de Controlo Estatístico de Processos (SPC). Estas ferramentas são muito populares na avaliação dos sistemas de qualidade dos processos produtivos das empresas (Pereira et al., 2019).

### 2.2.2 Técnicas e Ferramentas da Qualidade

A melhoria da qualidade pressupõe um trabalho organizacional de equipa. O recurso a técnicas e ferramentas de qualidade no processo de análise, são fundamentais para a identificação e análise de problemas e visam facilitar e otimizar este processo (Swanson, 2013).

Existem inúmeras ferramentas apontadas como úteis e eficazes para resolver problemas e melhorar os processos produtivos. O uso de ferramentas de qualidade permite tomar decisões com base em dados mensuráveis e analisados em equipa, traduzindo-se numa tomada de decisão baseada em evidência, o que diminui o risco associado. As

ferramentas apontadas como profícuas para este processo são: o ciclo PDCA (*Plan-do-check-act*), DMAIC, o fluxograma, o diagrama de *Pareto*, *Brainstorming*, o diagrama de *Ishikawa*, as folhas de verificação, o histograma, o diagrama de dispersão, o controlo estatístico do processo (SPC), o *Design of Experiments* (DOE), *Components of Variance* (COV) e *Measurement System Evaluation* (MSE) (Swanson, 2013; Chandrasekaran *et al.*, 2019; Pinto *et al.*, 2019; Pereira *et al.*, 2019; Ribeiro *et al.*, 2019).

### 2.2.2.1 Ciclo PDCA

O Ciclo PDCA (*Plan-do-check-act*) é uma ferramenta que traduz o processo de planeamento, execução, verificação e de ação. O objetivo desta ferramenta é a melhoria contínua dos processos, tornando-os mais eficazes e eficientes (Pinto *et al.*, 2019; Pereira *et al.*, 2019). Este ciclo descreve quatro etapas que devem ser aplicadas ciclicamente, tal como o conceito indica, para garantir a melhoria contínua dos processos. Em cada fase, são desenvolvidas atividades e é recomendado o uso de ferramentas úteis para a sua execução:

- Fase *Plan*: As tarefas implícitas nesta fase são a identificação dos objetivos do projeto, tendo em conta a perspetiva do cliente; a realização de um mapeamento do projeto, incluindo os processos e métodos relevantes que permitam atingir os objetivos; o estudo dos fatores e variáveis que possam ser basilares ao problema, e formalizar o projeto com a elaboração de um documento de projeto. As ferramentas profícuas nesta fase são o *Project Charter*, *Brainstorming*, Diagrama de *Ishikawa*, Fluxograma e Mapa de processo.
- Fase *Do*: Nesta fase, são realizadas tarefas de recolha de dados.
- Fase *Check*: Esta etapa traduz-se na análise dos dados recolhidos para encontrar padrões, tendências, ou outras disparidades que poderão sugerir uma causa do problema. Nesta fase, as ferramentas como Diagrama de Pareto, análises gráficas e quantitativas de *Measurement System Evaluation* (MSE), *Components of Variance* (COV) e *Design of Experiments* (DOE) poderão ser úteis;
- Fase *Act*: Esta fase define-se pela implementação de ações resultantes da análise efetuada (Cardiel-Ortega *et al.*, 2017; Pinto *et al.*, 2019; Pereira *et al.*, 2019).

O ciclo PDCA foi a principal metodologia utilizada no estudo de Pereira *et al.* (2020), numa indústria de papelão. A análise do processo produtivo através do planeamento e recolha dados (fase *plan* e fase *do*) permitiu identificar os principais problemas (fase *check*) e implementar um conjunto de medidas para reduzir o desperdício (fase *act*). Deste modo, o desperdício foi reduzido para valores próximo de 4%, tendo sido bastante profícuo a aplicação desta ferramenta. Os estudos de Dias *et al.* (2019) e Rodrigues *et al.* (2020) corroboram estes resultados, ambos obtiveram melhorias significativas com a utilização desta ferramenta.

Na indústria automóvel, Dias et al. (2019) utilizou o ciclo PDCA no seu estudo, tendo obtido um aumento de 37% da capacidade da linha de produção e um aumento de 22% na eficiência geral do equipamento. Assim como Rodrigues et al. (2020), que seguindo as etapas do ciclo PDCA para a criação de uma aplicação para gestão do material que era destinado à sucata, reduziu o tempo e custos associados à gestão deste processo em cerca de 75%.

#### 2.2.2.2 DMAIC

DMAIC (*Define-Measure-Analyse-Control*) é uma ferramenta do programa Seis Sigma para melhoria de processos similar ao ciclo PDCA. Esta abordagem, designada por DMAIC, traduz-se em cinco passos:

- *Define*, fase onde é definido o problema: Qual a necessidade do projeto? Quem e como é o cliente? Qual o âmbito do projeto? Quando é expectável que esteja terminado?
- *Measure*, fase onde o problema é avaliado quantitativamente: Quais os dados conhecidos do projeto, custos económicos/desperdícios? Como irá ser avaliado o atingimento dos objetivos?
- *Analyse*, etapa de recolha e análise dos dados do problema: Quais são as causas basilares ao problema?
- *Improve*, etapa cujo objetivo é a eliminação dos fatores causadores do problema: Qua ações podem ser implementadas que tenham repercussão direta no objetivo do projeto?
- *Control*, etapa que contempla a monitorização do processo de melhoria: Como se podem manter as implementações efetuadas no âmbito do projeto de melhoria? (Hors et al., 2012; Cardiel-Ortega et al., 2017; Sokovic et al., 2010)

#### 2.2.2.3 Fluxograma

O fluxograma é uma ferramenta comumente utilizada no estudo de processos. Esta ferramenta representa de forma fácil e ordenada as várias fases dos processos, onde as etapas são representadas em sequência das decisões tomadas e das ações implementadas ou a implementar (Swanson, 2013; Neves et al., 2018).

#### 2.2.2.4 Diagrama de Pareto

O diagrama de *Pareto* traduz-se numa ferramenta que possibilita a deteção do tipo de defeito mais frequente ou as fontes mais comuns. É constituído por gráficos de barras que permitem organizar os dados de acordo com a prioridade ou importância atribuída (Pinto et al., 2019; Pereira et al., 2019).

Num estudo na indústria da tecelagem, Neves et al., (2018), esta ferramenta permitiu perceber que todas as causas apontadas como basilares às não-conformidades mereciam uma igual atenção. Deste modo, a deteção das causas e a atuação em todas essas causas permitiu um ganho de 10% no tempo do processo final.

#### 2.2.2.5 *Brainstorming*

O conceito de *brainstorming* traduz uma reunião de grupo onde são procuradas novas ideias. Esta ferramenta tem como objetivo maximizar o fluxo de ideias, e promover a criatividade e a capacidade analítica dos participantes na reunião. Preconiza-se que esta reunião promova diferentes ideias sobre o mesmo problema, que se evitem ideias tradicionais e já concebidas anteriormente, que não se verifiquem críticas às novas ideias, que as ideias sejam debatidas e que sejam exequíveis (Swanson, 2013).

#### 2.2.2.6 *Diagrama de Ishikawa*

O diagrama de *Ishikawa* permite definir causas possíveis para os problemas, preconizando-se a adoção dos 6M's (máquina, mão-de-obra, método, materiais, meio ambiente e medidas) como causas a investigar detalhadamente com vista à solução. Esta ferramenta é habitualmente utilizada após sessões de *brainstorming* (Kenett, 2008; Tavavres, 2018; Chandrasekaran et al., 2019).

No estudo de Lopes et al. (2020), o diagrama de *Ishikawa* foi utilizado para determinar as causas potenciais do problema. Numa fábrica de produção de tubos de ar condicionado para a indústria automóvel, verificou-se que devido a problemas no processo de soldagem ocorria desperdício de material. Com a identificação do problema foi possível reduzir em 12% o valor da sucata (Lopes et al., 2020). Também Pereira et al. (2020) recorreu a esta ferramenta no seu estudo numa indústria de papelão, onde utilizou o diagrama para identificar as causas na origem do aumento da viscosidade da cola de amido, que representava desperdício. Com a identificação das causas e medidas implementadas, o desperdício foi reduzido para valores próximos a 4%.

#### 2.2.2.7 *Controlo de Estatística de Processo (SPC)*

SPC envolve inúmeras técnicas estatísticas para quantificar e analisar a variação do processo, garantindo a qualidade e mantendo o processo segundo o planeado. Estas técnicas estatísticas são as ferramentas mais utilizadas no ciclo PDCA (*Plan-do-check-act*) (Pereira et al., 2019).

### 2.2.2.8 *Design of Experiments (DOE)*

O DOE é uma ferramenta utilizada comumente em ambiente industrial para controlar as variáveis dos processos e aplica-se em quatro etapas (planeamento, triagem, otimização e verificação). Esta ferramenta apresenta-se profícua na poupança de tempo e recursos e na identificação de fatores de melhoria (Chandrasekaran et al., 2019; Amaral, 2019).

### 2.2.2.9 *Measurement System Evaluation (MSE)*

A ferramenta *Measurement System Evaluation (MSE)* define a avaliação completa do processo de medição e procura identificar os componentes da variação nesse processo (Swanson, 2013).

### 2.2.2.10 *Project Charter*

O *Project Charter* é um documento resumo onde consta a autorização oficial para a realização do projeto Seis Sigma. Este documento reúne as informações basilares à execução do projeto: nome, cronograma de execução, apresentação do problema, identificação da equipa, objetivos e dados referentes ao problema (Hors et al., 2012; Cardiel-Ortega et al., 2017).

As ferramentas de qualidade no processo de análise dos problemas demonstram-se úteis e com resultados quantitativamente e qualitativamente significativos para diversas indústrias (Swanson, 2013; Chandrasekaran et al., 2019; Pinto et al., 2019; Pereira et al., 2019; Ribeiro et al., 2019).



# DESENVOLVIMENTO

3.1. Produto WEG: Motores elétricos gama W22

3.2. Processo de corte de barra para veio/ Corte do aço

3.3. Facejamento e furação para fixação

3.4. Torneamento

3.5. Medição

4.1. Apresentação do Problema

4.2. Identificação do Problema



### 3 PROCESSO PRODUTIVO

#### 3.1 Produto WEG: Motores elétricos gama W22

A WEG desenvolveu a linha de motores elétricos W22 (figura 4) para acompanhar o mercado nas mudanças tecnológicas e pressões para aumento da eficiência da energia elétrica. Os motores elétricos W22 são motores de indução trifásica, principalmente utilizados em bombas, ventiladores, compressores, moinhos, britadeiras e talhas.

Um motor de indução trifásico é vantajoso pela sua robustez e simplicidade de manutenção em relação aos restantes. Neste motor, o circuito elétrico indutor encontra-se diretamente ligado ao estator, por alimentação trifásica, enquanto o circuito induzido no rotor é provocado pelas correntes no enrolamento do estator. Este tipo de motor tem como principais vantagens ser mais leve, compacto, os enrolamentos serem mais eficientes, o tamanho reduzido em relação a um motor monofásico equivalente e o facto de poder oferecer tensões diferentes.

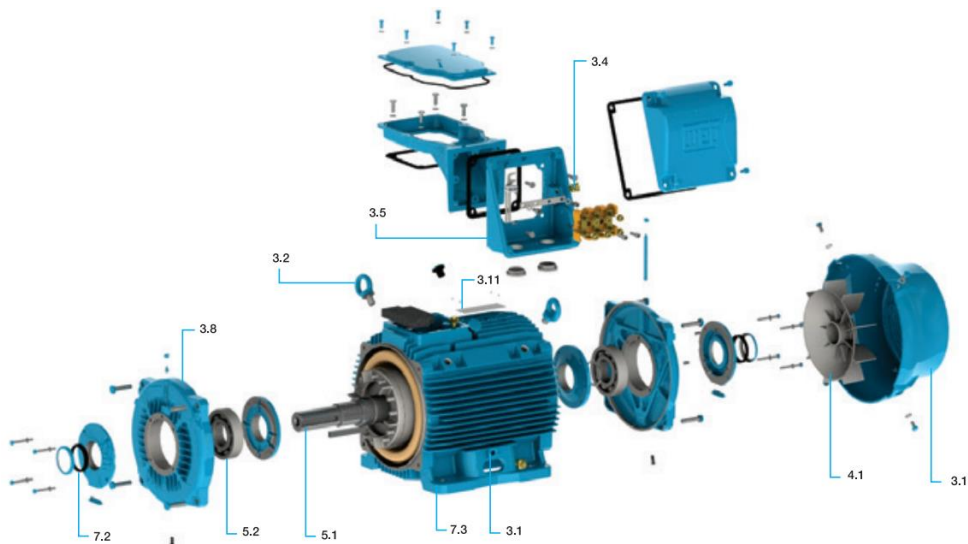


Figura 4 – Componentes do motor gama w22: 3.1- Carcaça, 3.2- Olhais, 3.4- Terminais de aterramento, 3.5- Caixa de ligação, 3.8- Tampas, 3.10- Tampa defletora, 3.11- Placa de identificação, 4.1- Sistema de ventilação, 5.1- Veio, 5.2- Rolamentos, 7.2- Vedação, 7.3- Pintura (weg, 2020)

Apesar de existirem diversos modelos de motores elétricos na gama W22 a maioria apresenta os mesmos componentes principais: rotor e estator, carcaça, zona exterior do motor que suporta todos os componentes, mancal, zona dos rolamentos que fixa o rotor na carcaça, ventilador que faz circular o ar em volta do motor e garante o arrefecimento e tampas para suporte dos rolamentos e proteção do interior do motor (figura 4). O processo produtivo dos divide-se em quatro fases: Corte do aço, facejar e colocar os pontos de fixação, torneamento do veio e a medição (figura 5).



Figura 5 – Esquema resumo do processo produtivo do veio dos motores W22

### 3.2 Processo de corte do varão para veio/ Corte do aço

O material bruto para iniciar a produção do veio é um varão cilíndrico com seis metros de comprimento, que pode assumir vários diâmetros, consoante o código do produto, como retratado na figura 6.



Figura 6 - Início de produção, material em bruto (imagem original)

O primeiro processo dentro da empresa neste material é o corte do comprimento (figura 7) na máquina “MAKI MAK” do varão de aço e/ou outras ligas para perto da medida pretendida para o veio, com tolerância de  $\pm 1$  mm.



Figura 7 - Corte do material (imagem original)

O operador consulta as ordens de produção e verifica as características do material, diâmetro desejado e quantidade de troços a serem cortados. Os varões estão empilhados numa área isolada da fábrica, onde são deixados pelo fornecedor, e o operador interno desloca o material desse local, com o auxílio de uma ponte rolante e um ímã para a máquina, para o local que serve como transportador, pertencente à própria máquina.

