

Instituto Politécnico de Viseu

Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu



Rafael Afonso Lopes Guerra Fernandes

Metodologia Six Sigma aplicada a processos de corte
numa indústria de componentes automóvel

Junho de 2021

Rafael Afonso Lopes Guerra Fernandes

Metodologia Six Sigma aplicada a processos de corte
numa indústria de componentes automóvel

Tese de Mestrado

Mestrado em Engenharia Mecânica e Gestão Industrial

Professora Doutora Odete Lopes

Professor Doutor David Pinheiro



Junho de 2021

“Se não és capaz de fazer as pequenas tarefas bem, também nunca serás capaz de fazer bem as grandes tarefas.” (McRaven, 2017)

RESUMO

Nos dias de hoje, a sobrevivência de uma empresa no mercado está fortemente ligada ao fator de competitividade da mesma. O setor automóvel chega a atingir níveis de competitividade elevadíssimos, sendo por vezes estimulados por quebras ou derrapagens na procura, provocadas por fatores externos à indústria, como por exemplo a quebra relativa ao vírus covid-19, que levou as empresas a adotarem estratégias de contenção de custos e aumento de produtividade, com intuito de se manterem vivas no mercado.

No presente trabalho é exposta uma ferramenta muito versátil e eficaz na resolução de problemas, com foco na obtenção de resultados monetários positivos. A metodologia em observação é o *six sigma*, a sua aplicação tem como propósito a redução de custos em ferramentas de corte, na empresa Huf Portuguesa.

Atualmente, para além da empresa em análise estar a atravessar uma reestruturação interna, esta sofre também as consequências da pandemia covid-19, pelo que, é necessário criar e adotar estratégias para o aumento dos resultados operacionais da empresa. Daí que, é necessário empregar o *six sigma* na análise dos processos de fresagem das diversas linhas de montagem da empresa. O projeto de melhoria terá como enfoque o aumento da rentabilização da utilização das fresas atendendo ao tempo de vida útil das mesmas.

O *six sigma*, é uma metodologia que quando aplicada corretamente, pode potenciar os resultados da empresa, isto porque, a estrutura rígida e dinâmica da ferramenta DMAIC possibilita criar e implementar melhorias estáveis nos processos.

O trabalho desenvolvido encontra-se dividido em duas partes, uma primeira parte com a revisão literária, no qual inclui uma introdução ao tema, uma revisão ao *six sigma* e uma pequena abordagem aos processos de corte, e uma segunda parte relativa ao caso de estudo.

No desenvolver do caso de estudo, constatou-se que os resultados operacionais de uma empresa podem ser potenciados com a utilização da ferramenta de melhoria *six sigma*, além do que, também se verificou que o operário fabril tem uma forte influência no output do processo de fresagem. Todavia, o que se constatou foi uma dificuldade na utilização correta dos métodos de análise indiretos. Contudo, também foi possível identificar a importância da uniformização de critérios de análise, a utilização correta dos dados e a impossibilidade de analisar certas variáveis de entrada do processo de fresagem.

ABSTRACT

Nowadays, the survival of a company in the market is strongly linked to its competitiveness factor. In the automotive industry, it reaches extremely high levels of competitiveness, sometimes being stimulated by declines or shifting in demands, caused by external factors to the industry, such as the crash related to the covid-19 virus, which led companies to adopt strategies of cost containment and increased productivity, in order to stay alive in the market.

In this work, a very versatile and effective problem solving tool is exposed, with a focus on achieving positive monetary results. The methodology under observation is the six sigma, its application aims to reduce costs in cutting tools, in the company Huf Portuguesa.

Currently, beyond the company in analysis is undergoing to an internal restructuring, it is also suffering the consequences related to the pandemic of covid-19, so it is necessary to create and adopt strategies to increase the company's operating results. Hence, it is necessary to use six sigma in the analysis of the company milling processes from different assembly lines. The improvement project is focus on increasing the use of the cutting tools attending on each cutting tools life time.

Six sigma is a methodology that, when applied correctly, can enhance the company's results, because the rigid and dynamic structure of the DMAIC tool makes it possible to create and implement stable improvements in the processes.

The work developed is divided into two parts, a first part with the literary review, which includes an introduction to the subject, a review about the six sigma and a small approach to the cutting processes, and a second part related to the case of study.

In developing the case of study, it was found that the operational results of a company can be enhanced with the use of the six sigma improvement tool, in addition to that, it was also found that the factory worker has a strong influence on the output of the milling process. However, was found a difficulty in the correct use of indirect analysis methods. However, it was also possible to identify the importance of standardizing analysis criteria, the correct use of data and the impossibility of analyzing certain input variables in the milling process.

PALAVRAS CHAVE

Melhoria Contínua

Six Sigma

Redução de Custos

Processos de Corte

Fresagem

KEY WORDS

Continuous Improvement

Six Sigma

Savings

Cutting Processes

Milling

AGRADECIMENTOS

Em primeira instância queria agradecer ao Instituto Politécnico de Viseu por ter dado a possibilidade de realizar um estudo desta envergadura e também aos meus professores orientadores pelo suporte e disponibilidade demonstrado desde o primeiro instante. Obrigado, Eng.^a Odete Lopes e Eng.^o David Pinheiro, pela transmissão de conhecimentos e conselhos, que em muito contribuíram para o meu percurso académico.

Ao meu companheiro de viagem, caríssimo Eng.^o Rui Pimenta, pela entreatura e conselhos prestados ao longo desta etapa, obrigado pelo apoio e amizade. Ao entendido na matéria, excelentíssimo João Regalar, pela orientação e transmissão de conhecimentos dentro da empresa. Ao meu chefe, Eng.^o Idalécio Rodrigues, pelas boas práticas demonstradas e responsabilidades atribuídas. Aos meus colegas chefes de turno, pelo ambiente e espírito de colaboração que têm oferecido ao longo do tempo. À gerência pela possibilidade de realizar um trabalho desta envergadura na organização que lideram e à restante equipa da Huf Portuguesa pelo ambiente organizacional positivo e espírito de equipa, que têm praticado.

Queria deixar um especial agradecimento aos meus pais, José e Rosa Guerra Fernandes, como base para o meu crescimento pessoal e académico, sem o vosso apoio e aconselhamento não seria possível atingir o patamar em que me encontro atualmente. Também queria deixar um agradecimento à minha família, como parte integrante do meu crescimento pessoal.

À minha companheira de longa data, Catarina Lopes, pela paciência e ajuda nesta etapa do meu percurso académico. Sem o teu incentivo e apoio nas fases mais difíceis da realização desta dissertação, não seria possível concluí-la com o sucesso esperado. Um obrigado, também à tua família.

Aos meus amigos, obrigado por entenderem os motivos das minhas ausências e por disponibilizarem alguns momentos de descontração. Também queria agradecer a quem, de uma maneira ou de outra, contribuiu para o meu sucesso, tanto a nível académico, como profissional.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE TABELAS.....	xix
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xxi
ABREVIATURAS E SIGLAS	xxiii
1. História	1
2. Introdução.....	5
2.1 Objetivos da dissertação.....	10
2.2 Metodologia.....	11
ESTADO DA ARTE.....	13
3. <i>Six Sigma</i>	13
3.1 Definir	20
3.2 Medir.....	27
3.3 Analisar	33
3.4 Melhorar.....	42
3.5 Controlar	44
4. Processos de corte	57
4.1 Fresagem	57
4.1.1 Condições de corte na fresagem.....	58

4.2	Desgaste	62
4.3	Formação da apara	67
ESTUDO DE CASO		71
5.	<i>Six Sigma</i>	72
5.1	Definir	72
5.2	Medir	81
5.2.1	Recolha de dados	81
5.2.2	Validação dos dados	82
5.2.3	<i>Process Capability</i>	88
5.3	Analisar	90
5.4	Melhorar	94
5.5	Controlar	97
5.6	<i>Repeat</i>	99
5.7	Encerramento do projeto	111
6.	Conclusão	117
6.1	Principais conclusões	117
6.2	<i>Lesson's Learned</i>	119
6.3	Trabalhos futuros	121
6.4	Considerações	123
Referências Bibliográficas		125
ANEXOS		133

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da gestão industrial ao longo dos tempos.	3
Figura 2 - Produção estimada de automóveis a nível mundial.	5
Figura 3 - Partilha do mercado automóvel a nível mundial por região.	6
Figura 4 - Localização geográfica das fábricas da indústria dos componentes automóveis em Portugal.	8
Figura 5 - Fatores influenciadores do processo.	13
Figura 6 - Curva de distribuição normal ou de Gauss.	14
Figura 7 - DPMO numa curva de Gauss.	14
Figura 8 - Implementação do <i>six sigma</i> na General Electric.	16
Figura 9 - Resultado operacional antes e depois de aplicada uma estratégia <i>six sigma</i>	16
Figura 10 - Influência da metodologia <i>six sigma</i> numa curva de distribuição normal.	17
Figura 11 - Ciclo DMAIC.	18
Figura 12 - Processo de resolução de um problema e ligação com ciclo de Deming.	19
Figura 13 - Fase de definição no ciclo DMAIC.	20
Figura 14 - Processo de definição de um projeto <i>six sigma</i>	21
Figura 15 - Método de definição de objetivos (SMART).	22
Figura 16 - Os 8 desperdícios da indústria.	22
Figura 17 - Classificação das atividades na indústria.	23
Figura 18 - Tipos de <i>cost savings</i>	24
Figura 19 - Diferentes tipo de clientes numa organização.	24
Figura 20 - Fatores críticos para a satisfação do cliente (CTS).	25
Figura 21 - Matriz da voz do cliente (VOC).	25
Figura 22 - SIPOC.	26
Figura 23 - <i>Project charter</i>	27
Figura 24 - Fase de medição no ciclo DMAIC.	28
Figura 25 - Processo de medição de um projeto <i>six sigma</i>	28
Figura 26 - Dados discretos e contínuos.	29
Figura 27 - Análise da variação de um sistema de medição.	30
Figura 28 - Diferentes tipos de processos capazes.	31
Figura 29 - Diferença entre um processo estável e instável ao longo do tempo.	31

Figura 30 - Nível sigma consoante o tipo de dados do processo.....	32
Figura 31 - Fase de análise no ciclo DMAIC.....	34
Figura 32 - Processo de análise de um projeto <i>six sigma</i>	35
Figura 33 - Diferentes tipos de ferramentas para analisar o processo.	36
Figura 34 - Diagrama de Ishikawa.....	37
Figura 35 - Modelo dos 5 <i>Whys</i>	37
Figura 36 - FMEA.....	38
Figura 37 - Análise de Pareto.	39
Figura 38 - Paradigma Red X.....	39
Figura 39 - Ferramentas gráficas diversas utilizadas na fase de análise.	40
Figura 40 - Intervalos de confiança por amostragem.....	41
Figura 41 - Fase de melhoria no ciclo DMAIC.	43
Figura 42 - Processo de melhoria num projeto <i>six sigma</i>	44
Figura 43 - Fase de controlo no ciclo DMAIC.....	45
Figura 44 - Processo de controlo num projeto <i>six sigma</i>	46
Figura 45 - Gráfico de controlo.	46
Figura 46 - Diferentes gráficos de controlo consoante o tipo de dados.....	47
Figura 47 - Exemplos de gráficos de controlo e as diferentes causas de variação.	48
Figura 48 - Plano de controlo.	50
Figura 49 - Importância dos 5S na melhoria contínua de uma organização.	51
Figura 50 - Os diferentes sentidos do 5S.....	51
Figura 51 - Exemplo de um <i>standard work sheet</i>	52
Figura 52 - Gestão visual do chão de fábrica.	53
Figura 53 – Sistema <i>poka-yoke</i>	54
Figura 54 - Ferramentas possíveis de aplicar em cada etapa do ciclo DMAIC.....	55
Figura 55 – Diferentes tipos de fresagem.....	58
Figura 56 – Diferentes tipos de movimentos de corte.	58
Figura 57 – Nomenclatura e esquema representativo da fresagem.	59
Figura 58 - Representação do avanço por dente por rotação.....	60
Figura 59 - Nomenclatura e esquema representativo da profundidade e largura de corte.....	60
Figura 60 - Nomenclatura e esquema representativo da fresagem.	61
Figura 61 - Nomenclatura e esquema representativo da fresagem.	61
Figura 62 - Deteriorações mais comuns numa ferramenta de corte.	62

Figura 63 - Tipos de deteriorações.	62
Figura 64 - Trilogia de Smith.	65
Figura 65 - Curva típica de desgaste de uma fresa.	66
Figura 66 - Concentrações de calor na ferramenta de corte.	66
Figura 67 - Esquema representativo das forças realizadas entre a ferramenta e a peça.	67
Figura 68 - Esquema representativo da formação de apara (corte ortogonal).....	67
Figura 69 - Aparas mais comuns nos processos de corte.	68
Figura 70 - Diferentes tipos de aparas.	69
Figura 71 - Sistemas de acesso mecânicos.	71
Figura 72 - Fase de definição.	72
Figura 73 - Espadim por cortar à esquerda e espadim cortado à direita	74
Figura 74 - Matriz da voz do cliente.	76
Figura 75 - Mapeamento do processo - SIPOC.	77
Figura 76 - Exemplo de uma fresa (esquerda) e equipamento de fresagem (centro e direita) utilizado nos processos de fresagem das linhas de produção de acessos mecânicos.....	78
Figura 77 – Esquematização das tolerâncias mais comuns num código mecânico.....	78
Figura 78 - <i>Project charter</i>	79
Figura 79 - Fase de medição.....	81
Figura 80 - Base dados de registo.	82
Figura 81 - Interface do utilizador.	83
Figura 82 - Exemplo de calibre passa/ não passa.	84
Figura 83 - Esquema explicativo do fenómeno ocorrido	84
Figura 84 - Escovagem das rebarbas da parede do fresado.....	85
Figura 85 - Resultado do estudo R&R.	86
Figura 86 - Matriz de prioridades.	90
Figura 87 - Fase de análise.	90
Figura 88 - Diagrama de Ishikawa.....	91
Figura 89 - Resultado do teste R&R (Qualitativo).	93
Figura 90 - Resultado do teste R&R (Quantitativo).	93
Figura 91 - Fase de melhoria.	94
Figura 92 - Maquete tridimensional de útil de validação do diâmetro do fresado do espadim.	95
Figura 93 - Útil de validação da rebarba do fresado.	95