Antes de iniciar o corte, é realizada uma etapa denominada “acerto do varão” que consiste em cortar 20 mm para garantir o paralelismo das faces. Após esta etapa, a máquina permite ao operador programar cortes em série ou cortes individuais. Junto ao operador, existe tabelada a velocidade de corte recomendada para os diferentes tipos de materiais do qual é feito o troço (figura 8).

Depois do corte realizado, é feito o primeiro autocontrolo do operador, onde é verificado o comprimento do troço com uma fita métrica e contabilizada a quantidade de peças cortadas. Os critérios de aceitação são as dimensões e geometrias definidas pelo projeto em desenhos que se encontram agrafados junto com as ordens de produção internas, e em caso de não conformidade, o operador alerta a chefia para abertura de nota de não conformidade interna (QC). Novamente com a ajuda do ímã e ponte rolante, o troço é colocado pelo operador num carrinho transportador e identificado com as ordens de produção que se encontram junto ao operador. Esse carro é atrelado a uma máquina de transporte e os troços são levados para junto da máquina *MASTED*, onde se realiza a segunda fase de produção do veio.



Figura 8 - Troços (imagem original)

Quando o aço é cortado numa medida próxima do comprimento pretendido para o veio, segue-se o facejamento, furação e roscagem.

### 3.3 Facejamento e furação para fixação

Antes de iniciar esta fase, o operador verifica a conformidade da sinalização existente na máquina, e verifica se o diâmetro e comprimento estão de acordo com o solicitado na ordem de produção. Depois, o operador coloca a máquina preparada para a fixação do aço, verifica o tipo de furação que deve ser realizada e, através do desenho do veio, faz o *upload* do programa para a máquina, calculando o *offset* da máquina. Após comando de início, a máquina faceja automaticamente o varão, fura e rosca nas faces (figura 9).

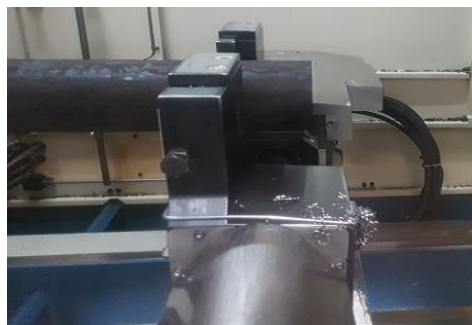


Figura 9 - Facejamento e furação para fixação (imagem original)

Finalizada a operação, novamente com o auxílio do ímã e ponte rolante, o varão é colocado num carrinho industrial móvel. O operador verifica o resultado da máquina, validando novamente se o comprimento do veio é o que se pretende como final, a furação, a rosca e o acabamento visual da peça.

Os instrumentos de medição utilizados nesta fase são um calibre e uma fita métrica. Para aceitar que o material seja encaminhado para o processo seguinte, todas as dimensões e geometrias solicitadas nos desenhos de projeto têm de estar em conformidade. Caso contrário, o operador alerta a chefia para a abertura da nota QC.

### 3.4 Torneamento

Após a finalização do processo de facejamento, furação e roscagem, é dado início ao processo de torneamento. O varão é colocado a girar e é desbastado o diâmetro maior para os vários diâmetros pretendidos no projeto do material. Existem duas máquinas semelhantes na WEG para este processo, a *DANOBAT* e a *HAWCHEON*. Estas duas máquinas conseguem atender às necessidades produtivas da empresa. A *HAWCHEON*, comprada à posteriori, permite um comprimento de veio acima de 1500 mm até 3000 mm.

O processo de torneamento para a WEG é complexo e difícil de controlar, devido às tolerâncias dimensionais e geométricas solicitadas pelo projeto. Será neste componente que ficará a responsabilidade de movimentar a máquina dos clientes, mais concretamente a ponta dianteira do veio. Caso esta zona não se encontre com as dimensões e geometrias corretas, todo o funcionamento do produto pode ficar em causa, podendo causar vibrações na instalação, não ser capaz de alojar na máquina do cliente e causar forças excessivas que levem à quebra do veio.

Para colmatar este problema e para satisfazer as necessidades do cliente, a WEG, acrescentou ao veio o processo de retificação nas zonas mais críticas e deixou que no torneamento, apenas fosse deixado na cota final a zona do ventilador. Esta decisão, apesar da garantia superior, causa transtornos para a empresa, nomeadamente custos elevados e tempos de produção maiores que, conseqüentemente, aumentam os prazos de entrega do motor final. A decisão de deixar a zona do ventilador na cota final, baseou-se na utilização desse diâmetro. Uma vez que ele não é visível para o cliente e é sobreposto por arraste pelo ventilador, considerou-se este um bom local para reduzir tempo de produção e custos.

Nos veios W22, antes de iniciar o ciclo de torneamento e de colocar o troço de aço na máquina, o operador verifica a necessidade de aferição das ferramentas de corte periodicamente, de acordo com a norma interna da empresa. O operador tem de levar

as ferramentas de corte a uma ponteira com medida padrão e verificar se esta se encontra dentro do esperado, garantindo que as cotas que forem definidas por ele são de facto verdadeiras.

Utilizando uma norma interna com um critério visual de aceitação ou rejeição para a utilização das pastilhas, o operador verifica o estado das pastilhas de corte, ou seja, se elas já estão demasiado gastas ou ainda podem continuar a ser usadas. No computador junto da máquina, o operador transfere para a máquina um programa pré-definido para aquele material, desenvolvido pela equipa de Engenharia – Processos Industriais e Melhoria Contínua, para validar a conformidade do processo pré-definido. O operador verifica ainda se as ferramentas estão de acordo com a sequência definida no programa.

Após o controlo de conformidade realizado pelo operador, o veio é colocado em rotação e é feita a “peça zero”. Em modo manual, a ferramenta de corte é encostada no topo da face do lado dianteiro do veio e dá-se uma entrada de 0,1 mm de profundidade.

Facejado o lado da ponta de veio até este ficar com o seu comprimento final, é torneado (figura 10) o varão de aço de um lado ao outro no diâmetro máximo que o veio irá apresentar, acrescido de um milímetro. Depois de facejar um dos lados, o outro é também facejado até atingir o comprimento desejado. Segue-se a operação de torneamento “desbaste” até restar apenas a espessura necessária ao acabamento. Este processo inicia-se no lado dianteiro do veio e deixa uma sobre espessura de um milímetro para os diâmetros e uma décima de milímetro por banda dos batentes. Segue-se o desbaste no lado traseiro e os critérios aplicados são os mesmos.

Após finalizados os desbastes segue-se o acabamento. O acabamento deixa as zonas de batente na cota final, assim como todos os diâmetros, à exceção do diâmetro que dá para o ventilador, com uma sobresspessura de vinte e cinco centésimas de milímetro, para serem colocados na cota final no processo seguinte da produção do veio, a retificação. O diâmetro que dá para o ventilador, no fim desta etapa e que fica na cota final, já deve cumprir com o diâmetro e tolerância de dezoito micrometros, definida pelo projeto.



Figura 10 – Torneamento (imagem original)

### 3.5 Medição

Na fase final do processo, o operador que se encontra na máquina é responsável pela medição do diâmetro da peça 65h6 e registá-la no documento de autocontrolo. Esta medição é realizada com um micrómetro centesimal.

## 4 CASO DE ESTUDO

### 4.1 Apresentação do Problema

Pela análise dos autocontrolos de veios em chão de fábrica, verificou-se que a cota 65h6 (65,000 mm; 64,982 mm) apresentava valores 10 micrómetros superior ao valor estipulado pela tolerância. Foi realizada uma verificação a três veios de forma aleatória, pelo Controlo de Qualidade e verificou-se não só que a medida excedia os 10  $\mu\text{m}$ , como a variação é superior à tolerância definida pelo projeto. Com base nisso, foi feita a recolha de não conformidades do problema exato, e de outros que podem ter surgido devido a este problema, ventiladores partidos ao montar na zona de alojamento e custos de não qualidade gerados no exterior por ruídos na zona do ventilador (figura 11).

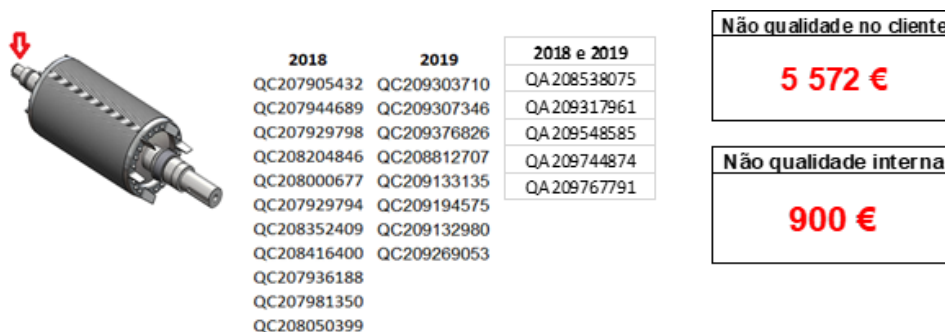


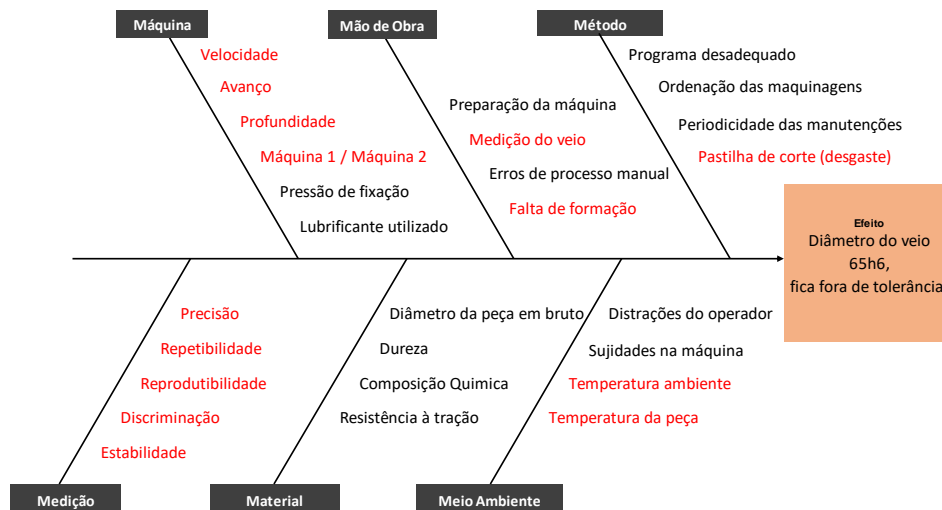
Figura 11 – Local do defeito, não conformidades associadas e custos nos anos de 2018 e 2019 (QC – Não conformidade interna; QA – Não conformidade externa/no cliente)

Foram consideradas as teorias e hipóteses seguintes na seleção do problema:

- Programa mal definido;
- Parâmetros da máquina desadequados;
- Desgaste das ferramentas;
- Falta de habilidade do operador;
- Torno utilizado não adequado;
- Desvios na zona de fixação (circularidade e conicidade);
- Folgas existentes na máquina;

#### 4.2 Identificação do Problema

Para conhecer melhor o problema e criar um caminho para a sua resolução foi realizado um *brainstorming*, atividade desenvolvida para explorar o conhecimento de cada indivíduo, com entidades conhecedoras do defeito (um elemento da equipa de processos, um operador da máquina, um analista de qualidade e o chefe de produção da área). Após discussão das hipóteses inicialmente colocadas foi elaborado um diagrama de *Ishikawa* (ou análise de seis 6M's) (figura 12) fixando as possíveis causas subjacentes ao problema de acordo com a sua categoria: mão-de-obra, material, máquina, método, meio ambiente e medida.

Figura 12 – Diagrama de *Ishikawa*

Os fatores críticos encontrados com o diagrama de *Ishikawa* foram:

- Máquina: variáveis da própria máquina - Velocidade, avanço, profundidade e a fonte de variação da própria máquina - tipo de máquina;
- Mão de obra: Medição do veio e falta de formação dos operadores;
- Método: a pastilha de corte da máquina (seleção ou desgaste);
- Medição: Precisão (calibração e aferição do equipamento), estabilidade (inexistência de tendências ascendentes ou descendentes, variações de média e causas especiais), discriminação (capacidade do equipamento encontrar o próprio erro), reprodutibilidade (operadores e equipamentos de medição apresentarem a mesma média e variação) e repetibilidade (capacidade do sistema de medição encontrar diferenças no processo).
- Meio ambiente: temperatura ambiente e temperatura da peça.

Com o diagrama realizado, elaborou-se um mapa de raciocínio com definição dos objetivos específicos para o projeto e foram colocadas questões sobre os problemas apontados. Nas perguntas realizadas nesse mapa de raciocínio, foram abordadas temáticas por ordem crescente de complexidade, de forma a chegar ao resultado da forma mais eficiente e eficaz. Do mapa de raciocínio completo que se encontra em anexo (anexo 1), as perguntas que se planejaram responder de forma hierárquica foram as expostas na figura 13:

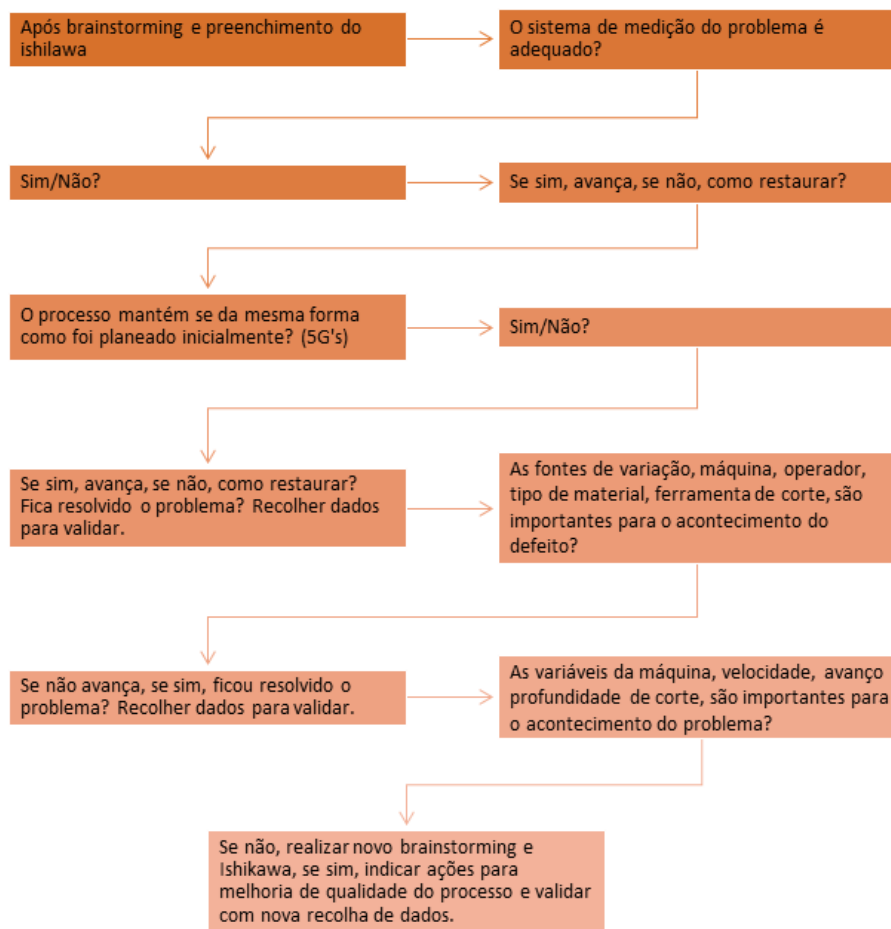


Figura 13 – Perguntas do mapa de raciocínio

Após o preenchimento do diagrama de *Ishikawa*, foi preenchido um mapa de processo (figura 14), onde foram incluídos os fatores críticos do processo de torneamento apurados durante o *brainstorming*, e foi complementado com a análise dos fatores críticos de todo o processo produtivo. Foram incluídas em todas as etapas quais as fontes de variação e variáveis críticas para o diâmetro em causa, assim como o que conseguimos controlar (C) ao longo do processo e o que não pode ser controlado (N), também chamado de ruído.

<b>1</b>	<b>Cortar o aço</b>
Cc	Cr
	x's
	N C N
	<ul style="list-style-type: none"> <li>x1.1 - Empeno do aço (2 mm/m)</li> <li>x1.2 - Ferramenta de corte</li> <li>x1.3 - Temperatura do aço</li> </ul>
<b>2</b>	<b>Facejar e colocar pontos de fixação</b>
Cc	Cr
	x's
	C C N N N N N N N C
X	<ul style="list-style-type: none"> <li>x2.1 - Estado da ferramenta de facejamento [Usado/Novo]</li> <li>x2.2 - Estado da ferramenta para realizar os pontos [Usado/Novo]</li> <li>x2.3 - Fixação do aço/ Pressão de fixação [Mpa]</li> <li>x2.4 - Comprimento do aço [+/- 2mm]</li> <li>x2.5 - Estado do ponto de fixação [Usado/Novo]</li> <li>x2.6 - Temperatura do lubrificante [°C]</li> <li>x2.7 - Operador</li> <li>x2.8 - Perpendicularidade [0,3mm]</li> </ul>
<b>3</b>	<b>Tornear o veio</b>
Cc	Cr
X	C C C N C N N N C C C N C C C C
X	x's
X	<ul style="list-style-type: none"> <li>x3.1- Torno [Danobat/Hawcheon]</li> <li>x3.2 - Estado dos pontos de fixação [novos/usados]</li> <li>x3.3 - Pressão de fixação [Mpa]</li> <li>x3.4 - Velocidade de corte no acabamento [m/min]</li> <li>x3.5 - Temperatura do material [°C]</li> <li>x3.6 - Temperatura do lubrificante [°C]</li> <li>x3.7 - Profundidade do corte no acabamento [mm]</li> <li>x3.8 - Comprimento do eixo [mm]</li> <li>x3.9 - Tipo de fixação [4 Unhetas/ 6 Unhetas]</li> <li>x3.10 - Operador [1/2/3/4]</li> <li>x3.11 - Tipo de pastilha do acabamento [nova/usada]</li> <li>x3.12 - Avanço no acabamento [mm/rot]</li> <li>x3.13 - Dureza do aço</li> </ul>
<b>4</b>	<b>Medição</b>
Cc	Cr
X	x's
	C C
	<ul style="list-style-type: none"> <li>x4.1 - Operador (1/2/3)</li> <li>x4.2 - Equipamento de medição</li> <li>x4.3 - Local de medição (1,2,3 e 4)</li> </ul>

Figura 14 - Mapa de processo (C- Fator/variável controlado; N – Ruído; X – considerado crítico)

A complexidade do problema com vista à melhoria de um processo exigente traduziu-se na adoção da abordagem pelo ciclo *Plan-do-check-act (PDCA)*, em cada uma das ferramentas da qualidade utilizadas na metodologia deste projeto (Raluca & Adriana, 2015; Crowfoot & Prasad, 2017).

#### 4.2.1 Measurement System Evaluation (MSE)

Para iniciar o processo de melhoria e garantir a confiabilidade do processo de medição, o primeiro passo foi a aplicação de *Measurement System Evaluation (MSE)*. A opção de iniciar a análise com esta ferramenta, teve por base os custos associados à sua aplicação para a empresa.

Inicialmente (fase *plan*) foram verificados os fatores definidos como críticos no diagrama de Ishikawa e mapa de processo, e foi definida uma árvore de amostragem, onde se incluíram as fontes de variação da medição - operadores, equipamentos de medição (2 micrómetros milésimais 50-75 mm, Marca *Mitutoyo*) e fontes de variação de processos – veios diferentes. Foram utilizados dois operadores e dois equipamentos, variando as fontes de variação consideradas críticas.

Nesta árvore de amostragem (figura 15), incluíram-se diferentes pontos no mesmo veio para avaliar a variação geométrica, e garantiu-se três medições no mesmo ponto para avaliar a menor variação entre pontos relativamente a diferentes peças, recolhidos em fábrica por dois operadores distintos (fase *do*). O número de medições para estudo considerou-se com  $n$  medições = 192, por se considerar um  $n$  adequado para responder às questões.

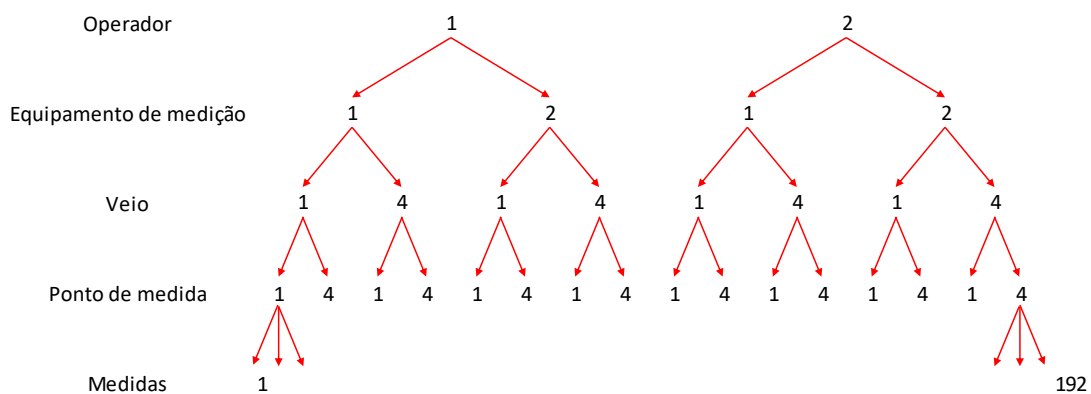


Figura 15 - Árvore de amostragem para validação do sistema de medição

A validação do sistema de medição assumiu-se pelo cumprimento dos critérios de estabilidade, discriminação, reprodutibilidade, repetibilidade e precisão verificados na fase *check* com recurso a ferramentas do *software JMP training (statistical discovery, SAS Institute, EUA)*.

No que concerne à precisão, garantiu-se a conformidade dos dois equipamentos pois eles foram aferidos com blocos padrão. Ao nível da estabilidade não se verificaram tendências crescentes ou decrescentes, mudanças de média não justificadas e causas especiais (figura 16).

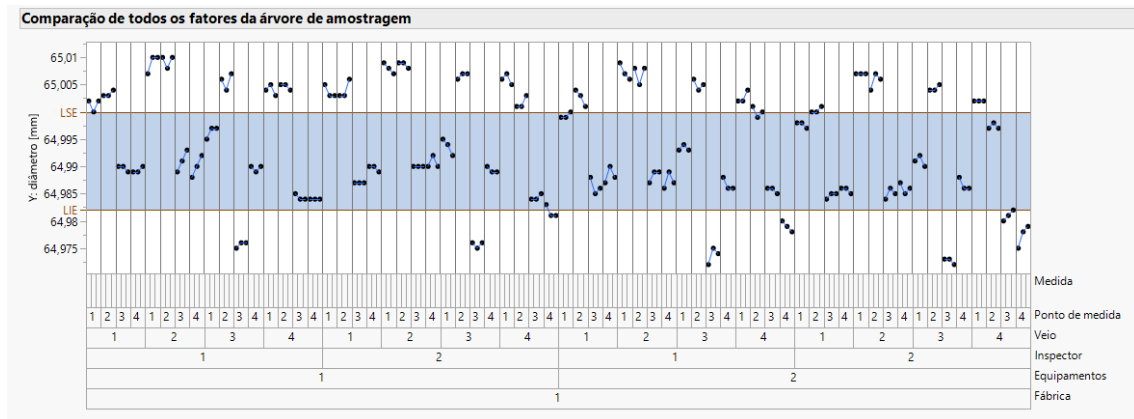
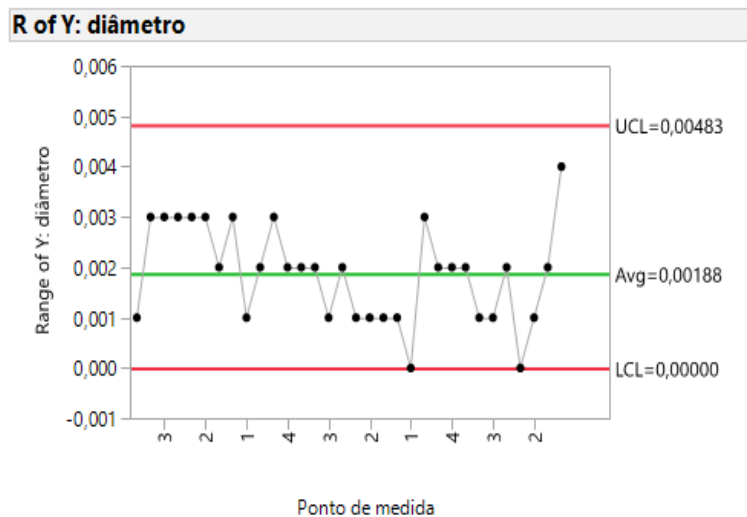


Figura 16 – Gráfico do critério de estabilidade do sistema de medição

No que concerne ao critério de discriminação (figura 17), foi avaliado graficamente com recurso à ferramenta carta R do software *JMP training (statistical discovery, SAS Institute, EUA)* a capacidade que o equipamento (equipamento 1 e equipamento 2) tem de encontrar diferentes peças devido à sua resolução, inexistência de folgas no equipamento e arredondamentos dos valores de medição realizadas pelo operador.



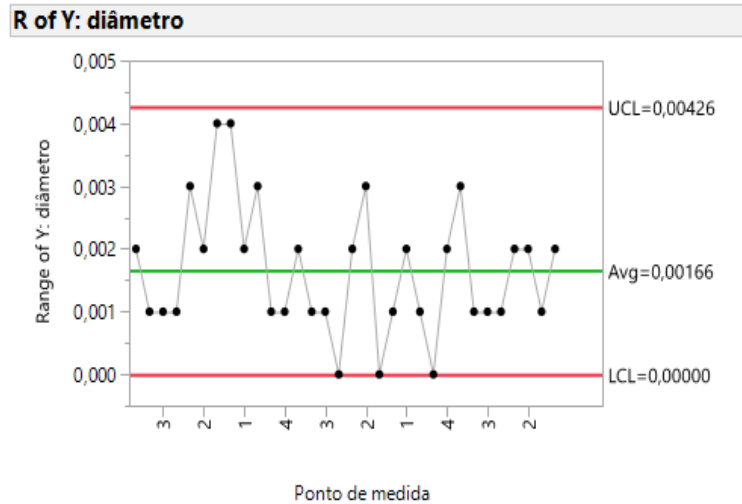


Figura 17 – Gráficos do critério de discriminação do sistema de medição

Ao nível do critério de reprodutibilidade, os inspetores mantêm a média e a variação das medidas do mesmo ponto do mesmo veio dentro dos mesmos limites, tal como se verifica na figura 18.

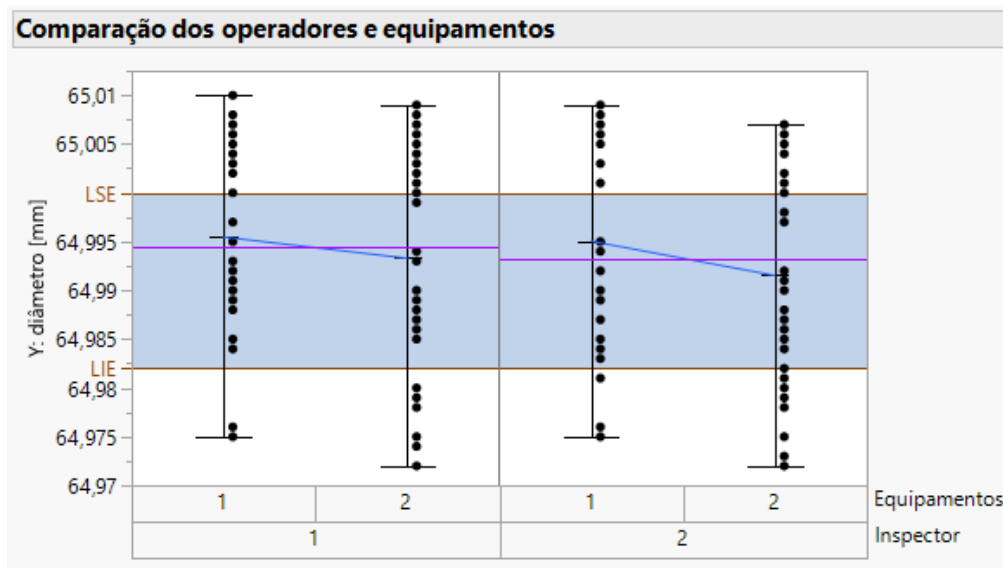


Figura 18 – Gráfico do critério de reprodutibilidade do sistema de medição

A variação entre repetições de medições no mesmo ponto verificou-se ser inferior à variação encontrada entre medidas desse mesmo ponto em veios diferentes (figura 19).