Figura 94 - Fase de controlo.....	97
Figura 95 - Repetição do ciclo DMAIC.....	100
Figura 96 - Discriminação das operações do processo de fresagem (tempo em segundos)...	103
Figura 97 - Útil de colocação da ferramenta de corte.....	108
Figura 98 - Metodologia aplicada para medição da base e altura da fratura na fresa.....	109
Figura 99 - Encerramento do projeto <i>six sigma</i>	111
Figura 100 - <i>Project charter</i>	115
Figura 101 - Evolução representativa dos resultados em função dos envolvimento dos trabalhadores consoante a efetividade das ações de melhoria.....	120
Figura 102 - Evidência do excesso de rebarba no fresado do espadim da linha 3	121

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Valores do DPMO e RP para cada nível sigma.	15
Tabela 2 - Fatores influenciadores de um sistema de medição.	29
Tabela 3 - Índices de desempenho de um processo.	32
Tabela 4 - Cálculo dos intervalos de confiança.	40
Tabela 5 - Fatores a ter em consideração num desenho experimental.	42
Tabela 6 - Cálculo dos limites e linhas centrais dos diferentes gráficos de controlo.	48
Tabela 7 - Causas e soluções para os diferentes tipos de deteriorações.	63
Tabela 8 - Técnicas/ ferramentas aplicadas na fase de definição.	72
Tabela 9 - Evolução anual dos custos em fresas por linha de montagem (ano N-1).	73
Tabela 10 - Cálculo da situação atual do indicador (b) em €/ 1000 cortes.	75
Tabela 11 - Custos de fresas em relação às vendas de sistemas de acessos mecânicos.	75
Tabela 12 - Técnicas/ ferramentas aplicadas na fase de medição.	81
Tabela 13 - Defeitos utilizados para a realização do estudo R&R.	85
Tabela 14 - Distribuição dos espadins por tipo de teste.	85
Tabela 15 - Técnicas/ ferramentas aplicadas na fase de análise.	90
Tabela 16 - Técnicas/ ferramentas aplicadas na fase de melhoria.	94
Tabela 17 - Comparação entre um código mecânico simples e um complexo.	96
Tabela 18 - Síntese de ações propostas para as diferentes linhas de montagem.	96
Tabela 19 - Técnicas/ ferramentas aplicadas na fase de controlo.	97
Tabela 20 - Cálculo do objetivo de redução para o indicador (b) em €/ 1000 cortes.	100
Tabela 21 - Análise da evolução dos <i>savings</i> reais.	101
Tabela 22 - Testes de alteração de parâmetros.	103
Tabela 23 - Análise da evolução dos <i>savings</i> reais.	111
Tabela 24 - Indicador (b) em €/ 1000 cortes.	112
Tabela 25 – Custos em função das vendas orçamentadas e reais no ano N.	113
Tabela 26 - Síntese dos resultados do projeto	117

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Número médio anual de trabalhadores na indústria dos componentes automóveis.	9
Gráfico 2 - Volume de negócios por atividade da indústria dos componentes automóveis em 2018.....	9
Gráfico 3 - Evolução anual dos custos em fresas.	73
Gráfico 4 - Comparação das diferentes avaliações.	86
Gráfico 5 - Teste de normalidade na linha de montagem 1.....	87
Gráfico 6 - Teste de normalidade nas restantes linhas de montagem.	87
Gráfico 7 - Distribuição normal da linha de montagem 1.....	88
Gráfico 8 - Distribuição normal nas restantes linhas de montagem.	89
Gráfico 9 - Análise de Pareto na linha de montagem 1.	92
Gráfico 10 - Gráfico de controlo da linha de montagem 1 por equipamento.....	98
Gráfico 11 - Distribuição normal da linha de montagem 1 por equipamento.	98
Gráfico 12 - Distribuição normal nas restantes linhas de montagem.	99
Gráfico 13 - Análise de Pareto na linha de montagem 1.....	102
Gráfico 14 - Análise aos tempos de ciclo da linha de montagem 1.....	102
Gráfico 15 - Análise aos tempos de ciclo da linha de montagem 1 com ajuste da carga de trabalho.....	104
Gráfico 16 - Diagrama interquartis da linha de montagem 1 por equipamento	105
Gráfico 17 - Análise do diâmetro do fresado ao longo do tempo por equipamento.....	106
Gráfico 18 - Análise do diâmetro do fresado ao longo do tempo por equipamento.....	107
Gráfico 19 - Análise do diâmetro do fresado ao longo do tempo por equipamento na linha de montagem 2.	107
Gráfico 20 - Curva de desgaste da linha de montagem 2	109
Gráfico 21 - Gráfico de controlo da linha de montagem 1 por equipamento.....	110
Gráfico 22 - Distribuição normal da linha de montagem 1 por equipamento.	110
Gráfico 23 - Evolução dos custos e custos em função das venças no ano N e N-1.....	114

ABREVIATURAS E SIGLAS

AFIA	Associação de Fabricantes para a Indústria Automóvel
AIAG	Automotive Industry Group
ASQ	American Society for Quality
BUE	Built Up Edge
CEO	Chief Executive Office
CEP	Controlo Estatístico do Processo
COPQ	Costs of Poor Quality
CTS	Critical to Satisfaction
DMAIC	Define, Measure, Analyse, Improve e Control
DOE	Design Of Experiments
DPMO	Defects Per Million Opportunities
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
GE	General Electric
GM	General Motors
Huf	Hülsbeck & Fürst
ISO	International Organization of Standardization
KBD	Key Business Drivers
KPI	Key Performance Indicators
OEM	Original Equipment Manufactures
P&L	Profit and Loss
PDCA	Plan, Do, Check, Act
PIB	Produto Interno Bruto
PPM	Parts Per Million
PSA	Peugeot Société Anonyme
R&R	Repeatability and Reproducibility
SIPOC	Supplier, Input, Process, Output e Customer
SMART	Specific, Measurable, Attainable, Realistic e Time-bound
VDA	Verband der Automobilindustrie
VOC	Voice Of the Customer

1. História

Como disse, o historiador grego Heródoto, devemos “pensar o passado para compreender o presente e idealizar o futuro” (Bona e Klein, 2016). Não obstante, importa entender as origens do estado atual da conjuntura industrial. Em primeiro lugar, interessa referenciar que o primeiro grande passo, para o que hoje conhecemos como indústria fosse alcançado, deve-se à mecanização dos processos produtivos no virar do século XVIII, uma vez que até então grande parte da produção mundial era efetuada manualmente (A era do artesanato).

No que toca às diferentes etapas da história industrial podemos aferir que houve quatro fases distintas, sendo que, todas as revoluções ocorridas tiveram características ou âmbitos diferentes, que marcaram para sempre aquela fase da história mundial. Nos pontos seguintes podemos verificar alguns dos aspetos que definiram estas etapas da evolução industrial.

- 1ª Revolução Industrial;
 - Mecanização dos processos produtivos até então manuais;
 - Primeiros equipamentos movidos a vapor e combustão;
- 2ª Revolução Industrial;
 - Produção em economias de escalas ou produção em massa;
 - Linhas de montagem movidas a petróleo e eletricidade;
 - Primeiros estudos do trabalho;
- 3ª Revolução Industrial;
 - Automatização dos processos produtivos;
 - Desenvolvimento das tecnologias na área da robótica, informática, eletrónica e telecomunicações;
 - Processos com foco no cliente;
- 4ª Revolução Industrial;
 - Produção inteligente;
 - Sistemas cibernéticos capazes de comunicar entre si e com humanos;

A humanidade conhece a sua primeira tecnologia de fabrico há 2,6 milhões de anos atrás, o corte (Roser, 2016). Processo produtivo este que, atualmente, ainda é alvo de estudo, como processo integrante das diversas indústrias. Os processos de corte podem-se encontrar nas mais variadíssimas formas, as suas variantes vão desde a fresagem, à furação, ao torneamento, a eletroerosão, etc.

1 - História

A metodologia *six sigma*, como conhecemos hoje, deve-se a inúmeros acontecimentos na história, várias foram as contribuições para o seu desenvolvimento, desde as áreas das matemáticas e estatísticas, às áreas da qualidade e melhoria contínua. Surge em 1986, na Motorola, por feito de Bill Smith, mas a ferramenta ganha o seu devido reconhecimento em 1995, na General Eletric (GE), graças ao seu CEO (*Chief Executive Office*¹) Jack Welch.

Nos dias que correm, surge já com algum impacto, a nova metodologia *lean six sigma*, com a sua primeira aparição em 2000, a junção entre o *lean* e o *six sigma* tem despertado a atenção de alguns investigadores e empresas, principalmente, pelo facto de ter um carácter mais prático e de rápida implementação que o *six sigma*.

É de referenciar, que a indústria nos últimos 150 anos tenha sofrido três revoluções industriais, embora que, a última ainda esteja numa fase transitória e seja inacessível à grande maioria das indústrias. Muitos foram os acontecimentos que potenciaram esta evolução exponencial, sendo que, como no passado, e agora no presente e certamente no futuro, a competitividade atinge níveis históricos, no qual nações, empresas e indivíduos se digladiam pelo alcance do sucesso económico, empresarial e individual.

Na figura que se segue (figura 1), podemos verificar alguns dos eventos e individualidades, que se fizeram valer para a atual condição da indústria. Interessa referir que apenas foram referenciados alguns, pelo que não se deve menosprezar muitos outros que participaram na evolução industrial e da humanidade.

¹ Diretor Executivo

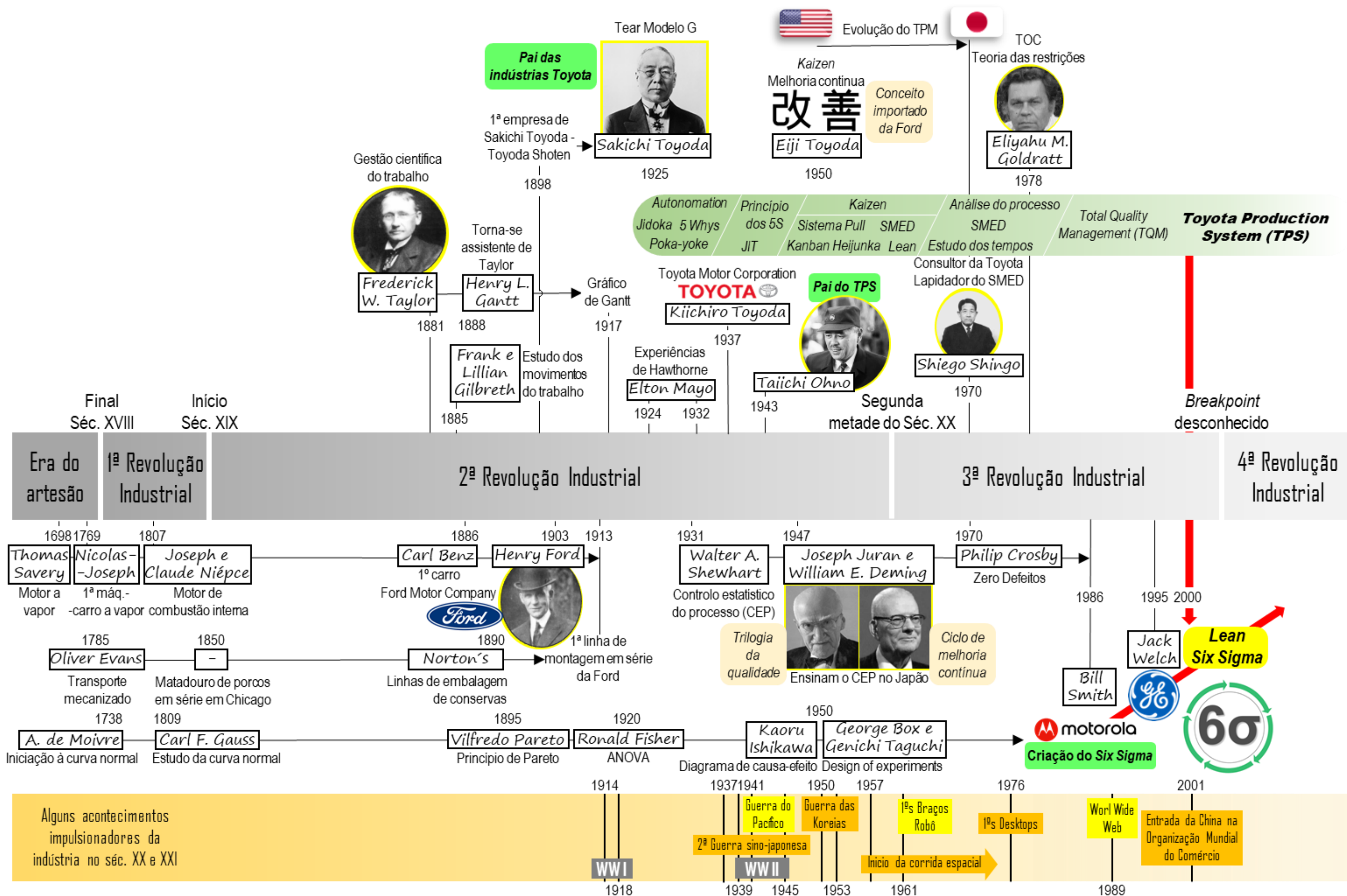


Figura 1 - Evolução da gestão industrial ao longo dos tempos. Fonte: Própria

2. Introdução

Na sociedade atual é possível observar uma crescente mundialização das trocas comerciais em resultado da abertura das economias aos mercados externos e do crescimento do comércio internacional, o qual se baseia na livre circulação. A internacionalização das transações comerciais aliada à globalização das atividades produtivas, dos mercados financeiros e da concorrência pelo domínio dos mercados e dos recursos leva a que o comércio de diferentes produtos atinja uma dimensão global.