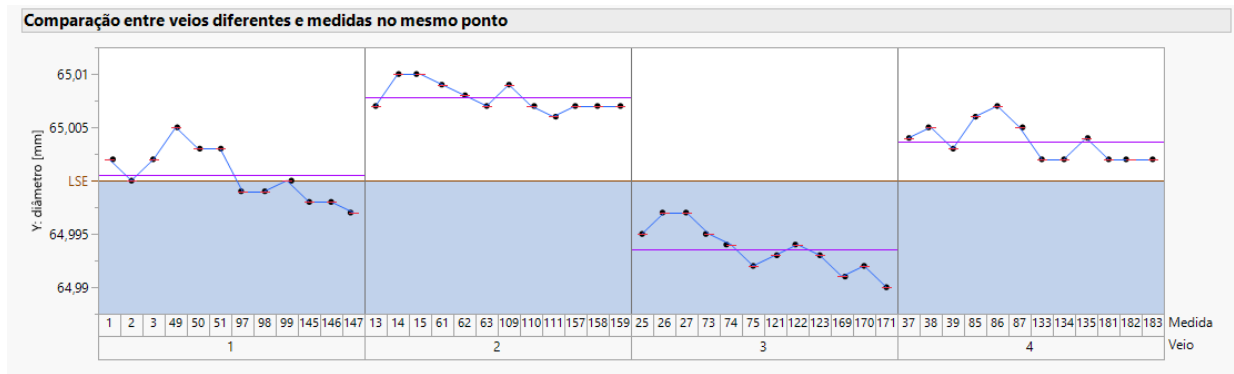


Figura 19 – Gráfico do critério de repetibilidade do sistema de medição

Na análise MSE realizada, verificou-se que o sistema de medição está apto para continuar a análise do problema. O sistema de medição é adequado e permite identificar problemas no processo, tendo sido decidido avançar na análise (fase *act*). Deste modo, procedeu-se a uma análise de fontes de variação do processo consideradas críticas.

#### 4.2.2 Components of Variance (COV)

Após a análise MSE inicial, planeou-se analisar as fontes de variação do processo consideradas críticas, o operador e a máquina (fase *plan*). Fez-se uma recolha dos valores de diâmetro 65h6 (fase *do*) em duas máquinas distintas, com três operadores e 24 veios distintos, de acordo com a árvore da figura 20. Acrescentou-se a análise de temperatura do veio na saída da máquina e temperatura ambiente no início do torneamento, de forma a avaliar se estes teriam algum impacto no caso de se verificar algum fator crítico nos resultados.

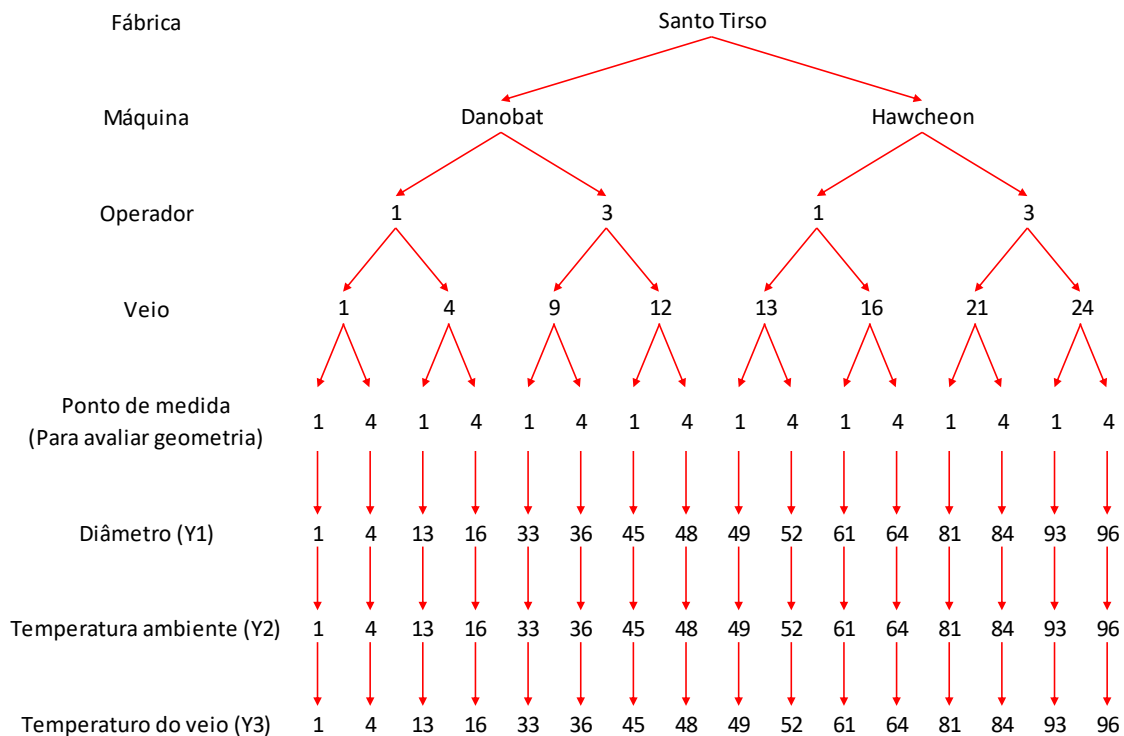


Figura 20 - Árvore de amostragem para avaliação das fontes de variação

Recorreu-se ao *Components of Variance (COV)*, uma análise prática com recurso à ferramenta do *software JMP training (statistical discovery, SAS Institute, EUA) variability chart*, onde se avaliou a estabilidade do processo, através da ausência de causas especiais ou tendências. Foi realizada análise gráfica, com recurso à mesma ferramenta, onde foram realizadas diferentes combinações das fontes de variação para avaliar variações, média e análise quantitativa, com recurso à ferramenta do *software JMP training (statistical discovery, SAS Institute, EUA) variance components*, para quantificar qual a fonte de variação mais influente (fase *check*).

Na análise prática, observaram-se valores abaixo e acima dos limites de especificação, mas maioritariamente acima dos limites. Como observado no gráfico 21, o valor máximo registado foi 65,030 mm e o mínimo 64,970 mm, com diferença de 59  $\mu\text{m}$ . Esta variação é bastante elevada, quando comparada com o campo de tolerância de 18  $\mu\text{m}$ .

A indicação de processo é deixar a cota 65h6 sempre no limite máximo (LSE = 65,000 mm) e a azul claro está a zona que os operadores indicaram ser aceite pelo controlo de qualidade e projeto (65,01 mm), apesar de se encontrar fora do que está definido no desenho. No gráfico da figura 21 observam-se dois pontos que se destacam dos demais, no veio 3 o ponto de medida 1 e 3 - *Danobat* – operador 1 e causa especial, devido a defeito no centro de fixação do ventilador. Estes dois valores serão retirados da análise quantitativa.

A recolha desta amostragem foi realizada sem qualquer interferência no procedimento normal nos operadores.

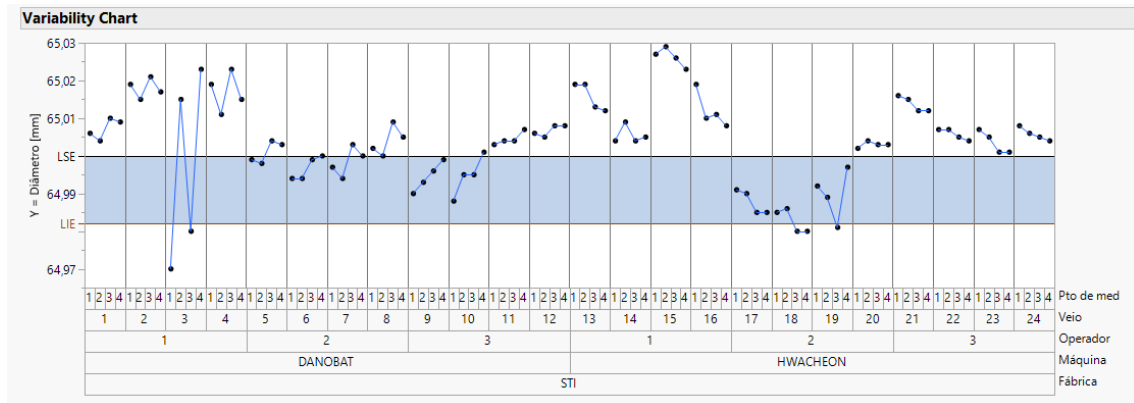


Figura 21 – Gráfico de análise prática (LSE – Limite superior especificado; LIE – Limite inferior especificado)

Na análise quantitativa, verificou-se que o operador que realiza o processo tem um impacto de 37,0% na variação do diâmetro 65h6. A segunda causa com maior impacto para o diâmetro é a variação causada pela própria peça, 28,5%, seguido pelo conjunto veio – ponto, onde é realizada a medida com impacto de 22,3%, tal como se observa na figura 22.

Variance Components				
Component	Var Component	% of Total	20 40 60 80	Sqrt(Var Comp)
Total	0,00015565	100,0		0,01248
Operador	0,00005759	37,0		0,00759
Veio	0,00004433	28,5		0,00666
Veio*Pto de med	0,00003465	22,3		0,00589
Máquina*Operador	0,00001452	9,3		0,00381
Máquina*Pto de med	0,00000456	2,9		0,00214
Máquina	0,00000000	0,0		0,00000
Máquina*Veio	0,00000000	0,0		0,00000

Figura 22 – Análise quantitativa das fontes de variação do processo e das suas interações (% of total - expressa o percentual do impacto da fonte de variação e das suas interações em percentagem)

Na análise gráfica, com recurso à ferramenta do *software JMP training (statistical discovery, SAS Institute, EUA) variability chart*, foram elaborados gráficos variando as fontes de variação operador e máquina. No gráfico da figura 23, observa-se o diâmetro apresentado pelos veios, de acordo com a sua ordem de saída da máquina. O cálculo da média das quatro medições em cada veio demonstra uma alteração na média relacionada com a ordem de saída dos veios, ficando o 4º veio sempre fora de tolerância.

### ORDEM DE SAÍDA DO VEIO

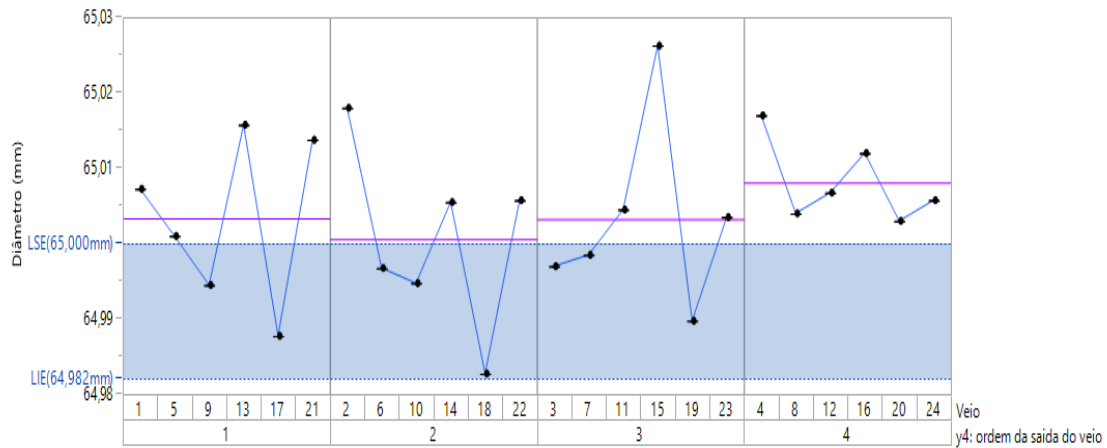


Figura 23 – Análise gráfica da variação e média de diâmetro de acordo com a ordem de saída do veio (LSE – Limite superior especificado; LIE – Limite inferior especificado; y4 – ordem de saída do veio)

Na análise das médias de acordo com as máquinas, a *Hwacheon* apresenta valores de média de diâmetros ligeiramente mais elevados e fora de tolerância de projeto (figura 24).

### MÁQUINAS

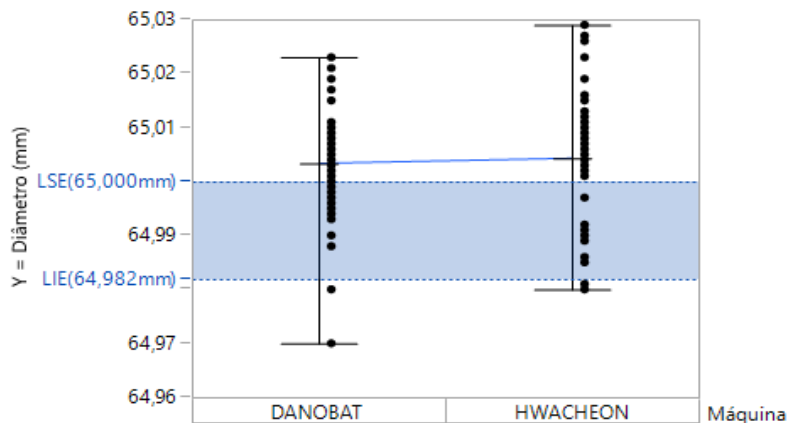


Figura 24 – Análise gráfica da variação e média de diâmetro de acordo com as máquinas (LSE – Limite superior especificado; LIE – Limite inferior especificado)

A análise de acordo com os diferentes operadores, demonstra uma grande variação das médias das quatro medições entre operadores. O operador 1 apresenta uma média de resultados de diâmetros 65h6 superior à tolerância, o operador 2 apresenta uma média de diâmetros dentro de tolerância e o operador 3 apresenta uma média ligeiramente acima da tolerância. O operador 2 foi o que apresentou menor variação e média dentro da tolerância (figura 25).

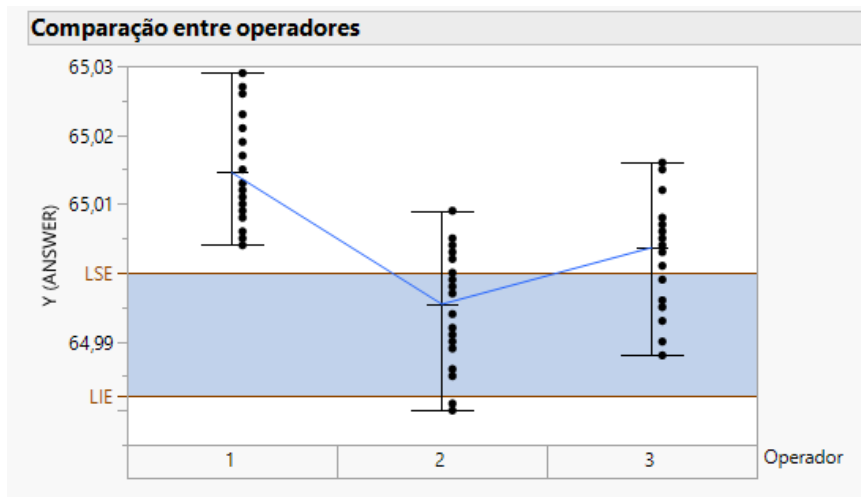


Figura 25 – Análise gráfica da variação e média de acordo com os diferentes operadores

Por último, foi analisada graficamente a variação de operador-máquina (figura 26). O operador 2 e o operador 3 apresentaram média e variação semelhante nos veios torneados na máquina *DANOBAT*.

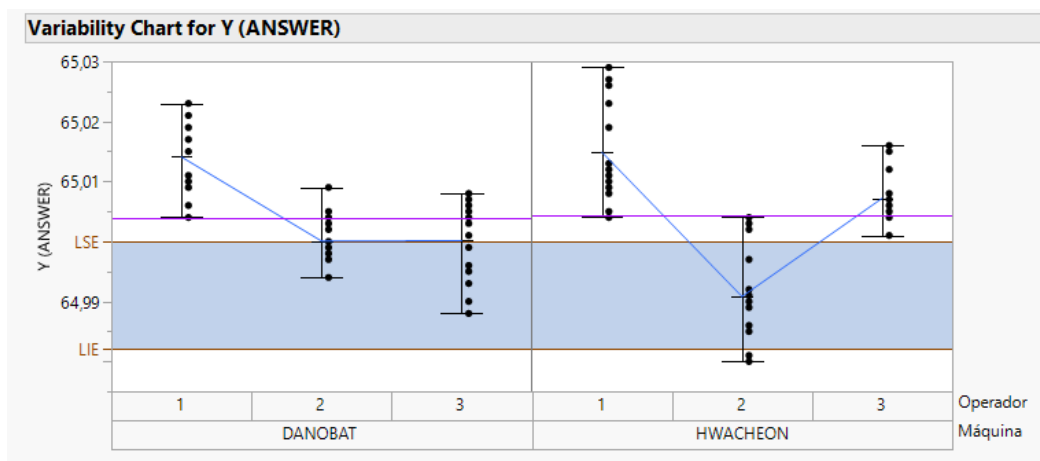


Figura 26 – Análise gráfica da variação e média de acordo com os diferentes operadores e nas diferentes máquinas

Na análise prática e quantitativa do COV, não é possível concluir uma fonte de variação significativa para o problema. No entanto, através da análise gráfica, é possível identificar outros aspetos que poderão ser significativos. O acompanhamento do COV em fábrica permitiu identificar outros aspetos que podem estar relacionados com o problema:

- Os operadores têm dificuldade em colocar o primeiro veio na cota exata, pois o equipamento de medição não apresenta a escala correta para esta tolerância. Apresentaram variações semelhantes, com médias significativamente diferentes;

- Verificou-se uma grande variação no diâmetro do veio de preparação em relação aos restantes;
- Verificou-se critério de aceitação fora do limite superior especificado;
- Observou-se uma tendência para que o quarto veio a sair da máquina tenha o diâmetro mais elevado;
- Ambos os tornos apresentaram resultados fora dos limites de especificação, com tendência para fora do limite superior. Não se observou uma variação significativa, se compararmos a média e variação entre máquinas. No entanto, na *Danobat* os resultados do operador 2 e 3 foram semelhantes.

A análise seguinte será realizada com recurso à ferramenta MSE, devido ao problema de média de resultados discrepantes por parte do operador 1 e *Design of Experiments* (DOE), porque não se verificaram fontes de variação que entreguem a cota 65h6 sempre dentro da tolerância. No COV, verificou-se que o que faz variar a média são os operadores, e o problema da variação estará a ser causada pelas variáveis críticas definidas inicialmente. Deste modo, foi necessário realizar um DOE (fase *act*).

#### 4.2.3 *Measurement System Evaluation* (MSE) – 2ª aplicação

Com a aplicação do COV (fase *plan*) verificou-se que dentro do processo existe uma fase de medição que poderia ser basilar aos defeitos. Nesta fase, os defeitos poderiam ocorrer devido:

- Ao equipamento de medição que se encontra junto às máquinas (centesimal), devido à insuficiência de resolução para detetar o erro;
- Aos operadores, não sendo garantido que meçam corretamente.

Deste modo, foi necessário aplicar a ferramenta MSE novamente, sendo que os operadores e os equipamentos são diferentes face ao primeiro MSE aplicado. Inicialmente foi realizada a árvore de amostragem expressa na figura 27, onde se incluíram as fontes de variação da medição – quatro operadores, 2 equipamentos de medição (um milésimo e um centesimal, Marca *Mitutoyo*) e fontes de variação de processos – quatro veios diferentes.

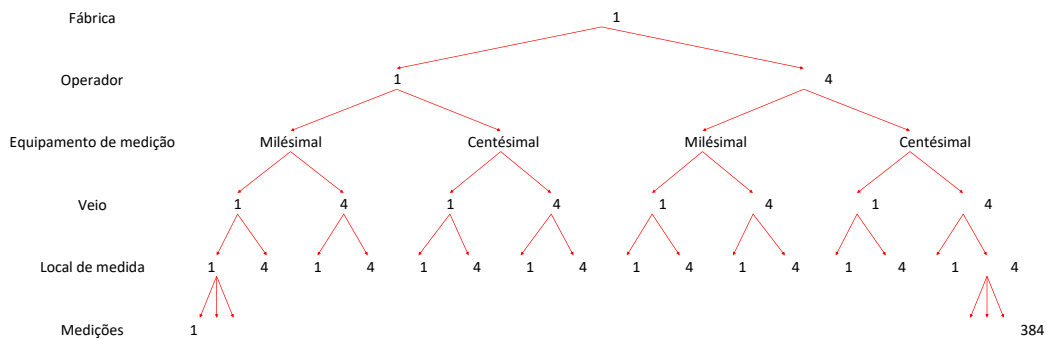


Figura 27 – Árvore de amostragem da 2ª aplicação do MSE

Nesta árvore de amostragem (figura 27), incluíram-se diferentes pontos no mesmo veio para avaliar a variação geométrica, e garantiram-se três medições no mesmo ponto, para avaliar a menor variação entre pontos relativamente a diferentes peças, recolhidos em fábrica por quatro operadores distintos (fase *do*). O número de medições para estudo considerou-se com  $n$  medições = 384, por se considerar um  $n$  adequado para responder às questões.

Tal como na aplicação inicial da ferramenta MSE, a validação do sistema de medição assumiu-se pelo cumprimento dos critérios de estabilidade, discriminação, reprodutibilidade, repetibilidade e precisão verificados na fase *check*, com recurso a ferramentas do *software JMP training (statistical discovery, SAS Institute, EUA)*: Carta R e *variability*.

No que concerne à precisão, garantiu-se a conformidade dos dois equipamentos pois eles foram aferidos em blocos padrão. Ao nível da estabilidade não se verificaram tendências crescentes ou decrescentes, mudanças de média não justificadas e causas especiais (figura 28).

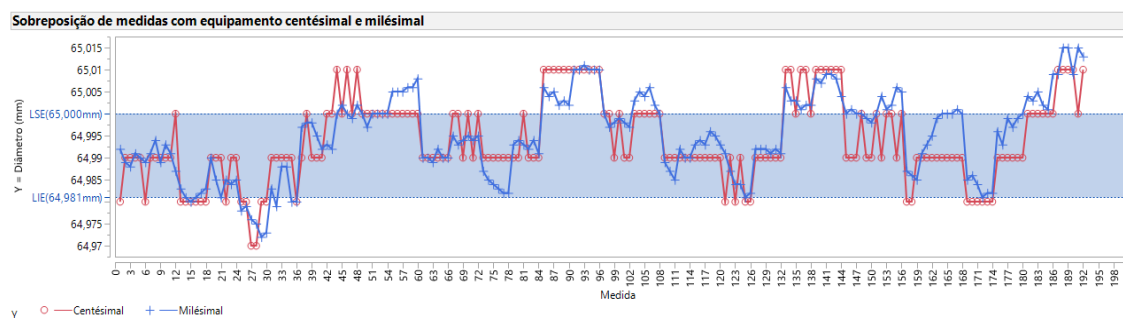


Figura 28 – Análise da estabilidade do diâmetro do veio em todas as medições e com todos os operadores - 2ª aplicação do MSE (LSE – Limite superior especificado; LIE – Limite inferior especificado)

Ao nível da discriminação, foi avaliado graficamente com recurso à ferramenta carta R do *software JMP training (statistical discovery, SAS Institute, EUA)* a capacidade que o equipamento (equipamento 1 e equipamento 2) tem de encontrar diferentes peças

devido à sua resolução. O equipamento centesimal não se demonstrou adequado por não apresentar resolução suficiente para detetar erros nas peças (figura 29).

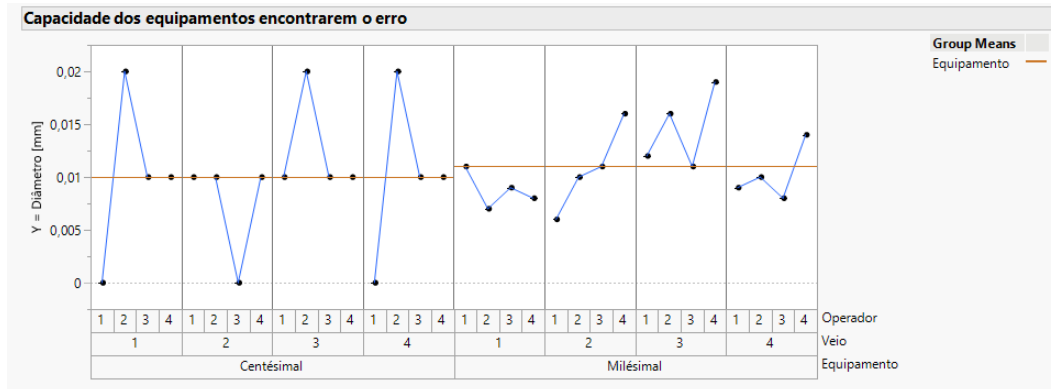


Figura 29 – Análise da discriminação dos equipamentos de medição - 2ª aplicação do MSE

No que concerne à reprodutibilidade, os operadores 2, 3 e 4 mantêm a média e a variação das medidas do mesmo ponto do mesmo veio dentro dos mesmos limites, tal como se verifica na figura 30. Porém, o operador 1 apresentou uma média inferior aos restantes, encontrando a mesma variação dos veios.

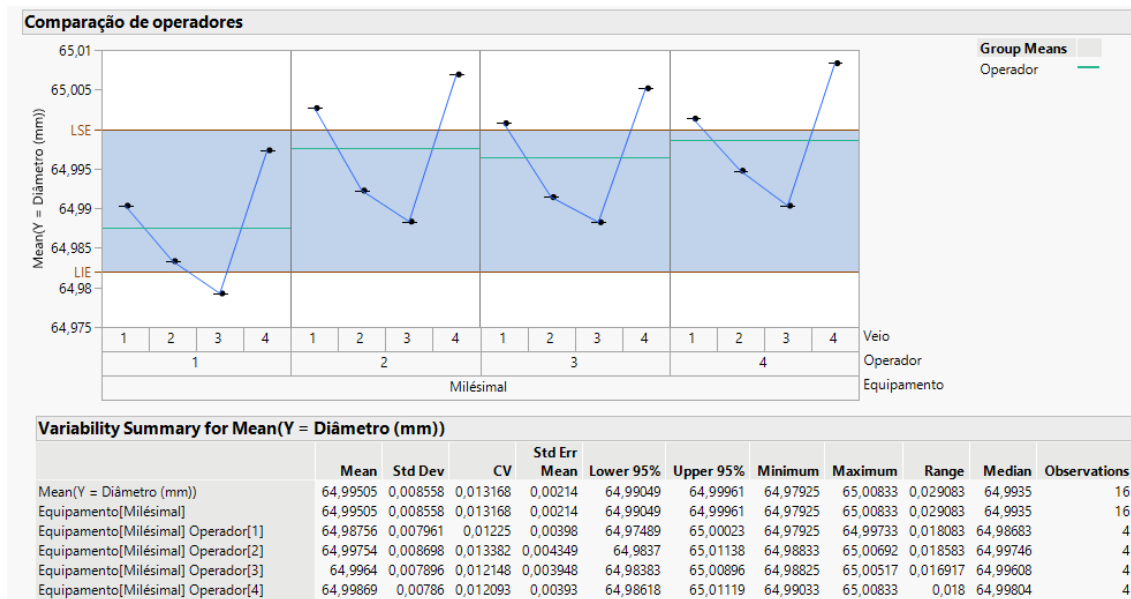


Figura 30 – Gráfico do critério de reprodutibilidade – 2ª aplicação MSE

Não considerando o operador 1, a variação entre repetições de medições no mesmo ponto verificou-se ser inferior à variação encontrada entre medidas desse mesmo ponto em veios diferentes (figura 31).

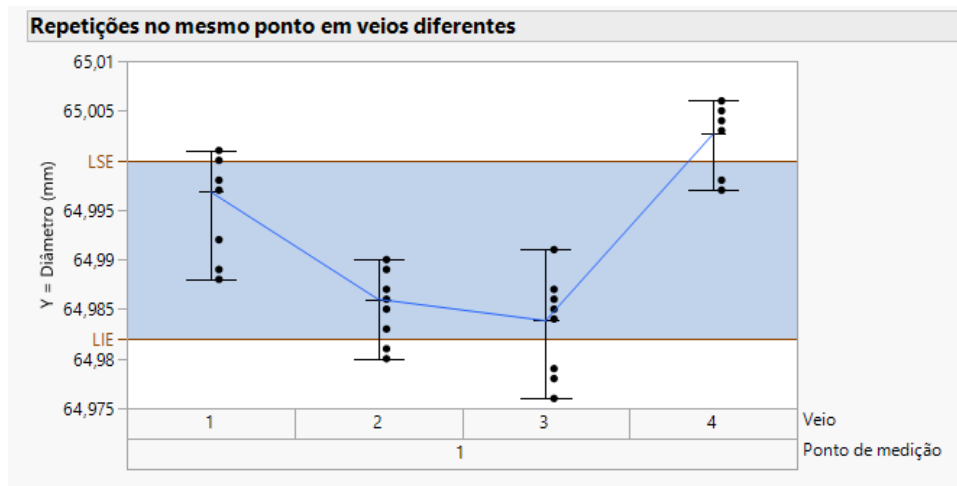


Figura 31 – Gráfico do critério de repetibilidade - 2ª aplicação MSE

Em análise, na análise MSE realizada, verificou-se que o equipamento centesimal não apresenta discriminação suficiente e o operador 1 apresenta uma média distinta face aos restantes possivelmente por incorreta medição. Decidiu-se avançar na análise utilizando a ferramenta *Design of Experiments (DOE)* (fase *act*).

#### 4.2.4 *Design of Experiments (DOE)*

Na resolução do problema deste estudo, contemplou-se a aplicação de um *Design of Experiments (DOE)*, porque as etapas anteriores não foram suficientes para a resolução do problema.

Após o término da aplicação da ferramenta COV, verificou-se que o problema que estava a causar maior diferença de média de veios, foi o facto de o operador ter que medir e preparar a máquina sempre que inicia um processo novo. Uma vez encontrado o problema de média, faltava ainda resolver o problema de variação – problema causado pelas variáveis da própria máquina. Deste modo, decidiu-se realizar um DOE para avaliar qual seria a causa da variação, e utilizou-se apenas na máquina *HWACHEON*, por conveniência, uma vez que não houve diferença significativa na análise anterior entre as máquinas para a causa do problema.