De facto, ao longo dos últimos anos, o elevado consumo de bens transacionáveis é notório. Este consumismo crescente deriva em grande parte do aumento exponencial da população a nível mundial, e ainda ao aumento do poder de compra e da estabilidade económica que se faz sentir em diferentes zonas do planeta. A figura seguinte (figura 2) exhibe o anteriormente afirmado, pois a produção e comércio de veículos automóveis entre o período de 2000 a 2018 acompanha o crescimento global que se faz sentir nos últimos anos.

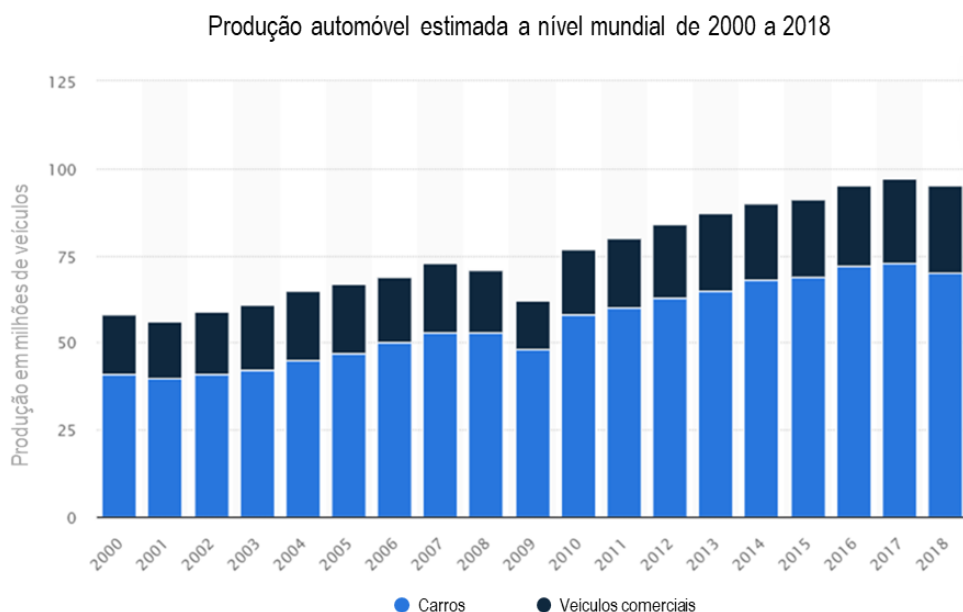


Figura 2 - Produção estimada de automóveis a nível mundial. Fonte: Wagner (2019)

O ramo automóvel, tal como a maioria dos outros setores, está à mercê das tendências e das variações que se fazem sentir nos diversos mercados. Na conjuntura atual os níveis de competitividade entre os produtores são elevados, pelo que a luta pela liderança se intensifica entre os diferentes concorrentes, uma vez que o objetivo último é o de maximizar a sua riqueza. Neste seguimento existem inúmeros fatores que influenciam a tomada de decisão do local de fixação dos construtores, nomeadamente, o custo e a qualificação da mão de obra, o avanço

2 - Introdução

tecnológico da região, entre outros. Esta reflexão leva a que, nos últimos anos as OEM's (*Original Equipment Manufacturer*)² se tenham deslocado cada vez mais para a China, um país que entrou no comércio mundial com grande impacto e que reúne uma vasta panóplia de requisitos que aliciam a instalação de gigantes agentes económicos. A Europa, outrora o grande centro de produção de veículos automóveis, tem perdido a sua preponderância face ao colosso asiático. Na figura 3 podemos verificar o fenómeno abordado anteriormente.

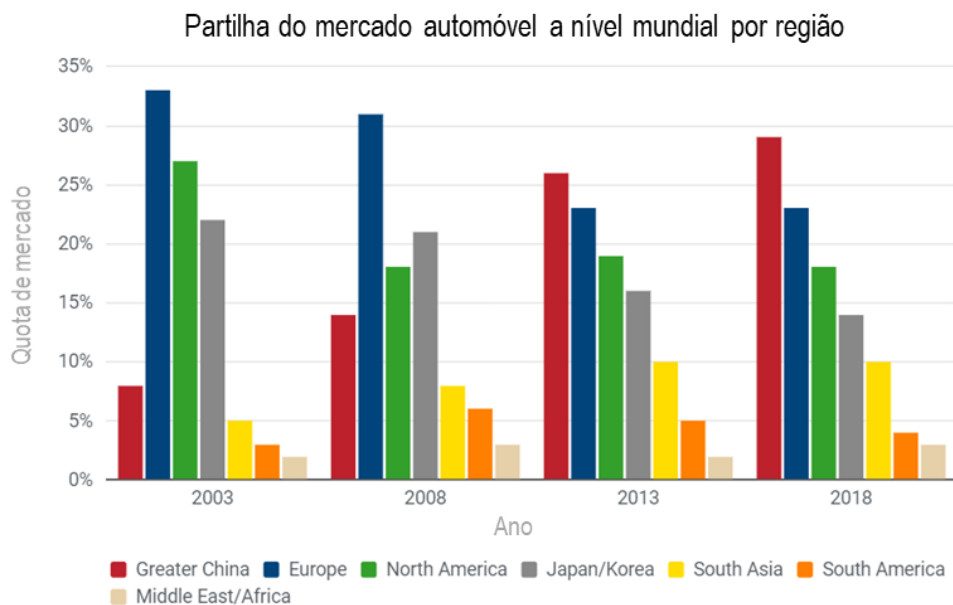


Figura 3 - Partilha do mercado automóvel a nível mundial por região. Fonte : IHS MARKIT, OICA (2019)

Importa ainda salientar que toda a cadeia de abastecimento tenta, nos dias de hoje, acompanhar o ritmo dos grandes produtores. Face a esta realidade, os fornecedores de componentes automóveis tendem a tornar-se mais competitivos para poderem lutar por um lugar no mercado internacional.

As projeções atuais dos mercados automobilistas têm uma tendência de decréscimo, o abalo que se fará sentir na economia global, deve-se aos acontecimentos negativos que se fizeram sentir na saúde pública mundial. A pandemia do covid-19 irá abalar fortemente a economia, o seu impacto já se faz sentir vigorosamente na Europa. Com o aumento da pobreza e a redução do poder de compra das famílias, os bens de primeira necessidade serão a prioridade, deste modo as vendas no mercado automóvel cairão abruptamente.

As empresas, no sentido de se manterem presentes no mercado e conseguirem satisfazer tanto os seus clientes como os seus *shareholders*³, têm de adotar cada vez mais estratégias

² Fabricante de Equipamentos Originais – Designação comum utilizada para apelar as construtoras automóveis.

³ Acionistas

2 - Introdução

diferenciadoras e inovadoras. Existem diversas formas de conseguir alcançar estes objetivos, porém a eliminação de atividades sem valor acrescentado e a otimização das atividades que realmente conferem valor ao produto, são imprescindíveis para que seja possível manter a competitividade. Desta forma é necessário adotar metodologias, ferramentas ou filosofias de trabalho focadas na otimização dos processos ou produtos.

Atualmente, as organizações de todos os setores de atividade estão sujeitas às diversas pressões do meio envolvente, pelo que o ramo automóvel não é exceção. Com o abrandamento da economia mundial as empresas da indústria de produção de componentes para automóveis tendem a adotar estratégias de redução de custos para ganhar vantagens competitivas em relação aos seus concorrentes. Sendo que, com os atuais eventos e com as perspetivas a apontarem para uma crise pior que em 2008, as organizações munem-se destas estratégias para poderem manter a sua força de trabalho e garantir a sua sobrevivência empresarial.

Não obstante o afirmado, o caminho a traçar deverá ter em conta a manutenção do valor no mercado da empresa, assim como os níveis de competitividade em que atualmente opera. O objetivo é reduzir gastos nas diversas rubricas, o qual não pode pôr em causa os atuais níveis de satisfação dos seus clientes, a fiabilidade do serviço e a qualidade dos produtos, para que assim seja assegurada uma maior competitividade no mercado.

Tal como o apresentado anteriormente o setor automóvel representa uma das indústrias transformadoras mais evoluídas e influentes a nível mundial com impacto direto em muitos outros ramos de atividade. Num mundo cada vez mais globalizado, este setor assume uma posição preponderante, cada vez mais vincada, tornando-se assim uma das referências da globalização. Ao longo dos últimos anos, observou-se uma intensificação do crescimento da indústria automóvel, o qual se aliou a uma expansão notória que por sua vez conduziu, inevitavelmente à evolução de toda a indústria associada, nomeadamente os produtores de componentes automóveis. As mudanças no decorrer das últimas décadas foram importantes para o desenvolvimento tecnológico e organizacional da atividade económica, sendo que neste ramo dos componentes, o crescimento acelerado e sustentável provém da necessidade de adaptação às exigências das construtoras automóveis.

De acordo com um relatório, publicado em novembro de 2019, pela AFIA (Associação de fabricantes para a indústria automóvel), o setor de componentes para automóveis assume particular destaque na economia portuguesa, pois é uma atividade que tem efeitos positivos não só ao nível do emprego, mas também em termos monetários e no retorno financeiro que mobiliza. Efetivamente, ao representar quase 1% da indústria transformadora, contempla um

2 - Introdução

conjunto de 240 empresas que emprega cerca de 58.000 trabalhadores. Para além do impacto social, este ramo ostenta um volume de negócios de sensivelmente 11,5 mil milhões de euros, quase 6% do PIB (Produto interno bruto) nacional e exporta aproximadamente 9,4 mil milhões de euros, o que se reflete em cerca de 16% da exportação dos bens transacionáveis. (AFIA, 2019)

A figura seguinte (figura 4) mostra a distribuição das diferentes unidades de produção pelo território nacional. É então possível concluir que é na zona norte e centro do país que se verifica uma maior presença deste tipo de empresas. Importa aqui referir que algumas empresas detêm mais do que uma unidade industrial.



Figura 4 - Localização geográfica das fábricas da indústria dos componentes automóveis em Portugal. Fonte: AFIA (2019)

Também as oscilações sentidas na média anual de trabalhadores da indústria de componentes automóvel deverão ser objeto de análise. Como se pode verificar no gráfico 1, é no ano de 2013 que se inicia um forte crescimento do número de trabalhadores alocados a este setor. No período de 2008 a 2013 registou-se um ligeiro decréscimo, o qual decorreu da forte crise económica que se fez sentir em Portugal neste mesmo período.

2 - Introdução

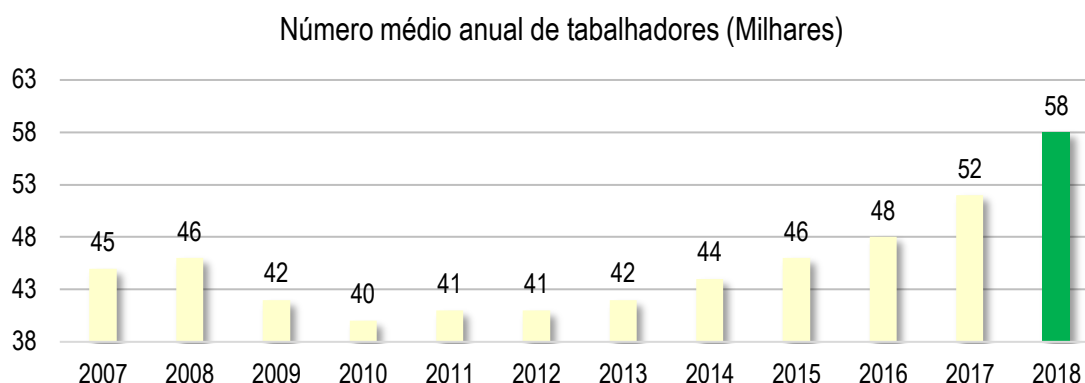


Gráfico 1 - Número médio anual de trabalhadores na indústria dos componentes automóveis. Fonte: AFIA (2019)

Quanto ao volume de negócios deste setor pelas diversas atividades que compila é de referir que a grande maioria das empresas se encontram concentradas na componente eletrónica e de metalurgia e metalomecânica. De acordo com o gráfico seguinte (gráfico 2), 33% das organizações estão direcionadas para a metalurgia e metalomecânica e 29% encontram-se vocacionados na componente eletrónica. Salienta-se assim que estes dois ramos da atividade geram um volume de negócios superior a 50% da atividade desenvolvida.

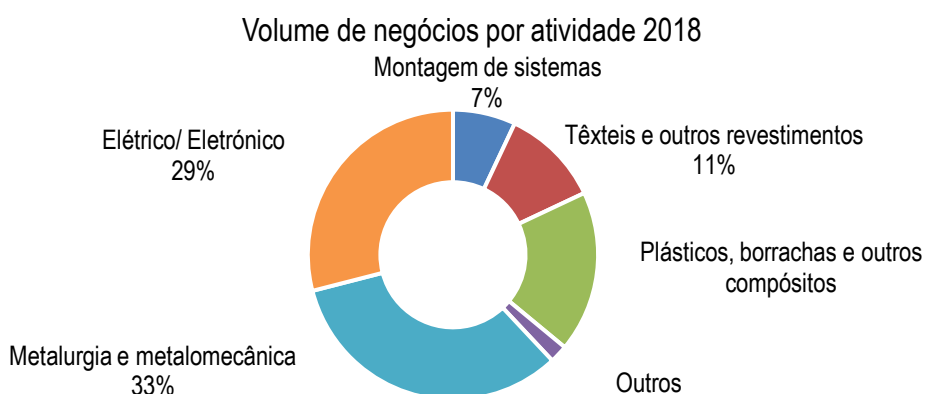


Gráfico 2 - Volume de negócios por atividade da indústria dos componentes automóveis em 2018. Fonte: AFIA (2019)

Em termos concretos e por analogia ao referido a empresa Huf Portuguesa situa-se na montagem de sistemas, no elétrico e eletrónico, e no ramo dos plásticos, borrachas e outros compósitos.