O DOE, tal como foi referido no capítulo anterior, consiste em realizar uma experiência planeada onde diversas combinações de fatores são testadas com o intuito de obter uma expressão tipo  $y=f(x)+e$ , onde  $y$  é a métrica em função de variáveis independentes significativas ( $x$ ) e com uma parcela de variáveis não significativas ( $e$ ). As variáveis independentes significativas consideradas neste projeto encontram-se expressas na tabela 3, coluna fator e com o acréscimo da fonte de variação – tipo de pastilha. As variáveis e fontes de variação consideradas num ajuste de variáveis da própria máquina, foram as

consideradas como críticas no diagrama de *Ishikawa* (figura 12) e mapa de processo (figura 14), o que diminui o risco de realizar a experiência sem obter o resultado esperado no projeto.

Na fase de planeamento (fase *plan*) deste DOE, verificou-se que o ajuste de variáveis seria impactante na rugosidade da própria peça (figura 32), pois estaria diretamente ligado a estes parâmetros. Para haver um termo de comparação no acabamento relativamente aos valores atuais do processo, foram medidos doze veios de uma máquina e de outra.

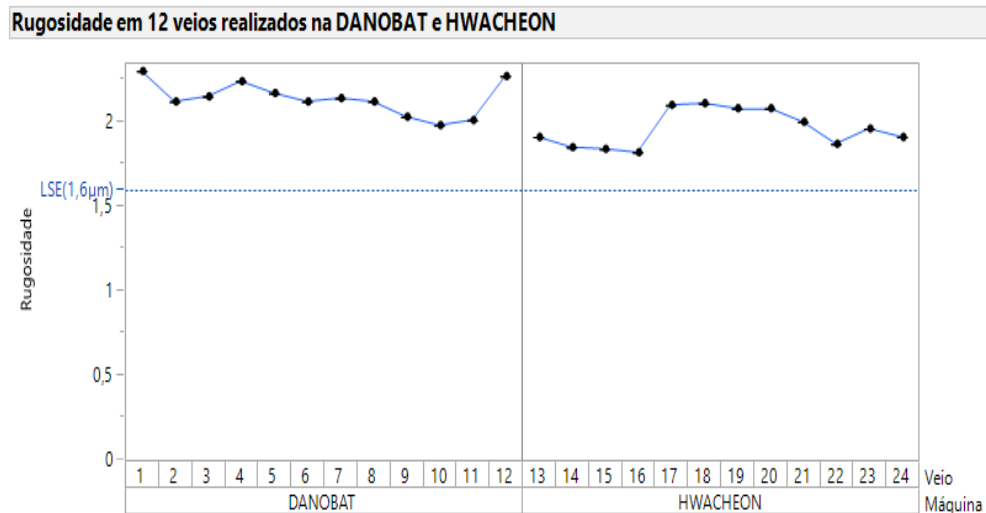


Figura 32 – Análise de rugosidade dos veios

Verificou-se que nesta medição, os valores de rugosidade estão acima dos valores do limite superior especificado pelo projeto. Para colmatar este problema, foi realizada uma pesquisa em catálogos de marcas de insertos, e contactados diretamente os fornecedores. Após selecionada uma opção de inserto para teste, em comparação com o utilizado em fábrica, foram consultados três elementos da equipa de Processos Industriais e Melhoria contínua, para validação da opção selecionada previamente.

Depois de validação por pares do inserto selecionado para teste, foram consultadas as indicações da própria marca para a sua utilização. A consulta das indicações de utilização foi realizada no novo inserto selecionado, e no inserto que se utilizava habitualmente no processo (tabela 3).

Tabela 2 – Caracterização das fontes de variação e variáveis consideradas no DOE

Fator	Nível (-)	Nível (+)	Teoria	Previsão
A - Tipo de pastilha	WIPER	NORMAL	O tipo de inserto "Wiper" melhora a rugosidade e garante uma maior estabilidade dimensional.	O inserto Wiper dará menos rugosidade ao diâmetro e melhores resultados a nível dimensional.
B - Avanço (fn)	0,07 mm/rot	0,20 mm/rot	O avanço tem influência na rugosidade, produtividade, força de maquinagem e ao controlo de aparas/cavacos.	Um avanço superior reduz o tempo de produção, aumenta a rugosidade da peça, melhora a quebra de cavacos e dificulta a estabilidade dimensional.
C - Profundidade de corte (ap)	0,8 mm	2 mm	A profundidade de corte está diretamente relacionada com a pressão de corte e o batimento radial.	Profundidades maiores aumentam a pressão de corte e existe maior probabilidade de quebra de ferramentas.
D - Velocidade de corte (vc)	150 m/min	300 m/min	A velocidade de corte de dentre os parâmetros de maquinagem, é o que apresenta maior influência no desgaste da ferramenta. A velocidade de corte também está relacionada com a potência de corte necessária e à produtividade.	Com velocidades maiores, será necessário um tempo de produção menor. Reduz-se a vida útil do inserto e gera instabilidade dimensional no processo.

A figura 33 ilustra a estratégia de recolha de dados da aplicação da ferramenta DOE no âmbito deste projeto (fase *do*).

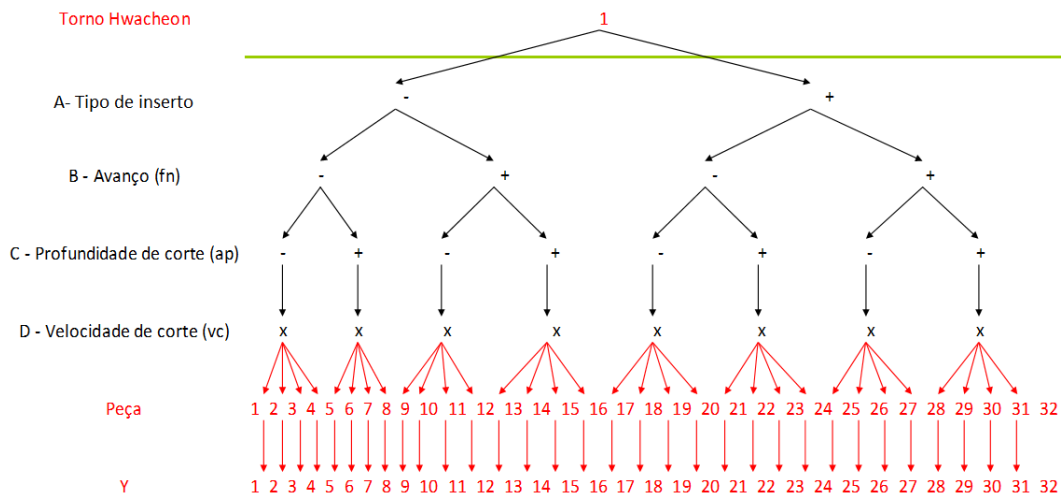


Figura 33 – Árvore de amostragem do DOE para analisar as variáveis críticas da máquina

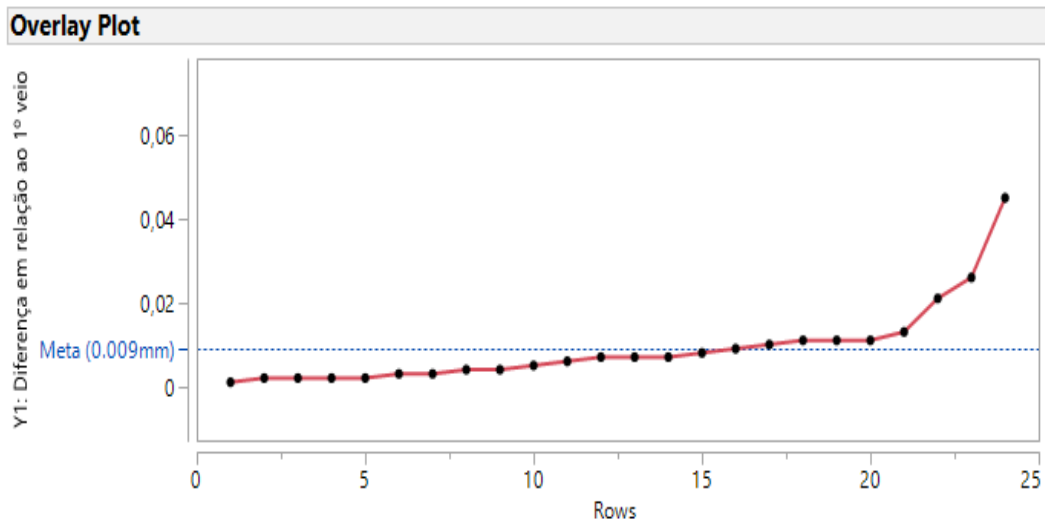
Y representa a diferença de diâmetro do 2º, 3º e 4º veio em relação ao primeiro. Deixa de ser o diâmetro do próprio veio porque já foi verificado que o que causa a diferença de média maior é a preparação do 1º veio por parte do operador.

Antes de passar para a fase *do*, foram colocadas algumas restrições:

- Controlar o estado dos pontos de fixação (garantir a limpeza e conservação);
- Verificar o estado dos inserts de corte e veio para veio, garantindo a ausência de quebras;
- Aferir um inserto novo de desgaste no início de cada recolha de dados.

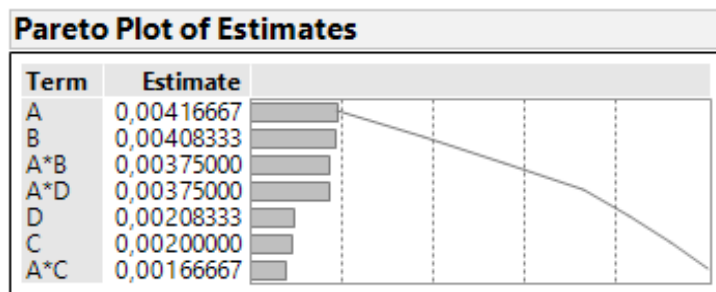
A recolha de dados (fase *do*) foi realizada com o auxílio de um Engenheiro do departamento de Processos Industriais e Melhoria Contínua que realizou a alteração do programa dos parâmetros de corte de acordo com o planeado na árvore de amostragem (figura 32). As trocas de inserts foram realizados por um operador aprovado na aplicação da ferramenta MSE (2ª aplicação).

Experimentaram-se diversas combinações de variáveis e realizou-se uma análise prática (fase *check*) para avaliação de possíveis causas especiais e cumprimento do objetivo, ou seja, atingir valores dentro da especificação do projeto com recurso à ferramenta *software JMP training (statistical discovery, SAS Institute, EUA) overlay plot* (figura 34).

Figura 34 – *Overlay Plot*

Como se observa na figura 34, não se verificaram causas especiais, tendo a experiência gerado variação e atingido o objetivo com 33,3% dos pontos acima do valor tido como meta (metade do valor de tolerância de projeto).

Seguiu-se a análise gráfica, onde se realizou um gráfico de *Pareto Plot of Estimates* e *Normal Plot*, para avaliação das variáveis críticas mais significantes (figura 35).



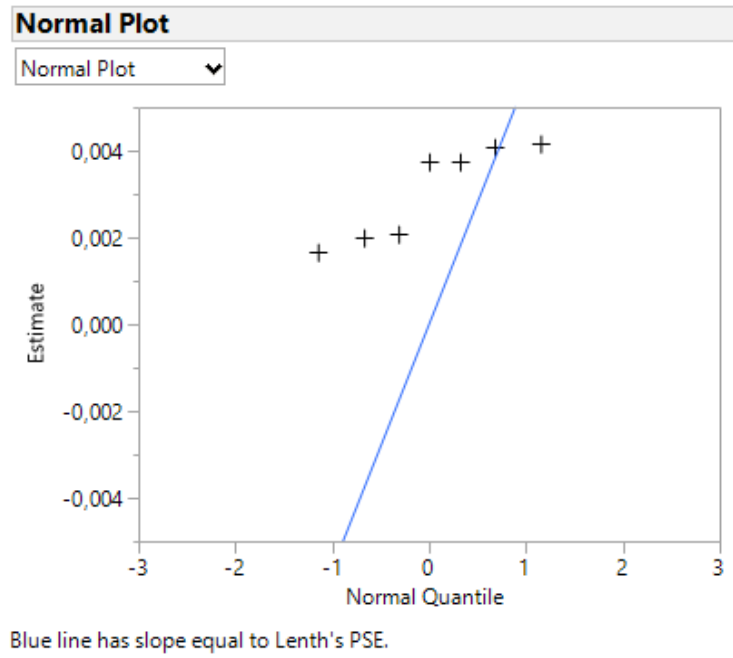
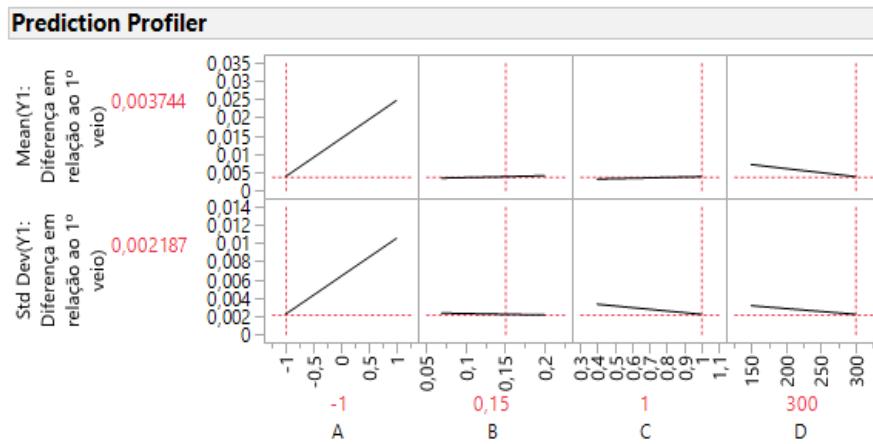


Figura 35 – Pareto Plot of Estimates and Normal Plot - diferença em relação ao 1º veio

Realizou-se a análise quantitativa com recurso à ferramenta *software JMP training (statistical discovery, SAS Institute, EUA) prection profiler* para definir a melhor combinação de fontes de variação e variáveis para resolver o problema (figura 36).



Response Mean(Y1: Diferença em relação ao 1º veio)	Response Std Dev(Y1: Diferença em relação ao 1º veio)
<b>Prediction Expression</b>	<b>Prediction Expression</b>
-0,010230769	-0,005395217
+0,0041666667 • A	+0,0004451632 • A
+0,0628205128 • B	+0,0206462604 • B
+0,0066666667 • C	+0,0040297527 • C
+0,0000277778 • D	+0,0000154079 • D
+A • ((B - 0,135) • 0,0576923077)	+A • ((B - 0,135) • 0,0221797193)
+A • ((C - 0,7) • 0,0055555556)	+A • ((C - 0,7) • 0,0058705841)
+A • ((D - 225) • 0,00005)	+A • ((D - 225) • 0,0000217079)

Figura 36 – Prediction Profiler

Com as conclusões retiradas da aplicação das ferramentas MSE, COV e DEO, elaborou-se um plano de ação para mitigação do problema (fase *act*).