A Huf Portuguesa é resultado do fenómeno da globalização, pois trata-se de uma ramificação do grupo Huf, uma organização com origem alemã criada por Ernst Hülsbeck e August Fürst e que possui sede em Velbert. Fundada em 1908, esta empresa tem-se empenhado em crescer de forma sustentável, contando hoje com cerca de 10.000 funcionários. (Huf Group, 2019)

2 - Introdução

Quase 85 anos depois, é criada, em 1991, a Huf Portuguesa, uma empresa que detém uma área produtiva de sensivelmente 5814 m², localizada na zona industrial da Adiça, no concelho de Tondela, o *core business*⁴ da empresa é a produção de componentes como fechaduras (*locksets*), chaves (*keys*), sistemas de bloqueio de direção (*steering column lock*), puxadores das portas (*door handles*) e câmaras traseiras (*tailgate emblem handles with rear view camera*) para automóveis ligeiros e alguns pesados.

A Huf Portuguesa foi o quarto investimento estrangeiro da Huf e a primeira empresa do grupo a produzir sistemas de fechaduras para o mercado francês - cliente PSA (Peugeot *société anonyme*⁵) (Huf Portuguesa, 2017). Em termos produtivos, os primeiros componentes fabricados foram sistemas de fechaduras para a Ford e GM (General Motors), seguindo-se o fornecimento de componentes para os modelos da Autoeuropa. Em 2002 é adjudicado à Huf Portuguesa um novo conceito de chaves o que originou a implementação da primeira linha de eletrónica (Huf Portuguesa, 2017).

Face à estratégia de redução de custos que a Huf Portuguesa quer implementar, proveniente de diretrizes do grupo Huf o *six sigma surge*, como um instrumento para aumentar a competitividade em relação à concorrência e assim manter a sua posição no mercado.

Face ao exposto, um dos campos de intervenção onde a estratégia *six sigma* pode operar é o das ferramentas de desgaste rápido. O elevado consumo deste tipo de ferramentas levou à necessidade de realização de estudo aprimorado do processo com o intuito de aumentar o tempo de vida útil das mesmas, as quais são utilizadas nos processos de corte por arranque de aparas. As ferramentas de fresagem surgem como o maior gasto nesta rubrica das ferramentas de desgaste rápido, daí a sua importância para a redução de custos.

2.1 Objetivos da dissertação

O trabalho terá como foco principal demonstrar a aplicabilidade prática da metodologia *six sigma* no meio empresarial. Neste sentido será aplicada a metodologia a várias linhas de montagem da empresa, sendo que uma das linhas analisadas terá o cariz de projeto piloto. O que daqui resultar positivo e vantajoso será replicado nas outras linhas de montagem. O que se pretende é avaliar os critérios de rejeição das ferramentas e otimizar os processos de fresagem e assim aumentar a durabilidade das ferramentas de corte.

⁴ Negócio principal

⁵ Peugeot sociedade anónima

2 - Introdução

A presente dissertação também terá como propósito o enquadramento e o estudo da implementação de métodos de melhoria dos processos com vista à melhoria contínua da organização. Os benefícios esperados das medidas propostas e implementadas também são parte integrante dos objetivos deste trabalho.

2.2 Metodologia

Este trabalho segue duas vertentes uma de cariz teórico e outra de cariz prático. Na vertente teórica deste trabalho será efetuada uma revisão bibliográfica com base em livros e artigos publicados no âmbito da gestão industrial, sendo que a maioria está relacionada com a metodologia *six sigma* e processos de corte por arranque de apara.

O trabalho desenvolvido no terreno será realizado com o suporte técnico adequado, pelo que serão utilizadas as ferramentas disponíveis para a sua realização, como o Microsoft Excel®, Word®, Access®, Project®, o Minitab®, entre outros, nomeadamente instrumentos de medição.

2 - Introdução

ESTADO DA ARTE

3. Six Sigma

Quando um problema se edifica, é necessário traçar um objetivo, definir uma estratégia e seguir ao encontro de uma solução. Neste contexto surge o *six sigma*, um método de resolução de problemas que, ao focar-se na eliminação dos desperdícios existentes nos processos, permite obter uma redução de custos e um aumento da satisfação dos clientes. Para Brue (2006, p. 5), o *six sigma* é uma metodologia “de resolução de problemas que utiliza dados, medições e estatística para identificar os fatores *vital few*⁶ que diminuirão drasticamente o desperdício e os defeitos”, de modo a que seja possível aumentar os resultados finais, a satisfação do cliente, o lucro e o valor para os acionistas.

Como se pode ver na figura 5, num processo de melhoria *six sigma* importa desde logo identificar os fatores *vital few*. A redução da variação apenas surtirá mais efeito quando as principais causas dos problemas forem atenuadas ou eliminadas, isto porque os outputs Y(s) surgem em função dos inputs do processo X(s). Assim sendo, o Y surge como função do X, $Y=f(X)$, para representar a ideia de que qualquer output é função da soma dos fatores de entrada do processo (X(s)).

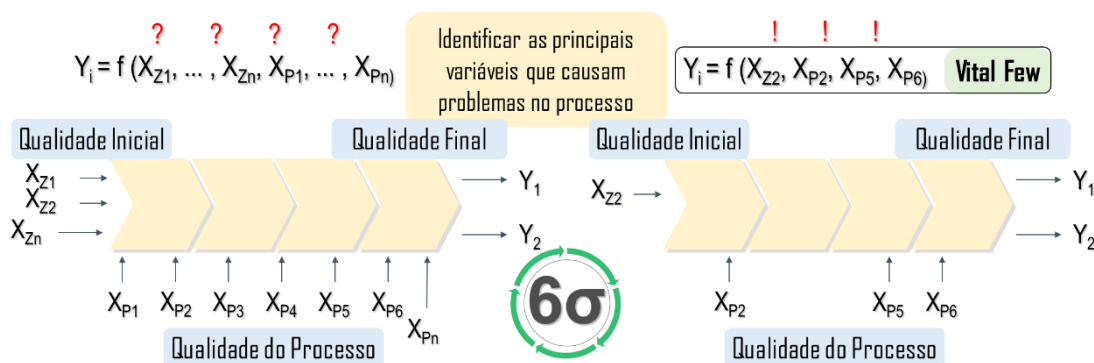


Figura 5 - Fatores influenciadores do processo. Fonte: Própria e adaptado documentação interna (Huf Portuguesa)

O *six sigma* é uma filosofia de melhoria baseada nos dados do processo. De facto, uma das medidas importantes desta estratégia, e como o próprio nome indica, o sigma (σ) é uma letra que provém do alfabeto grego e que atualmente é utilizada na estatística para medir a variabilidade de um processo, neste caso em concreto o desvio padrão. Neste seguimento, o seis

⁶ Refere-se aos eventos que causam mais problemas no processo.

deriva do número de desvios padrão existentes entre o centro e os limites de especificação do processo numa curva com distribuição normal (ver figura 6).

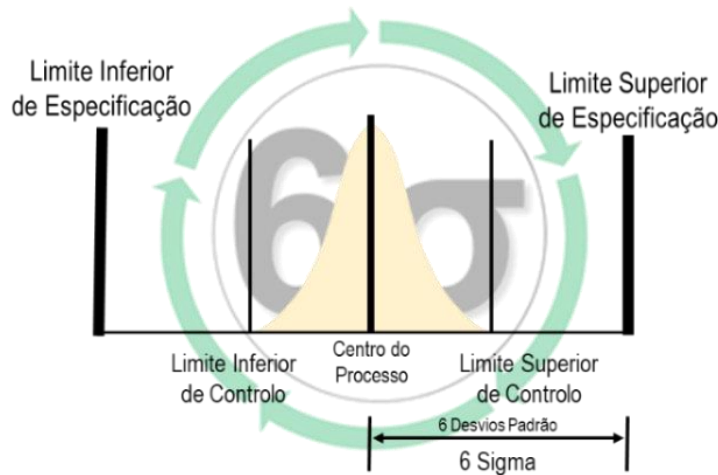


Figura 6 - Curva de distribuição normal ou de Gauss. Fonte: Adaptado ASQ India (sem data)

No âmbito do *six sigma*, uma metodologia que procura solucionar problemas, um dos pontos essenciais reside, na maioria das vezes, em quantificar o número de defeitos gerados pelo processo. Ao efetuar esta medição do número de defeitos é possível, de forma sistemática, descobrir como eliminá-los e alcançar um valor ideal de zero defeitos. Um processo de nível *six sigma* (6σ) é caracterizado por um número de 3,4 defeitos por milhão de oportunidades. Na figura que se segue (figura 7), a zona pintada a vermelho, espaço que se encontra fora dos limites de especificação, representa a quantidade de defeitos por milhão de oportunidades na curva de Gauss.

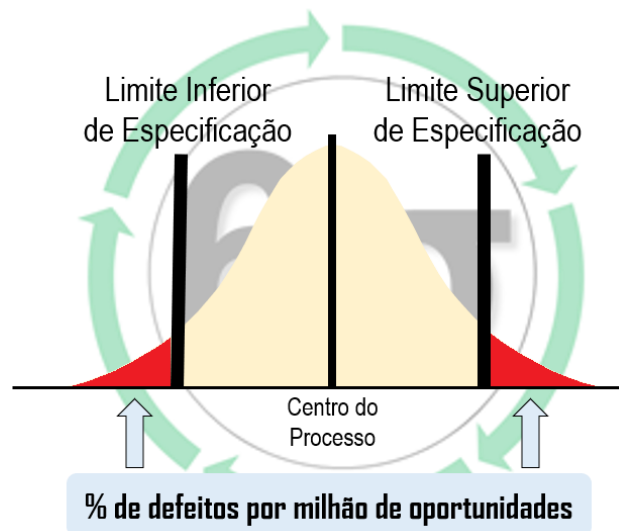


Figura 7 - DPMO numa curva de Gauss. Fonte: Própria

O rácio entre o número de não conformidades existentes num processo e o total de oportunidades observadas num grupo em particular define-se como defeito por oportunidade.

Stamatis (2002, p. 96) refere que as oportunidades devem estar relacionadas com os requisitos das características críticas de qualidade. Segundo o autor, os defeitos por milhão de oportunidades (DPMO) são “a medida clássica da metodologia *six sigma*, ao qual indica quantos defeitos podiam surgir se houvesse um milhão de oportunidades”. Como se pode verificar na tabela abaixo (tabela 1), para cada valor do nível sigma existe um DPMO e um rendimento do processo associado.

Tabela 1 - Valores do DPMO e RP para cada nível sigma. Fonte: Adaptado de George (2002)

Nível Sigma	Defeitos por milhão de oportunidades (DPMO)	Rendimento do Processo
6	3,4	99,9997%
5	233	99,977%
4	6.210	99,379%
3	66.807	93,32%
2	308.537	69,2%
1	690.000	31%

Para George (2002, p. 16) o defeito por milhão de oportunidades “é uma unidade de medida importante do *six sigma*, porque permite comparar a *capability*⁷ de diferentes tipos de processos.” Assim, torna-se possível comparar processos simples com processos mais complexos.

- Importância do *six sigma* nos resultados

Embora os processos produzam uma quantidade determinada de defeitos, a metodologia *six sigma* atua também na redução de certos tipos de custos. Face ao exposto para ambas as vertentes é essencial realizar-se uma análise de custo benefício às propostas de melhoria. Como se pode verificar na figura 8, Pyzdek (2003) demonstra a comparação entre a evolução dos benefícios e os custos de implementação das melhorias provenientes da metodologia *six sigma* na GE, ao longo de quatro anos. Importa referir que no ano em que esta filosofia de melhoria foi posta em prática (1996), os custos de implementação foram ligeiramente superiores à poupança alcançada (ver figura 8).

⁷ Capacidade do nosso processo

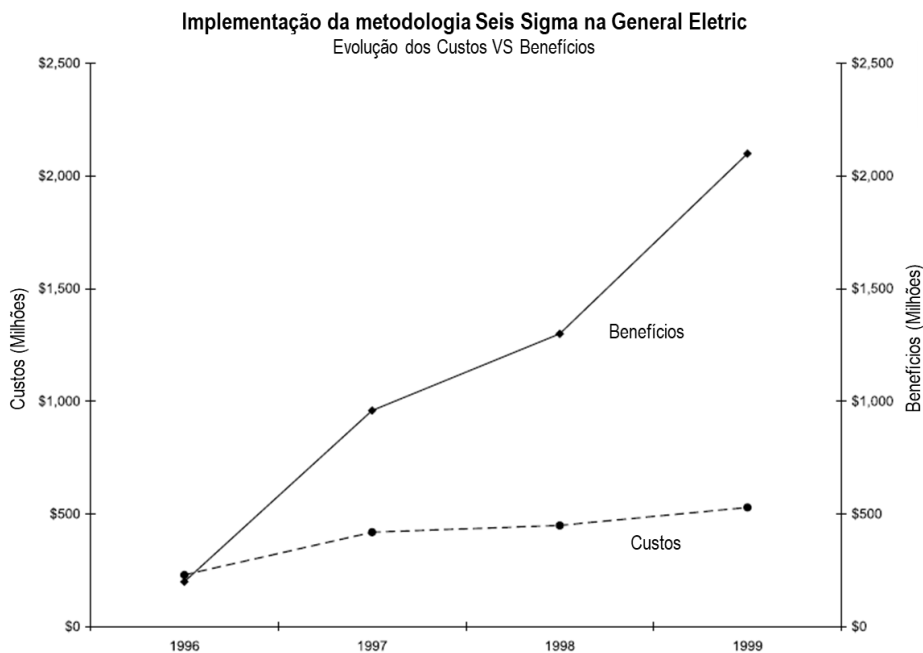


Figura 8 - Implementação do *six sigma* na General Eletric. Fonte: Pyzdek (2003)

Nas organizações, os projetos de melhoria contínua devem estar sempre relacionados com os resultados, pois o lucro vai ser o reflexo do bom desempenho das ferramentas empregues na extinção dos desperdícios. George (2002) afirma que, nas empresas, as grande fontes para obter redução de custos são os materiais, as despesas gerais de fabrico e os custos de qualidade. Na figura abaixo (figura 9), pode-se identificar qual o impacto da redução destes três fatores no resultado operacional, mantendo-se inalterado o valor das vendas. Os ganhos aqui apresentados podem ser potenciados com o uso da estratégia em análise.

	% sobre as Vendas		% sobre o Custo Redução
	Atual	Futuro	
Vendas	100%	100.0%	
Custos diretos			
Material	30%	28.5%	5%
Trabalho	10%	10.0%	0%
FSE + Qualidade	25%	20.0%	20%
Custo mercadorias vendidas	65%	58.5%	12%
Margem Bruta	35%	41.5%	
G&A	10%	10.0%	0%
Marketing	10%	10.0%	0%
-			
Outros	5%	5.0%	0%
Resultado Operacional	10%	16.5%	

Figura 9 - Resultado operacional antes e depois de aplicada uma estratégia *six sigma*. Fonte: George (2002)

É fundamental referir que, no *six sigma*, os bons resultados são incrementados pelo aumento da estabilidade e da capacidade de um processo. De facto, a metodologia é hoje uma das mais utilizadas na melhoria dos processos, devido à sua precisão e aptidão para avaliar dados e obter resultados. Como se verifica na figura 10, para que o objetivo possa ser alcançado, é crucial ter o processo centrado e uma dispersão reduzida.

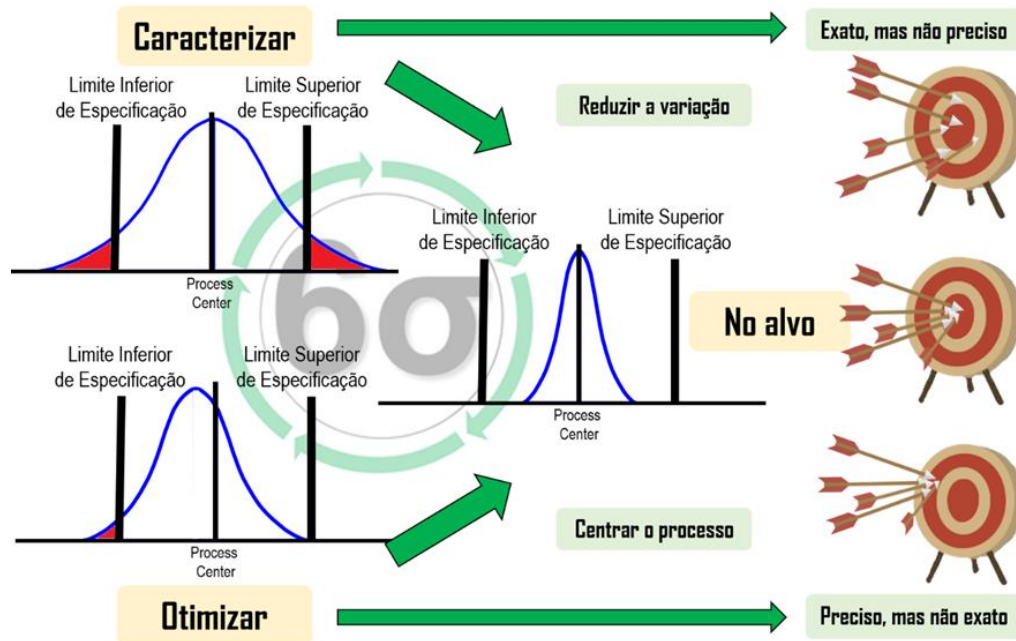


Figura 10 - Influência da metodologia *six sigma* numa curva de distribuição normal. Fonte: Própria

- Considerações a ter sobre o *six sigma*

Em termos de benefícios para a organização, esta filosofia de resolução de problemas pode potenciar os seguintes aspetos, a saber:

- Redução dos custos de não qualidade;
- Aumento da satisfação dos clientes;
- Aumento da produtividade;
- Melhoria nos resultados líquidos;
- Aumento da competitividade;
- Redução da variação dos processos.

Atualmente, apesar das vantagens desta metodologia e do nível de conhecimento existente na indústria e nos serviços, algumas organizações acreditam que o *six sigma* tem alguns contras acerca da sua implementação. Segundo Brue (2006) as principais causas de reticência dos líderes das empresas é:

- A metodologia aplica-se apenas a grandes empresas;
- É necessário um consultor para implementar a ferramenta;

- As técnicas estatísticas utilizadas são muito complexas;
- O *six sigma* não realiza *savings* reais.

Na metodologia *six sigma* é feito uso da ferramenta **DMAIC** (Definir-*Define*/ Medir-*Measure*/ Analisar-*Analyse*/ Melhorar-*Improve*/ Controlar-*Control*), que é um ciclo de melhoria contínua dos processos existentes que mostra as etapas que são necessárias seguir para uma simples e lógica resolução dos problemas. O ciclo DMAIC é um instrumento de eleição no *six sigma*, devido ao facto de ser uma metodologia estruturada. O uso sistemático, disciplinado e correto deste processo possibilita que sejam atingidos os objetivos dos projetos de melhoria.

A figura seguinte (figura 11), ao refletir uma ligação dinâmica entre as cinco etapas chave do ciclo DMAIC, mostra que a rigidez do ciclo pode ser quebrada sem comprometer a disciplina intrínseca à ferramenta, pois a relação entre as fases assinaladas não é estática.

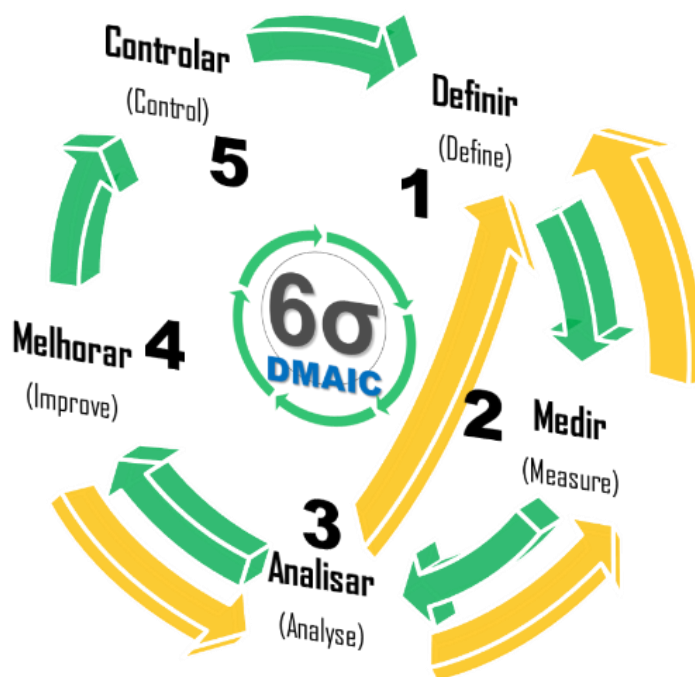


Figura 11 - Ciclo DMAIC. Fonte: Própria e adaptado de Eckes (2003)

A norma ISO 13053-1 (2011, p. 18) referencia que as “três primeiras fases devem ser repetidas até que a definição do projeto esteja de acordo com a informação proveniente dos dados”. Todavia existem outros autores, como Eckes (2003) que defende uma outra interação entre a terceira e quarta fase do ciclo.

Um processo de resolução de problemas pode conter inúmeras etapas. No *six sigma*, com a utilização da ferramenta DMAIC, pretende-se seguir um padrão rigoroso de análise onde a lógica subliminar a este modo de pensar é a de qualquer projeto de melhoria. O enquadramento

deste instrumento de melhoria contínua com o ciclo de Deming ou PDCA (Planear-Plan/ Executar-Do/ Verificar-Check/ Atuar-Act) encontra-se revelado na figura 12. Tal como está representado na imagem (figura 12), a fase de planeamento (Planear), é a mais morosa e trabalhosa do ciclo, apenas depois de terminada é que podemos passar à execução/ implementação (Executar) das melhorias, que foram construídas com base na causa raiz do problema definido. De acordo com Juran e Godfrey (1999), o que foi proposto por Deming em 1986, foi a repetição destas duas etapas planear e executar, até ser possível observar (Verificar) alterações significativas no processo e assim deste modo agir (Atuar) perante os resultados encontrados.

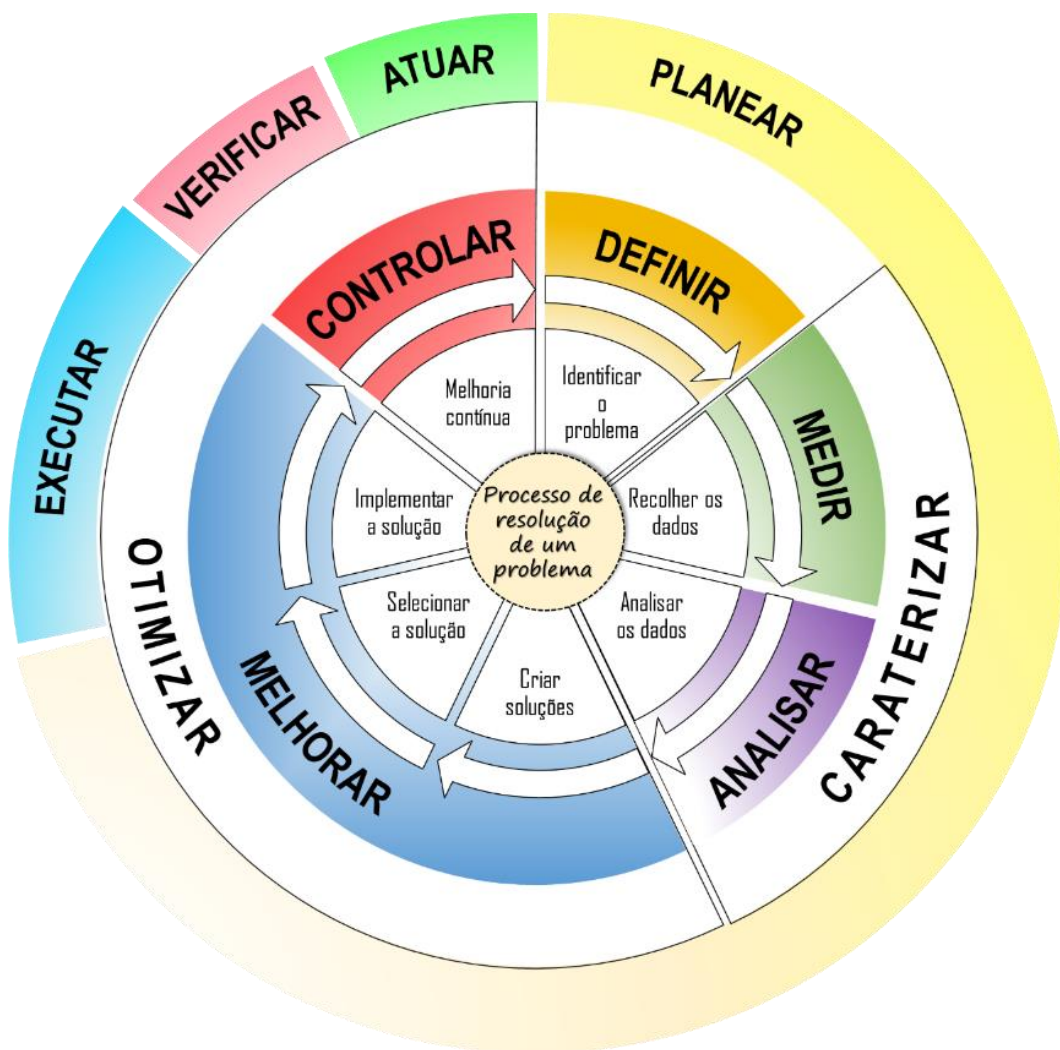


Figura 12 - Processo de resolução de um problema e ligação com ciclo de Deming. Fonte: Própria e adaptado de Werkema (2012)

3.1 Definir

Um projeto *six sigma* começa com a **definição** do âmbito do projeto (figura 13). Sendo que esta fase, ao contrário do senso comum, não é a de menor importância. A definição correta de um projeto de melhoria tem como objetivo compreender o problema em causa e o processo, assim como os requisitos do cliente em função dos outputs do processo.

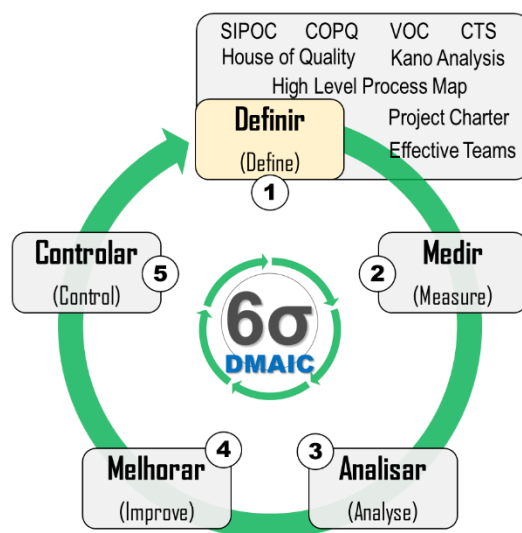


Figura 13 - Fase de definição no ciclo DMAIC. Fonte: própria

Segundo McClusky (2000), na primeira etapa da ferramenta DMAIC um projeto de melhoria deve estabelecer os limites do projeto, o início e o fim, definir os objetivos com exatidão e identificar os requisitos e exigências do cliente e as suas expectativas.

Esta etapa culmina em pontos essenciais no desenvolvimento do projeto tais como a definição dos objetivos, das restrições e dos recursos a serem utilizados assim como a criação da equipa *six sigma*, o estabelecimento de prazos e a atribuição de responsabilidades, entre outros aspetos (Pyzdek, 2003). No início de um projeto a fase de definição tem como objetivo justificar o porquê do problema antes de se investir tempo e dinheiro. Efetivamente, os *shareholders*⁸ procuram a melhoria contínua dos processos tendo por base os benefícios monetários esperados, enquanto que os *stakeholders*⁹ focam-se na satisfação de outras necessidades além da poupança, pelo que a etapa de definição ajuda a clarificar ambas as partes, de acordo com os ganhos esperados em função dos esforços a serem despendidos.

Num projeto *six sigma*, o(s) líder(es) do projeto podem utilizar as mais diversificadas ferramentas para a definição do mesmo. Nas cinco etapas identificadas na figura abaixo (figura

⁸ Acionistas

⁹ Parte interessada (Cliente, fornecedores, parceiros, comunidade...)

14) é sugerida uma panóplia de instrumentos de apoio à correta definição de um projeto *six sigma*.

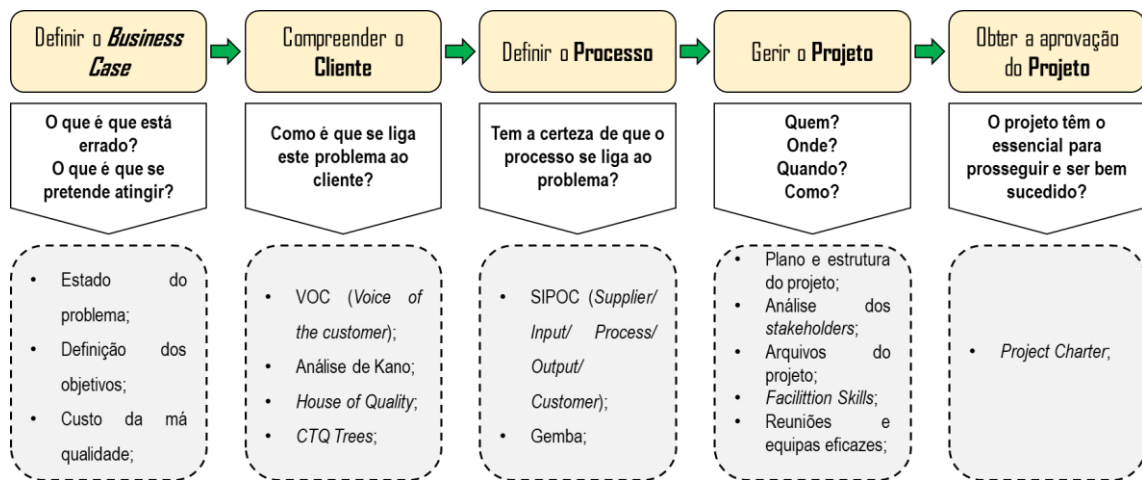


Figura 14 - Processo de definição de um projeto *six sigma*. Fonte: Brook (2014)

Numa metodologia de resolução de problemas, a definição do problema consiste na demonstração mais precisa da situação atual de um processo, tanto nos serviços como na produção de bens, pelo que é fundamental expor-se o problema em questão. Neste ponto deve-se abordar qual a frequência e o impacto que este tem na empresa. Um estado do problema bem executado deve ser preciso e sucinto, sendo que o âmbito do projeto pode estar referenciado e a linguagem técnica deve ser evitada.

Segundo Gygi et al. (sem data), o estado do problema deve conter um resumo do problema, a métrica utilizada para descrever o problema, o nome e local do processo, o espaço temporal e a magnitude do problema.

Após a definição do estado do problema surgem os objetivos, a definição de um objetivo é importante para qualquer tipo de projeto, os objetivos num projeto *six sigma* devem ser sintéticos, normalmente, é utilizada a métrica do estado do problema ou dos CTS (*critical to satisfaction*¹⁰) para definir os objetivos. Os objetivos são fundamentais, pois estes mantêm o foco na resolução do problema, assim como só será possível perceber o progresso do projeto quando o objetivo estiver traçado. De acordo com Snee e Hoerl (2003), num projeto *six sigma* deve ser usado um conjunto de métricas para definir os objetivos e monitorizar o progresso do projeto.

Por vezes os objetivos são alvo de uma certa ambiguidade na sua verdadeira definição, para combater esta problemática a metodologia SMART (*Específico-Specific/ Mensurável-*

¹⁰ Crítico para a satisfação

Measurable/ Atingível-Attainable/ Realista-Realistic/ Definido no tempo-Time-bound) que é muito útil para uma correta criação de objetivos (ver figura 15).

Objetivos	
S	Específico <i>(Specific)</i> Os objetivos devem ser formulados de forma específica e precisa;
M	Mensurável <i>(Measurable)</i> Os objetivos devem ser definidos de forma a poderem ser medidos e analisados em termos de valores ou volumes;
A	Atingível <i>(Attainable)</i> A possibilidade de concretização dos objetivos deve estar presente, estes devem ser alcançáveis;
R	Realista <i>(Realistic)</i> Os objetivos não pretendem alcançar fins superiores aos que os meios permitem;
T	Definido no tempo <i>(Time-bound)</i> Os objetivos devem ser definidos em termos de duração.

Figura 15 - Método de definição de objetivos (SMART). Fonte: Adaptado de Gestão (2010)

Durante a fase de definição pode não ser possível estimar um valor correto para os objetivos do projeto, contudo o essencial é definir um valor para mais tarde ser revisto. Na maioria das vezes os objetivos são traçados com base na poupança expectável na melhoria de um problema, o que se pretende é obter o máximo de benefício com a redução do custo associado ao problema. Na indústria, um dos custos mais comuns são os da não qualidade, os COPQ (*costs of poor quality*¹¹).

De acordo com Brue (2006) os recursos gastos em atividades não produtivas e sem valor acrescentado, “como corrigir um problema para um cliente após a entrega do produto. Também é conhecido como ‘o custo de fazer errado’”. A melhoria provém do dinheiro que se poupa na não prática de atividades sem qualquer valor acrescentado, isto é, na eliminação do chamado desperdício. Numa indústria os desperdícios encontram-se nas suas mais variadas formas, na figura seguinte (figura 16) podemos ver os grandes tipos de desperdícios que ocorrem nas empresas.



Figura 16 - Os 8 desperdícios da indústria. Fonte: Adaptado de *The 8 Wastes of Lean Poster* (sem data)

¹¹ Custos de má qualidade

O projeto *six sigma* deve estar focado em atividades que realmente tragam benefícios para a organização, o projeto deve ter sempre *cost savings*¹² associados. Os projetos de melhoria na sua grande maioria focam-se na eliminação de atividades que tem custos associados e sem valor acrescentado para os seus clientes, como *downtimes*¹³, recuperações, seleções, movimentação de materiais, etc. Segundo Snee e Hoerl (2003), a maioria dos *cost savings* provém da redução dos desperdícios presentes numa organização.

Contudo, as atividades com valor acrescentado também podem ser alvo de projetos *six sigma*, a otimização destas irá melhorar o produto ou serviço que é fornecido ao seu cliente, assim como também podem aumentar os resultados das organizações (ver figura 17). De acordo com o autor referido anteriormente, a combinação entre este tipo de *savings* é muito benéfica para qualquer empresa.



Figura 17 - Classificação das atividades na indústria. Fonte: Fonte própria e adaptado de Huf Portuguesa (sem data)

Num projeto *six sigma* os *cost savings* podem estar divididos em dois tipos, os *hard* e os *soft savings*. Os *hard savings* são todos e quaisquer benefícios que permitem praticar um volume de negócios igual ou superior com os recursos existentes ou inferiores, pelo que os *savings* deste tipo podem ser medidos financeiramente. Como afere Kubiak (2012), os *soft savings* são os benefícios que não têm impacto direto no *Profit and Loss*¹⁴ (P&L) de uma empresa. Embora não sejam possíveis de quantificar estes não devem ser desprezados. Na figura que se segue (figura 18) podemos ver alguns exemplos de *cost savings*.

¹² Poupança de custos

¹³ Paragens

¹⁴ Demonstração de resultados

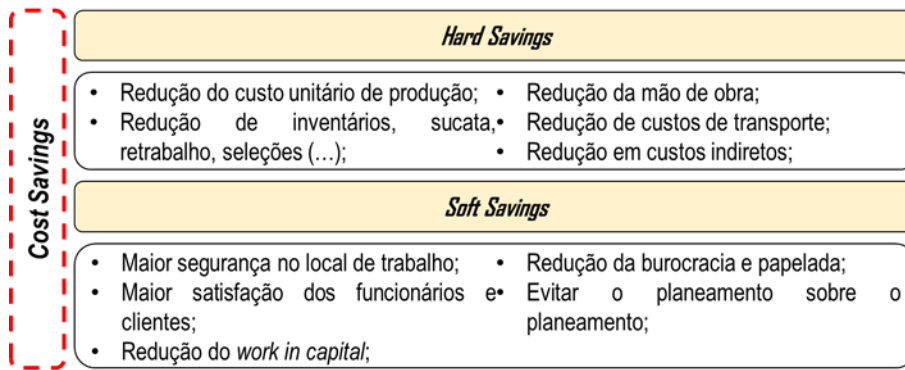


Figura 18 - Tipos de *cost savings*. Fonte: Adaptado de isixsigma (sem data)

Para uma melhor compreensão das atividades sem valor acrescentado ou dos problemas que ocorrem numa organização deve-se realizar uma análise às necessidades dos nossos clientes. No entanto, um cliente pode assumir diversas facetas, uma vez que tanto pode ser um trabalhador da empresa, como distribuidor ou até mesmo consumidor final. Os clientes internos e externos são diferentes entre si em alguns aspetos (ver figura 19).



Figura 19 - Diferentes tipo de clientes numa organização. Fonte: Adaptado de Harold (2018) e Evans (2018)

“A voz do cliente é a voz, expectativas, preferências, comentários do cliente (...) É a declaração feita pelo cliente sobre um produto ou serviço específico.” (Evans, 2018). O VOC (*Voice of the customer*¹⁵) é a tradução do processo nas necessidades do cliente através de métricas ou fatores críticos de satisfação/ qualidade. Por vezes é necessário explicar o porquê das necessidades do cliente, sendo que para a obtenção desta informação são utilizados os *drivers*¹⁶.

¹⁵ Voz do cliente

¹⁶ Aquilo que está por de trás das necessidades do cliente

De acordo com Brue (2006) é fundamental perceber quais as necessidades do cliente, pelo que se deve tentar perceber quais são as variáveis críticas que afetam a sua satisfação, as CTS podem abranger uma diversidade de variáveis que influenciam o resultado desejado. A figura 20 espelha algumas das variáveis mais comuns, sendo que uma das características das CTS é que na maioria dos casos são possíveis de medir quantitativamente.

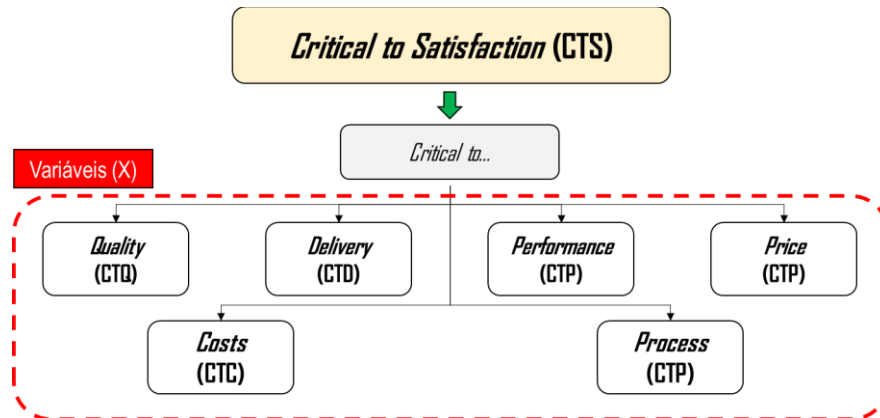


Figura 20 - Fatores críticos para a satisfação do cliente (CTS). Fonte: Própria e adaptado de Gygi et al. (2005)

Desta forma, a matriz da voz do cliente torna-se importante para um projeto de melhoria, pois só assim, com o verdadeiro conhecimento das necessidades e expectativas do cliente se podem melhorar os nossos processos, produtos ou serviços. Na figura que se segue (figura 21) podemos ver através do exemplo, qual a utilidade de uma matriz deste tipo.

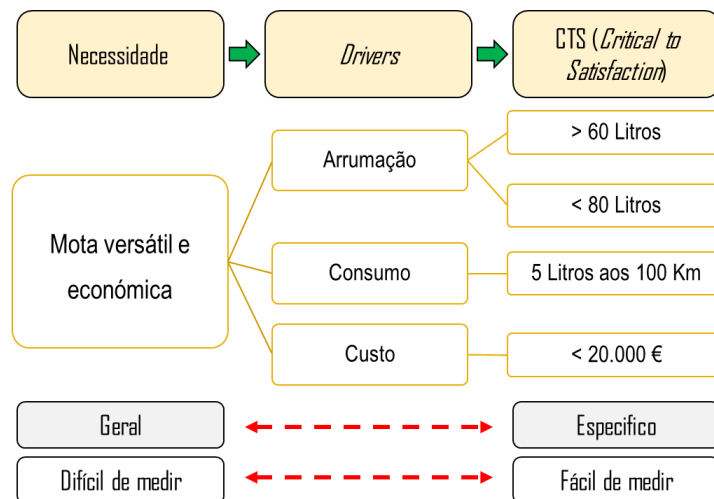


Figura 21 - Matriz da voz do cliente (VOC). Fonte: Própria e adaptado de Huf Portuguesa (sem data)

O mapeamento do processo é fundamental para descrever as tarefas e em alguns casos, colocar objetivos em cada etapa do processo, assim como detalhar a forma de atingir as metas traçadas. O SIPOC (Fornecedor-Supplier/ Entrada-Input/ Processo-Process/ Saída-Output/

Cliente-*Customer*) é um método muito eficaz para garantir que todos os membros da equipa estão alinhados no processo.

Conforme descrito por George (2003) “os defeitos podem estar relacionados a qualquer coisa que deixe o cliente insatisfeito”. A forma mais simples de entender e resolver os problemas é obter uma visão geral do processo desde o seu começo até ao seu término. O SIPOC é a ferramenta ideal para mapear o processo de uma maneira simples e eficaz (ver figura 22).

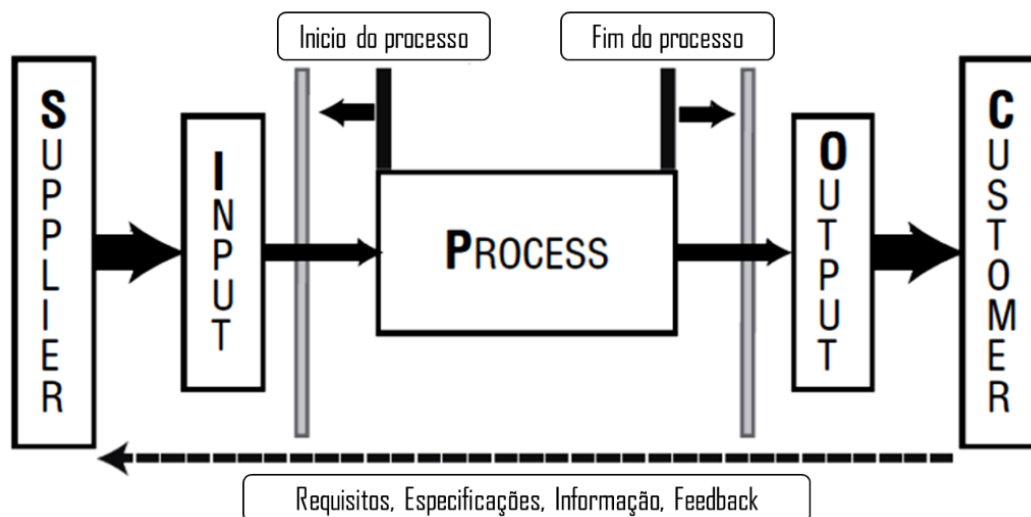


Figura 22 - SIPOC. Fonte: Adaptado de M. O. George (sem data)

Nesta primeira fase deve-se enquadrar toda a informação relevante num *project charter*¹⁷. A declaração de toda a informação do projeto num documento é essencial para o fácil alinhamento de toda a equipa e fundamentação do trabalho em curso. Deste modo, o *project charter* é imprescindível, pois este resulta na compilação de todo o esforço despendido para o começo de um projeto. De acordo com Tang et al. (2006), o *project charter* será utilizado para facilitar a comunicação e obter a aprovação por parte dos grupos de interesse na organização. Na figura 23 encontra-se demonstrado um exemplo de um *project charter*.

¹⁷ Síntese do projeto

Project Team Charter	
Black Belt Name:	Champion Name:
Project Start Date:	Project Location:
Projected Complete Date:	
Business Case:	
Problem Statement:	
Project Objective:	
Team Members:	
Stakeholders:	
Subject Matter Experts:	
Constraints/Assumptions:	
Scope Start Point:	
Scope Ending Point:	
Preliminary Plan: (attach to this form)	
Black Belt Signoff:	
Champion Signoff:	

Figura 23 - Project charter. Fonte: Brue (2006)

3.2 Medir

Depois de definido o projeto com o devido rigor e precisão, segue-se a fase de **medição**, a qual é essencial para o conhecimento do estado atual do processo (ver figura 24). De facto, a segunda etapa de um projeto *six sigma* assume uma forte relevância, visto que a informação recolhida será o guia para proporcionar a resolução do problema. No entanto, de acordo com Morgan e Jones (2016), interpretar o que aconteceu no passado também é importante para perceber se o problema em si é novo ou se já se tinha manifestado, sendo que no caso de já existir é fundamental entender o porquê da continuação da sua existência.

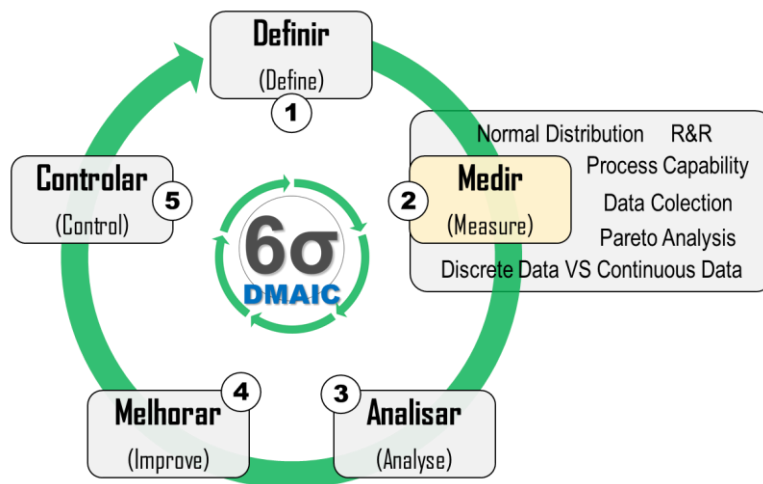


Figura 24 - Fase de medição no ciclo DMAIC. Fonte: própria

Para Pyzdek (2003, p. 277), a melhoria só começa quando a qualidade de um processo é quantificada, ou seja, “a medição é a *sine qua non*¹⁸ de qualquer ciência, incluindo gestão científica.” No *six sigma*, os dados tornam-se imprescindíveis uma vez que a variabilidade do processo só pode ser medida e otimizada com uma informação consistente e fidedigna. Conforme citado por Kumar et al. (2006) os “dados refletem a performance e fornecem conhecimento sobre um processo. Se a equipa quer avaliar a variação de um processo, será necessário recolher dados”. Nesta fase, a comprovação do sistema de medida é fundamental, porque todo o trabalho realizado vai ter como base os dados recolhidos (ver figura 25).

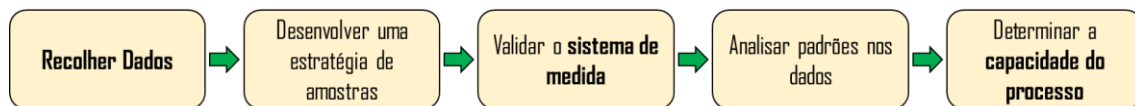


Figura 25 - Processo de medição de um projeto *six sigma*. Fonte: Adaptado de Huf Portuguesa (sem data)

Conforme o descrito no livro *Six Sigma: A Complete Step by Step Guide* (2018) os maiores desafios que as equipas *six sigma* enfrentam, sobretudo as que estão a iniciar, reside na decisão do que medir. Efetivamente, as equipas pouco experientes nestas matérias focam-se na recolha de informação que, por vezes, não permite obter qualquer resposta conclusiva nem pode ser utilizada no estudo do processo.

No *six sigma*, os dados recolhidos podem ser de dois tipos, contínuos (variáveis) ou discretos (atributos), sendo que a análise dos mesmos vai depender do tipo de dados utilizados. De acordo com Stamatis (2002), os dados variáveis definem-se como tudo aquilo que pode ser medido por um equipamento de medida de uma forma contínua, como por exemplo dimensões, forças, tempo, peso, entre outros. Por outro lado, os dados por atributos são todos aqueles que

¹⁸ Condição necessária

são medidos de uma forma qualitativa. Aqui o método mais frequente é a inspeção visual, no qual existe uma decisão humana sobre a conformidade do produto. A figura 26 exemplifica este fenómeno, no lado esquerdo da imagem podemos visualizar como se aprova o comprimento de um produto através de uma escala do género aceite/ não aceite e no lado direito através da medição do comprimento do objeto.

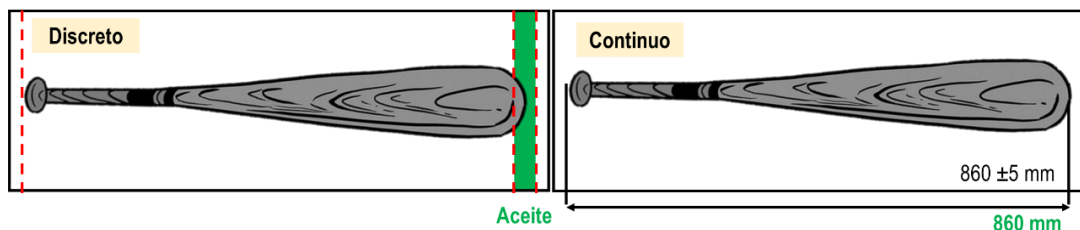


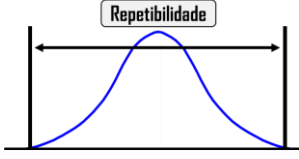
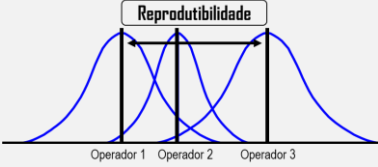
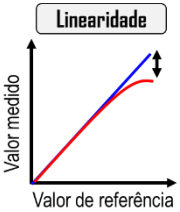
Figura 26 - Dados discretos e contínuos. Fonte: Própria

Como já foi referenciado os dados assumem particular importância para a metodologia *six sigma*, daí a sua validação ser necessária e imprescindível a este tipo de estudo. Esta aprovação tem como foco perceber se os dados recolhidos são válidos para os estudos estatísticos a serem realizados. Para isso é necessário tomar conhecimento das técnicas adequadas para o estudo do sistema de medida, de forma a analisar e minimizar a quantidade de variação em cada sistema de medição. Conforme mencionado por Montgomery (2013) “um sistema de medida ineficiente pode causar um grande impacto no desempenho do negócio, porque leva à tomada de decisão com base em informação errada”.

Importa referir que todos os sistemas de medição têm variação, nenhum sistema é perfeito. Aqui, o erro advém de cinco fatores, sendo eles a precisão, a repetibilidade, a reprodutibilidade, a estabilidade e a linearidade (ver tabela 2). Segundo Kubiak (2012) estes conceitos são essenciais para entender o sistema de medida.

Tabela 2 - Fatores influenciadores de um sistema de medição. Fonte: Adaptado de Huf Portuguesa (sem data)

Fator	Conceito	
Precisão	Diferença entre a média da medição observada e a média real dos itens medidos	
Estabilidade	Variação na média de pelo menos dois conjuntos de medições, obtida com um equipamento de medição em resultado do tempo, nas mesmas peças.	

Fator	Conceito	
Repetibilidade	Variação na medição obtida com um equipamento de calibragem, quando este é utilizado várias vezes por um operador ao medir características idênticas na mesma peça de amostra.	
Reprodutibilidade	Variação na média das medições feitas por diferentes operadores, utilizando o mesmo equipamento de calibragem ao medir características idênticas nas mesmas peças.	
Linearidade	Diferença de precisão esperada em todo o intervalo de operação (medição) do sistema. A linearidade do sistema de medição é encontrada medindo os valores das peças de referência em todo o intervalo de operação do equipamento e analisar o valor medido em relação aos valores de referência.	

Por conseguinte, para a análise de dados variáveis ou discretos é realizado um estudo denominado por análise R&R para quantificar a repetibilidade e a reprodutibilidade de um sistema de medição. Para o autor George (2002) o estudo R&R determina a quantidade total de variação presente no sistema de medição e a contribuição relativa dos dois componentes da variação da medição, repetibilidade e reprodutibilidade.

A variação de qualquer sistema de medição é composta por duas vertentes, a variação que ocorre de peça para peça e a do próprio sistema. Num estudo do tipo R&R o valor da variação do sistema de medição deve ser o mais baixo possível, isto é nunca mais do que o valor de referência de 30%. Um sistema de medição com uma variação abaixo dos 10% deve ser aceite, no entanto, um sistema que varie entre os 10% e os 30% deve ser aceite condicionalmente (*Six Sigma: A Complete Step by Step Guide*, 2018). Na figura abaixo apresentada (figura 27) podemos identificar as fontes de variação de um sistema.

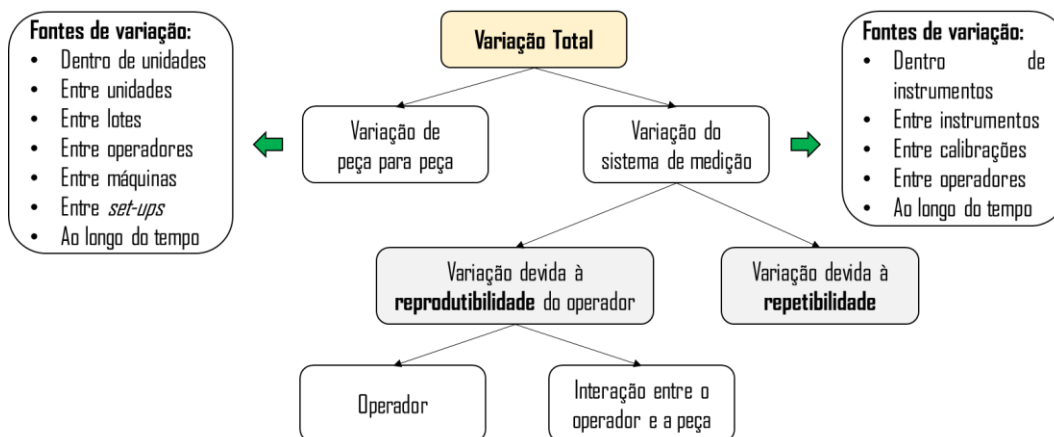


Figura 27 - Análise da variação de um sistema de medição. Fonte: Adaptado de Tang et al. (2006) e Huf Portuguesa (sem data)

Depois de validado o sistema de medida torna-se importante determinar a *capability* do nosso processo. Num processo, os outputs devem ir de encontro aos requisitos dos clientes, no entanto por vezes surgem desvios e ocorrem variações. Para percebermos qual o comportamento do nosso processo é necessário executar um estudo de capacidade.

Segundo Snee e Hoerl (2003), a capacidade do processo está relacionada com a aptidão de cumprir com os requisitos dos nossos clientes. Este requisito mede-se através do nível sigma do processo, sendo que um projeto é considerado capaz quando os pontos da distribuição das medições individuais estão contidos nos limites das especificações. Na figura 28 estão representados três tipos de processos capazes, isto porque as curvas de distribuição normal encontram-se dentro dos valores especificados para o processo.

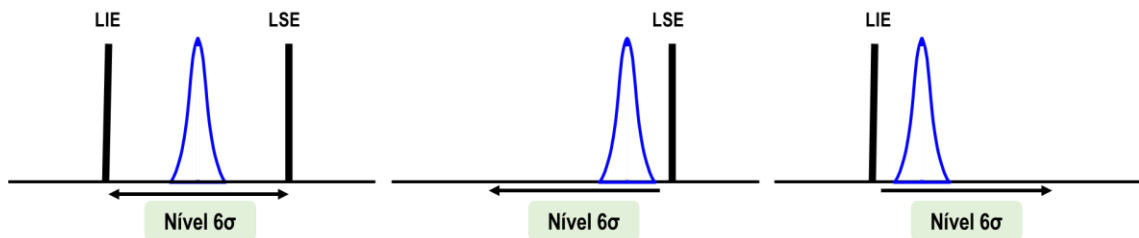


Figura 28 - Diferentes tipos de processos capazes. Fonte: Adaptado de Huf Portuguesa (sem data)

A situação ideal é termos processos estáveis pois estes dão-nos estimativas mais fiáveis da capacidade do processo. Quanto maior for a variação ao longo do tempo mais difícil será determinar a verdadeira capacidade do mesmo. Este fenómeno encontra-se retratado na figura que se segue (figura 29).

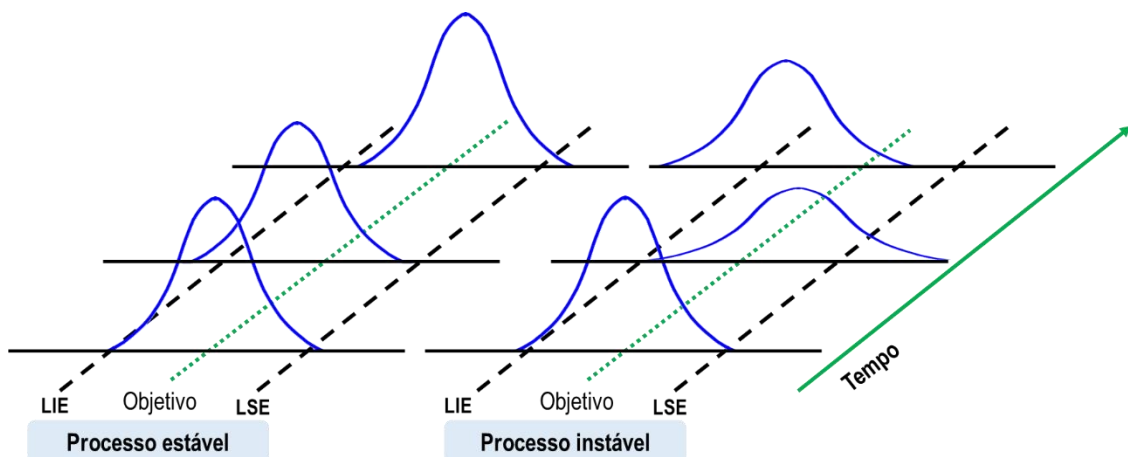


Figura 29 - Diferença entre um processo estável e instável ao longo do tempo. Fonte: Oakland (2003)

De acordo com Kumar et al. (2006), os processos podem variar 1,5 desvios padrão ao longo do tempo, maioritariamente, devido a derrapagens que acontecem ao longo do processo

de aprendizagem de uma organização. Dado a imprevisibilidades dos processos produtivos, considera-se o valor de 1,5 para estudos de capacidade a longo prazo.

A quantificação da capacidade de um processo pode ser calculada de formas diversas, dependendo do tipo de dados utilizados. Para dados variáveis pode-se medir o índice C_p e C_{pk} , ou o número de partes por milhão geradas pelo processo, nos dados discretos apenas se utiliza os índices PPM (partes por milhão) ou DPMO. Na figura 30 podemos verificar como se alcança o nível sigma do processo para os diferentes tipo de dados.

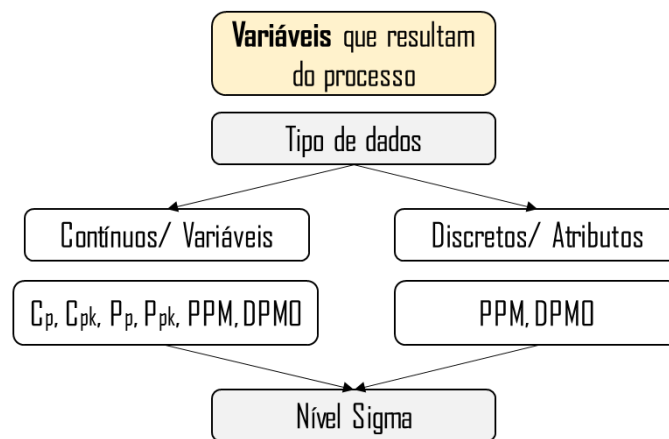


Figura 30 - Nível sigma consoante o tipo de dados do processo. Fonte: S. Krishnamoorthi, R. Krishnamoorthi, e Pennathur (2018)

Todas as métricas da capacidade do processo necessitam dos dados provenientes do processo para o seu cálculo. Na tabela seguinte (tabela 3) podemos visualizar o significado e a fórmula de cálculo dos índices referidos anteriormente.

Tabela 3 - Índices de desempenho de um processo. Fonte: Adaptado de Montgomery (2013) e Huf Portuguesa (sem data)

Índices	Nome	Fórmula de cálculo	Descrição
Z_{LP}	Capacidade de longo prazo	$Z_{LP} = Z_{CP} - 1,5$ ou consultar o valor de <i>p-value</i> na tabela de distribuição normal	A probabilidade de o processo gerar defeitos no longo prazo
Z_{CP}	Capacidade de curto prazo	$Z_{CP} = Z_{LP} + 1,5$ ou consultar o valor de <i>p-value</i> na tabela de distribuição normal	A probabilidade de o processo gerar defeitos no curto prazo
P_p	Índice de capacidade do	$P_p = \frac{LSE - LIE}{6s}$	O desempenho do processo em relação aos limites de especificação no longo prazo

Índices	Nome	Fórmula de cálculo	Descrição
	processo centrado	$s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$	
P_{pk}	Índice de performance processo não centrado	$P_{pk} = \frac{Z_{min.}}{3}$ $Z_{min.} (Z_{sup.} = \frac{LSE - \bar{x}}{s}; Z_{inf.} = \frac{\bar{x} - LIE}{s})$	O desempenho do processo em relação aos limites de especificação no longo prazo tendo em conta a descentralização do processo
C_p	Índice de capacidade do processo centrado	$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$ $\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2}$	O desempenho do processo em relação aos limites de especificação no curto prazo
C_{pk}	Índice de performance processo não centrado	$CP_{pk} = \frac{Z_{min.}}{3}$ $Z_{min.} (Z_{sup.} = \frac{LSE - \bar{x}}{\sigma}; Z_{inf.} = \frac{\bar{x} - LIE}{\sigma})$	O desempenho do processo em relação aos limites de especificação no curto prazo tendo em conta a descentralização do processo
DPMO	Defeitos por milhão de oportunidades	$\frac{N^{\circ} \text{ de defeitos}}{N^{\circ} \text{ de unidades} * N^{\circ} \text{ de oportunidades}} * 1.000.000$	Quantidade de defeitos por milhão de oportunidades que surge no processo
PPM	Partes por milhão	$\frac{N^{\circ} \text{ de defeitos}}{N^{\circ} \text{ de unidades}} * 1.000.000$	Quantidade de defeitos por milhão de peças produzidas que surge no processo

3.3 Analisar

Após a definição e a medição do projeto *six sigma*, é encetada a fase de **análise**, tendo esta como principal objetivo estudar a origem do problema de modo a que possam ser conhecidas as causas do mesmo (ver figura 31). Assim, a finalidade desta fase reside na análise dos dados, para que seja possível identificar as formas de eliminar os desvios entre o processo atual e o desejado. Segundo o exposto por Aized (2012), nesta etapa é efetuada uma avaliação ao estado atual do processo, de forma a determinar as suas potenciais fontes de variação. Assim sendo, “a equipa analisa os dados e mapas do processo para caracterizar a natureza e dimensão do problema” (M. L. George 2002, 25).

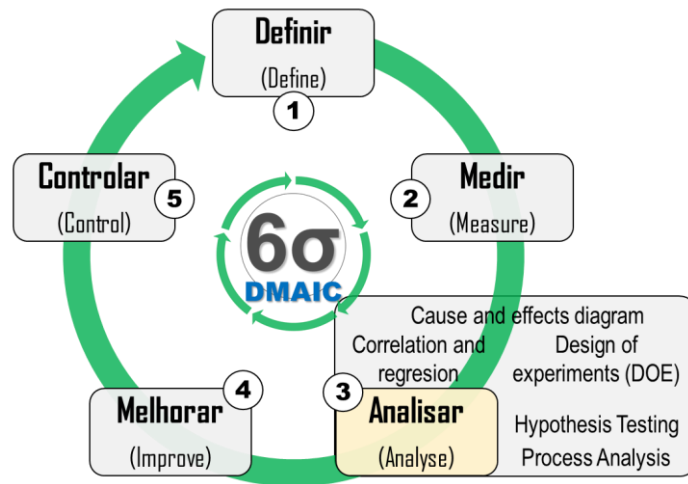


Figura 31 - Fase de análise no ciclo DMAIC. Fonte: própria

A fase de análise pretende quantificar a relação entre as causas e os efeitos, assumindo-se assim como o maior passo para alcançar a solução do problema. Neste ponto do ciclo, os dados são utilizados para definir padrões ou tendências os quais, provavelmente, irão sugerir qual é a causa do problema. Efetivamente, a missão reside em entender quais são os inputs que estão a afetar os outputs do processo, pelo que um conhecimento aprofundado do problema permite obter as bases para encontrar as melhorias. O anteriormente explanado demonstra a importância que a fase de medição assume, pois sem esta quantificação as equipas *six sigma* não podiam passar à análise do problema e tomar as decisões que futuramente irão conduzir à melhoria do processo.

A figura 32 espelha não só a importância dos dados recolhidos como ainda permite ter uma visão geral da fase de análise. A implementação desta etapa implica o uso de diversos instrumentos e técnicas que possibilitam conhecer quais as variáveis de entrada do processo que têm influência no output do mesmo.

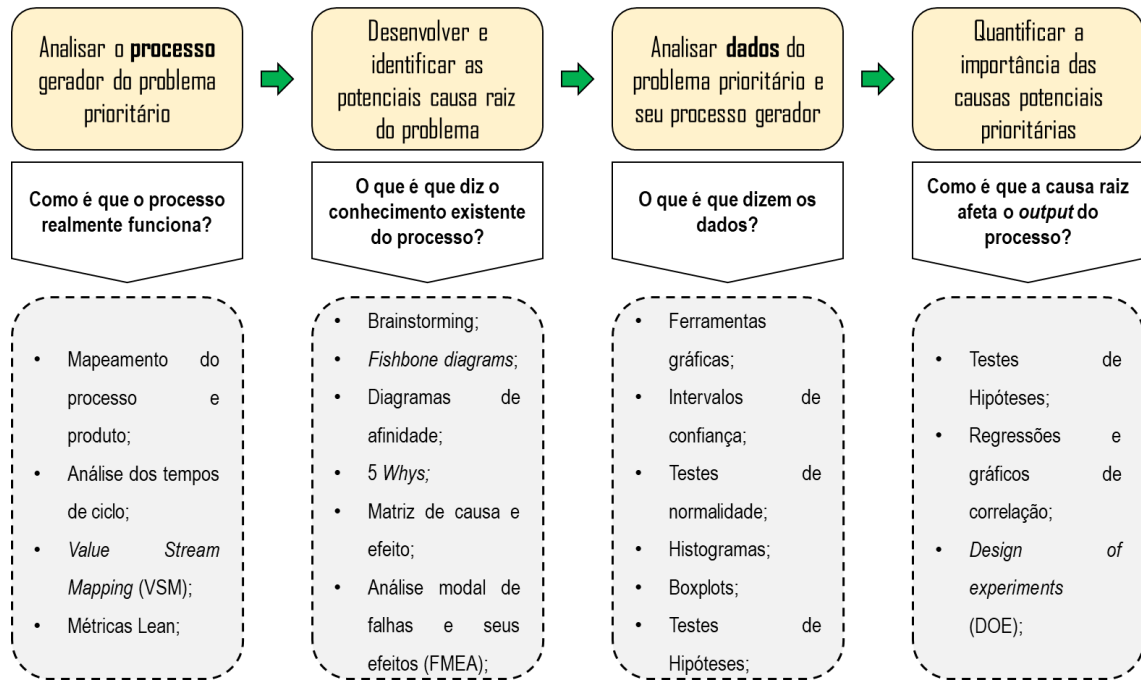


Figura 32 - Processo de análise de um projeto six sigma. Fonte: Adaptado de Werkema (2012) e Brook (2014)

A primeira etapa desta fase centra-se na localização do problema. De acordo com Brue (2006) o que importa é entender quais são as variáveis $X(s)$ que estão a causar defeitos nos produtos $Y(s)$. Assim sendo, um conhecimento detalhado do processo é estritamente necessário para compreender qual etapa ou variável que está a afetar os outputs. Existem diversas ferramentas para facilitar e agilizar o estudo do processo, sendo que a figura 33 (ver anexo 3 em tamanho legível) permite verificar algumas dessas ferramentas esquematizadas.

O uso destas ferramentas dependerá da análise pretendida pela equipa. Uma análise correta e eficaz depende, por vezes, do uso das ferramentas que se encontram ao nosso dispor e que se adequam à compreensão do problema em questão.

Depois de adquirido o conhecimento adequado do processo torna-se imprescindível analisar as variáveis causadoras da variação no processo. A causa raiz do problema deve ser identificada e dependendo do problema em questão pode-se utilizar diferentes métodos de análise. Os mais comuns são o diagrama de Ishikawa, o brainstorming, os 5 Whys¹⁹, as ferramentas de análise dos efeitos e dos seus modos de falha, entre outras.

¹⁹ Porquês