#### 4.2.5 Definição e implementação de ações de melhoria

Para validar as conclusões retiradas da aplicação das ferramentas COV e DOE, elaborou-se uma nova árvore de amostragem (figura 37).

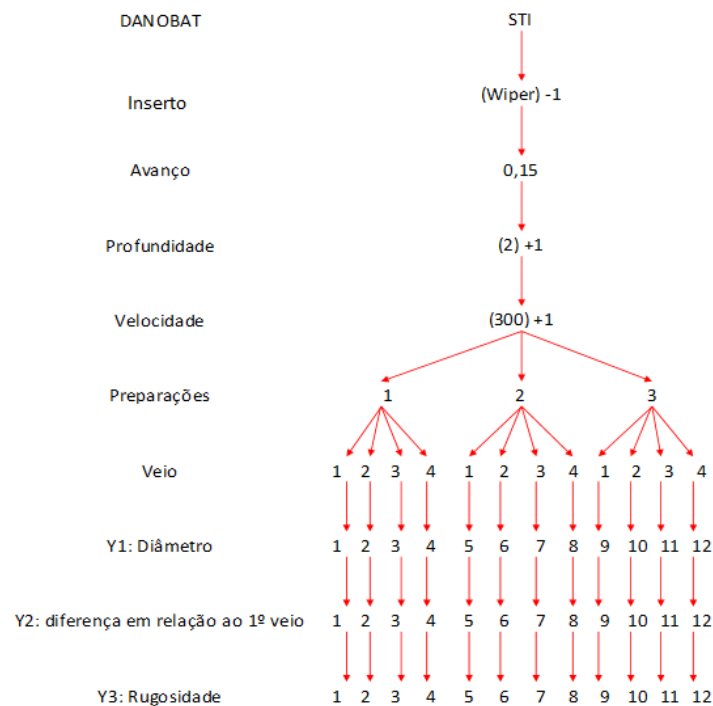


Figura 37 – Árvore de amostragem – validação de dados

Neste processo de validação, verificou-se uma melhoria significativa na estabilidade do processo, e foi validada graficamente e quantitativamente com recurso a *Control Chart* e *Long Term Sigma* (CPk), onde se comparou os dados da recolha realizada no início do estudo com os dados após os ajustes considerados no COV e DOE (figura 38).

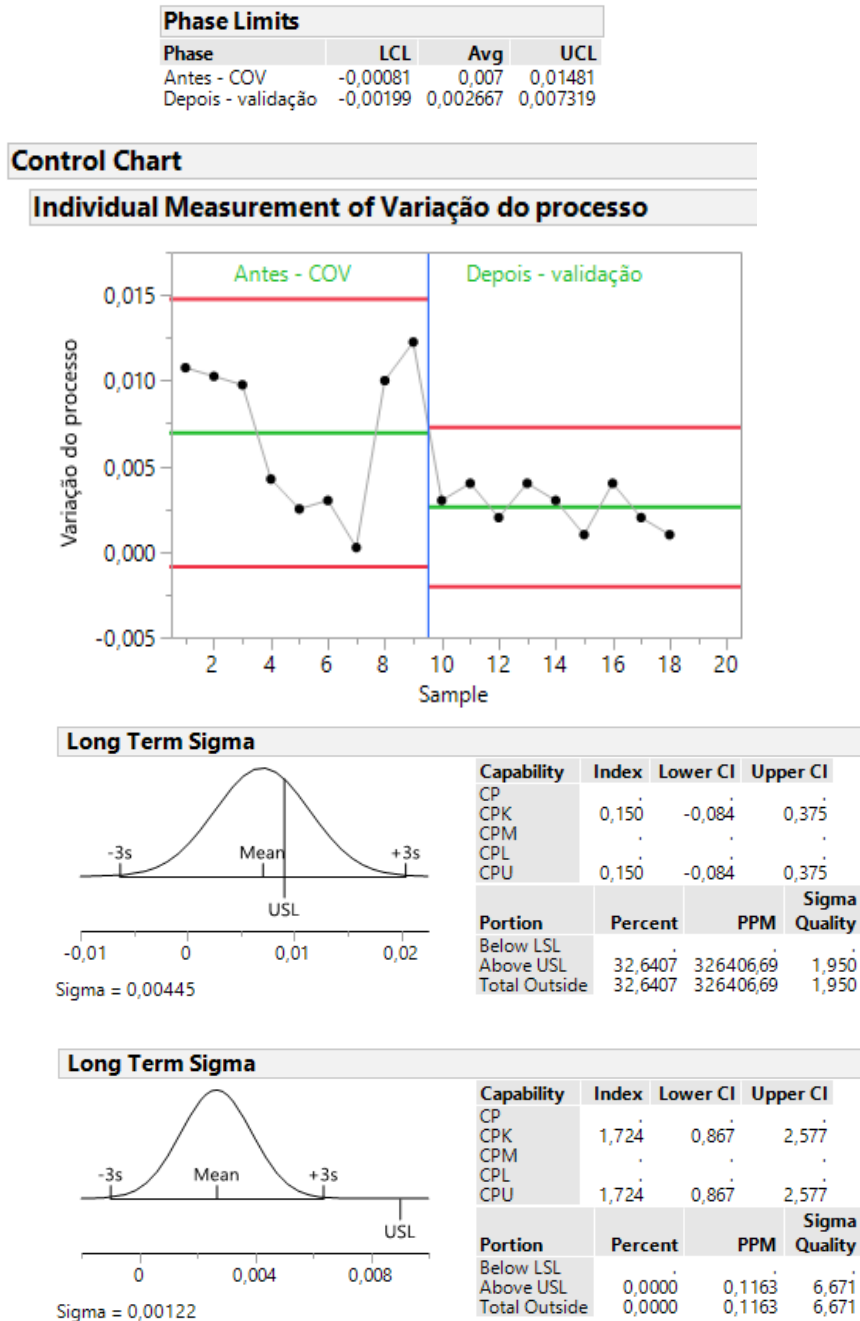


Figura 38 - Variação do processo antes e após os ajustes

Após a análise documentada neste projeto, foram definidas as seguintes ações de melhoria:

Tabela 3 – Hierarquização e caracterização das ações de melhoria

Ordem	O QUE	COMO	SITUAÇÃO
1º	Formação em medição para os operadores dos tornos, para garantir que todos têm condições de realizar veios em conformidade.	Formação com parte teórica e prática para os operadores do torno.	Concluído
2º	Aquisição de equipamento de medição à milésima para os tornos, para que os operadores garantam a preparação dos veios dentro da cota.	Comprar o equipamento com certificado de calibração e utilizar esse equipamento na formação.	Concluído
3º	Colocar os programas CNC atuais da <i>Danobat</i> com as condições definidas através da metodologia.	Alterar as condições e parâmetros de corte nos programas.	Concluído
4º	Alinhamento do torno.	Ordem de manutenção	Concluído

#### 4.2.6 Avaliação da implementação das ações de melhoria

Em relação ao problema da WEG, os ventiladores partidos no ano corrente são praticamente inexistentes. O único caso apontado desse defeito é o da QC 210649005, sendo que a zona que partiu foi a pá do ventilador, e que não se relaciona com o problema estudado neste projeto. Estima-se que o ganho neste ponto é de 450€ por ano.

Relativamente ao problema verificado no cliente, ruído na zona do ventilador, também não foram registadas reclamações em 2020 desse problema, estimando-se assim um potencial ganho de 2750€ por ano. Este conjunto perfaz um total de 3230€ por ano de ganho estimado para o projeto e garante a satisfação do cliente.

2018	2019		2018 e 2019	2020	2020
QC207905432	QC209303710	➔	QA 208538075	QC's	QA's
QC207944689	QC209307346		QA 209317961	210649005	-
QC207929798	QC209376826		QA 209548585		
QC208204846	QC208812707		QA 209744874		
QC208000677	QC209133135		QA 209767791		
QC207929794	QC209194575				
QC208352409	QC209132980				
QC208416400	QC209269053				
QC207936188					
QC207981350					
QC208050399					

Figura 39 - Não conformidades após implementação do projeto

Em termos percentuais, verificou-se uma redução de 100% do número de não conformidades após a elaboração deste projeto (figura 39).

# CONCLUSÕES

5.1. CONCLUSÕES

5.2. PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS



## 5 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

### 5.1 CONCLUSÕES

O desenvolvimento deste trabalho visou a melhoria do processo produtivo de torneamento com o objetivo de reduzir o número de peças não conformes internamente e reclamações de clientes que se podem correlacionar com o mesmo. O objetivo inicial do projeto foi melhorar a qualidade do processo de torneamento dos motores da gama W22, erradicando as reclamações e não conformidades internas atribuídas a este processo, tendo sido atingido com a implementação deste projeto. O desenvolvimento deste projeto com recurso às ferramentas da metodologia Seis Sigma mostrou ser eficaz na melhoria da estabilidade do processo.

O desenvolvimento deste projeto permitiu identificar as fontes de variação e as variáveis críticas que eram basilares à causa-raiz do problema. Com a identificação das fontes de variação e variáveis causadoras do problema identificado, e com o desenvolvimento e implementação de ações de melhoria, foi possível uma diminuição de 100% das não conformidades internas e externas.

Em relação ao problema identificado pela empresa, os ventiladores partidos no ano corrente são inexistentes e, deste modo, estima-se que o ganho neste ponto é de 450 €/ano. Relativamente ao problema verificado pelo cliente, estima-se um potencial ganho de 2750 €/ano, porém considera-se como vantagem a longo prazo a melhoria da imagem da empresa conseguido junto do cliente, pela resolução de um problema por ele apresentado. Adicionalmente à redução de custos diretos conseguidos com o projeto, podem ser enumeradas outras ações que permitiram uma poupança para a empresa, como a redução de retrabalhos e reaproveitamento.

Embora o objetivo previamente definido tenha sido atingido, o projeto apresentou algumas limitações na sua conceção e execução. O espaço de inferência desta melhoria está limitado a um tipo de material, um tipo de veio e um tipo de máquina, apesar de ter sido assumida a melhoria, ainda sem ter sido validada com outra máquina e outro tipo de material. No que concerne à medição da rugosidade, inicialmente estava planeado realizar um MSE para validação da medição da rugosidade, o que não foi

exequível devido ao tempo disponível para executar o projeto. A medição foi realizada consoante os procedimentos internos de medição utilizados em fábrica atualmente.

## 5.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

Em trabalhos futuros, é necessário verificar a abrangência dos resultados na máquina DANOBAT, validar a metodologia desenvolvida para outros eixos e realizar a ferramenta MSE para aprovação do sistema de medição da rugosidade.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES  
DE INFORMAÇÃO**



## 6 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

Antoniolli, I., Guariente, P., Pereira, T., Ferreira, L., Silva, F. J. G. (2017). Standardization and optimization of an automotive components production line. *Procedia Manufacturing*; 13: 1120–1127

Chandrasekaran, R., Campilho, R. D., Silva F. J. G. (2019). Reduction of scrap percentage of cast parts by optimizing the process parameters. *Procedia Manufacturing*; 38: 1050–1057

Cardiel-Ortega, J., Baeza-Serrato, R., Lizarraga-Morales, R. (2017). Development of a system dynamics model based on Six Sigma methodology. *Ingeniería e Investigación*; 37: 80-90.

Costa, L., Filho, M., Fredendall, L., Gangalnt, M. (2020). Lean six sigma in the food industry: Construct development and measurement validation. *J. Production Economics*; 231.

Crowfoot, D., & Prasad, V. (2017). Using the plan–do–study–act (PDSA) cycle to make change in general practice; 10: 425–430.

Dias, P., Silva F. J. G., Campilho, R. D., Ferreira, L., Santos, T. (2019). Analysis, and Improvement of an Assembly Line in the Automotive Industry. *Procedia Manufacturing*; 38: 1444–1452

Germanos, R., Catalani, F., Cabral, J., Menegatti, C. (2020). Inversores de Potência: Conceitos teóricos e demonstração experimental. *Revista Brasileira de Ensino de Física*; 42.

Guariente, P., Antoniolli, P., Ferreira, L., Pereira, L., Silva, F.J.G. (2017). Implementing autonomous maintenance in an automotive components manufacturer. *Procedia Manufacturing*; 13: 1128–1134

Hors, C., Goldberg, A., Almeida, E., Babio, F., Rizzo, L. (2012). Application of the enterprise management tools Lean Six Sigma and PMBOK in developing a program of research management. *Einstein*; 10: 480-490.

Kaswan, K., & Rathi, R. (2020). Green Lean Six Sigma for sustainable development: Integration and framework, *Environmental Impact Assessment Review*, Volume 83.

Kenett, R. S. (2008) 'Cause-and-Effect Diagrams', *Encyclopedia of Statistics in Quality and Reliability*; 1–5.

Lopes, R., Silva, F. J. G., Godina, R., Campilho, R., Dieguez, T., Ferreira, L., Baptista, A. (2020). Reducing scrap and improving an air conditioning pipe production line. *Procedia Manufacturing*; 00:000–000

Mahajan, M., Chistopher, K., Harshan, Shiva, P. (2019). Implementation of Lean techniques for Sustainable workflow process in Indian motor manufacturing unit. *Procedia Manufacturing*; 35: 1196-1204.

Montgomery, D. C., & Woodall, W. H. (2008). An overview of six sigma. *International Statistical Review*; 76: 329-346.

Montgomery, D. C. (2010). A Modern framework for achievement enterprise excellence. *International Journal of Lean Six Sigma*; 1:56-65.

Neves, P., Silva, F. J. G., Ferreira, L. P., Pereira, T., Gouveia, A., Pimentel, C. (2018). Implementing Lean Tools in the Manufacturing Process of Trimmings Products. *Procedia Manufacturing*; 17:697–704.

Pinto, G., Silva F. J. G., Campilho, R. D., Casais, R., Fernandes, A., Baptista, A. (2019). Continuous improvement in maintenance: a case study in the automotive industry involving Lean tools. *Procedia Manufacturing*; 38: 1582–1591

Pereira, J., Silva, F. J. G., Bastos, J., Ferreira, L., Matias, J. (2019). Application of the A3 Methodology for the Improvement of an Assembly Line. *Procedia Manufacturing*; 38: 745–754

Pereira, M., Bento, I., Ferreira, L., Sá, J., Silva, F. J. G. (2019). Using Six Sigma to analyse Customer Satisfaction at the product design and development stage. *Procedia Manufacturing*; 38: 1608–1614

Pereira, T., Neves, A., Silva, F. J. G., Godina, R., Morgado, L., Pinto, G. (2020). Production Process Analysis and Improvement of Corrugated Cardboard Industry. *Procedia Manufacturing*; 00:000–000

Pombal, T., Ferreira, L. P., Sá, J., Pereira, M. T., Silva, F. J. G. (2019). Implementation of Lean Methodologies in the Management of Consumable Materials in the Maintenance Workshops of an Industrial Company. *Procedia Manufacturing*; 38: 975–982

Raluca, C., & Adriana, V. (2015). The Assessment Methodology Pdca/Pdsa – a Methodology for Coordinating the Efforts to Improve the Organizational Processes to Achieve Excellence. *Challenges of the Knowledge Society*; 5:693–696.

Rosa, C., Silva, F. J. G., Ferreira, L., Campilho, R. (2017). SMED methodology: The reduction of setup times for Steel Wire-Rope assembly lines in the automotive industry. *Procedia Manufacturing*; 13: 034–1042

Rosa, C., Silva, F. J. G., Ferreira, L., Pereira, T., Gouveia, R. (2018). Establishing Standard Methodologies To Improve The Production Rate Of Assembly Lines Used For Low Added-Value Products. *Procedia Manufacturing*; 00:000–000

Rosa, A., Souza, R.; Royer, R. (2019). Roteiro para Aplicação Do *Lean* Seis Sigma na Melhoria de Processos Industriais. *R. Gest. Industr.*; 15:86-100.

Rodrigues, H., Silva, F. J. G., Morgado, L., Sá, J., Ferreira, L., Campilho, R. (2020). A novel computer application for scrap reporting and data management in the manufacturing of components for the automotive industry. *Procedia Manufacturing*; 00: 000–000

Rocha, H., Ferreira, L., Silva, F. J. G. (2018). Analysis and Improvement of Processes in the Jewelry Industry. *Procedia Manufacturing*; 17:640–646

Sanders, D.; Hild, C. R. (2000). Discussion of strategies for six sigma implementations. *Quality Engineering*; 12: 303-309.

Sokovic, M., Pavletic, D., Pipan, K. (2010). Quality Improvement Methodologies - PDCA Cycle, Radar Matrix, DMAIC and DFSS. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*; 43: 476-483.

Swanson, R. (2013). *The Quality Improvement Handbook: Team Guide to Tools and Techniques*. CRC Press.

S. Kumar, S., Campilho, R. D., Silva F. J. G. (2019). Rethinking modular jigs' design regarding the optimization of machining times. *Procedia Manufacturing*; 38: 876–883

Trad, S., Maximiano, A. (2009). Seis Sigma: Fatores Críticos de Sucesso para sua Implantação. *RAC*; 13:647-662.

WEG (2020). Retrieved from [https://www.weg.net/institutional/PT/pt\\_PT/](https://www.weg.net/institutional/PT/pt_PT/)

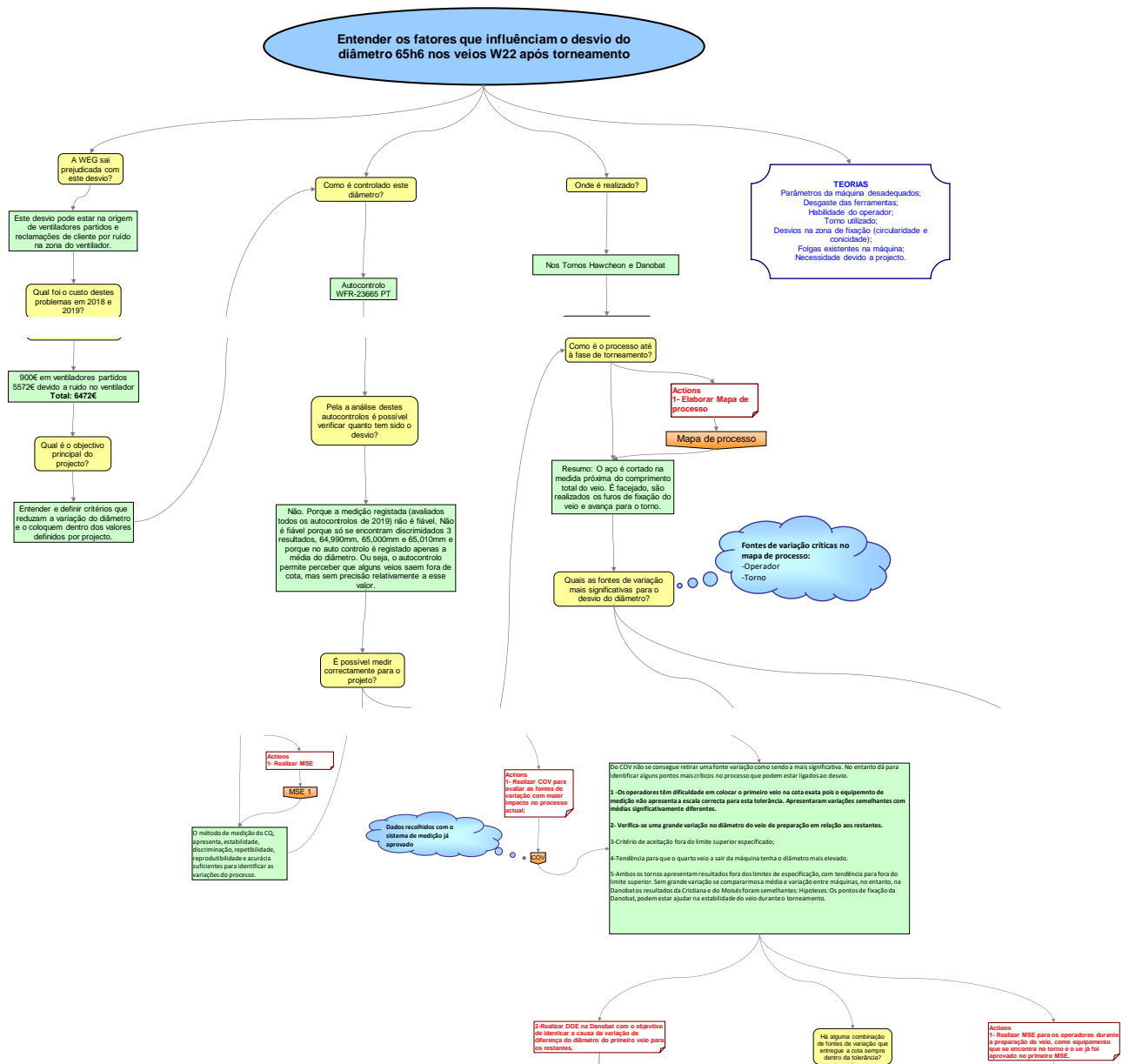
# ANEXOS

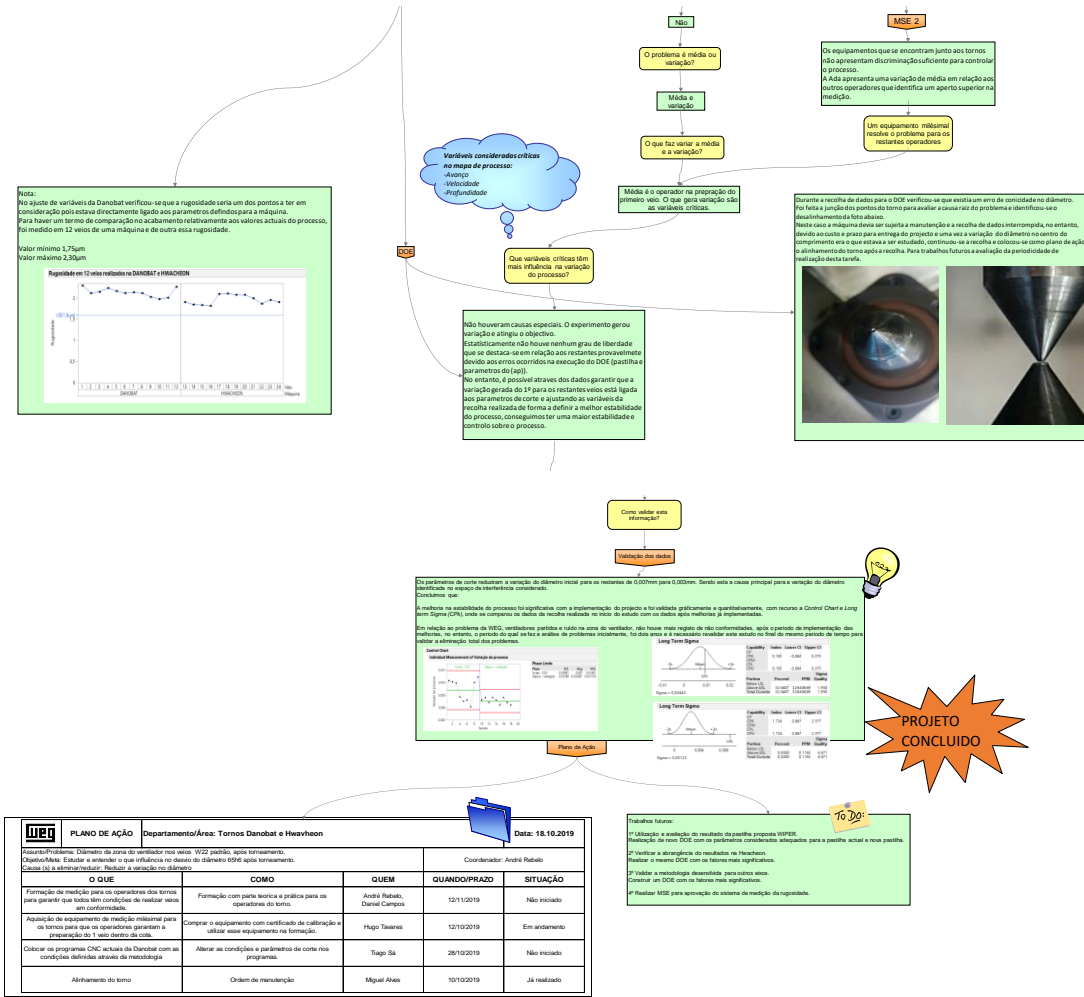
## 7.1. ANEXO1



# 7 ANEXOS

## 7.1 ANEXO 1 – Mapa de Raciocínio





PLANO DE AÇÃO		Departamento/Área: Tornos Danobat e Hwaeon		Data: 18.10.2019	
<p><b>Assunto/Problema:</b> Diâmetro da zona do ventilador nos veios W22 padrão, após torneamento.  <b>Objetivo/Meta:</b> Estabilidade e precisão e alta eficiência no diâmetro D206 após torneamento.  <b>Causa (s) a eliminar/eliminar:</b> Reduzir a variação no diâmetro.</p>					
<p>Coordenador: André Rebelo</p>					
O QUE	COMO	QUEM	QUANDO/PRAZO	SITUAÇÃO	
Formação de medição para os operadores dos tornos para garantir que todos têm condições de realizar veios após conformidade.	Formação com parte teórica e prática para os operadores do torno.	André Rebelo, Daniel Campos	12/11/2019	Não iniciado	
Ajuste do equipamento de medição milimétrica para os tornos para que os operadores garantam a preparação do 1º veio dentro de cota.	Comparar o equipamento com certificado de calibração e utilizar esse equipamento na formação.	Hugo Soares	12/10/2019	Em andamento	
Colocar os programas CNC actuais da Danobat com as condições definidas através de metodologia.	Alterar as condições e parâmetros de corte nos programas.	Tiago Sá	28/10/2019	Não iniciado	
Alinhamento do torno	Ordem de manutenção	Miguel Alves	10/10/2019	Já realizado	

7.2 ANEXO 2 – Project Charter

## PROJECT CHARTER

	<input type="radio"/> Yellow Belt <input checked="" type="radio"/> Green Belt <input type="radio"/> Black Belt	Data: <input type="text"/>	#NOME?
Revisão: <input type="text"/>			

**1. Informações referentes ao Candidato**

Nome do Candidato: André Daniel Rebelo Ferreira

e-mail:

Gerente do Candidato: Moura Guedes

Diretoria do Candidato: Moura Guedes

Departamento do Candidato: Engenharia da Qualidade

Departamento de Aplicação do Projeto: Maquinagem

Gerente da Área de Aplicação do Projeto:

**2. Informações referentes ao Projeto**

Título do Projeto: Diâmetro da zona do ventilador nos veios W22 padrão, após torneamento.

Objetivo do Projeto: Estudar e entender o que influencia no desvio do diâmetro 65h6 após torneamento.

**Tempo para conduzir investigação:**

**3. Descrição do Projeto**

Situação atual:

Pela a análise dos auto-controlos de veios em chão de fábrica, verificou-se que a cota 65h6 (65,000/64,981) apresentava valores superiores aos estipulados pela tolerância (10µm). Quando questionados os operadores da máquina e verificação de qualidade sobre a aceitação desta medida, responderam que até 10µm fora da tolerância era aceitável uma vez que ajudava na interferência com o ventilador. Foi realizado um experimento com três veios W22, verificados pelo CQ e 4- Habilidade do operador de máquina. E verificou-se não só que medida excede esses 10µm como a variação é superior à tolerância definida pelo projeto. Com base nisso, foi feita a recolha de não conformidades (QC's) que podem ter surgido devido a este processo de produção de motores elétricos, gerados.

Hipóteses sobre possíveis causas e escopo inicial do projeto

- 1- Programa;
- 2- Parâmetros da máquina;
- 3- Desgaste das ferramentas;
- 4- Habilidade do operador;
- 5- Torno utilizado;
- 6- Desvios na zona de fixação (circularidade e conicidade);
- 7- Folgas existentes na máquina;
- 8- Necessidade devido a projeto;

Fábrica	Inspector	Veio	Ponto de medida	ANSWER
1	Daniel	1	Ponto1	65,005
1	Daniel	1	Ponto2	65,005
1	Daniel	1	Ponto3	65,009
1	Daniel	1	Ponto4	65,003
1	Daniel	2	Ponto1	65,006
1	Daniel	2	Ponto2	64,999
1	Daniel	2	Ponto3	65,008
1	Daniel	2	Ponto4	65,001
1	Daniel	3	Ponto1	65,009
1	Daniel	3	Ponto2	65,016
1	Daniel	3	Ponto3	64,997
1	Daniel	3	Ponto4	65,014

**2018**

QC207905432    QC209303710  
 QC207944689    QC209307346  
 QC207929798    QC209376826  
 QC208204846    QC208812707  
 QC208000677    QC209133135  
 QC207929794    QC209194575  
 QC208352409    QC209132980  
 QC208416400    QC209269053  
 QC207936188    QC207981350  
 QC208050399

**2019**

**Não qualidade interna**

900 €

**Não qualidade no cliente**

5 572 €

**4. Aprovação do Projeto**

Assinatura:

Data:

Assinatura:

Data:

Assinatura:

Data:

Assinatura:

Data: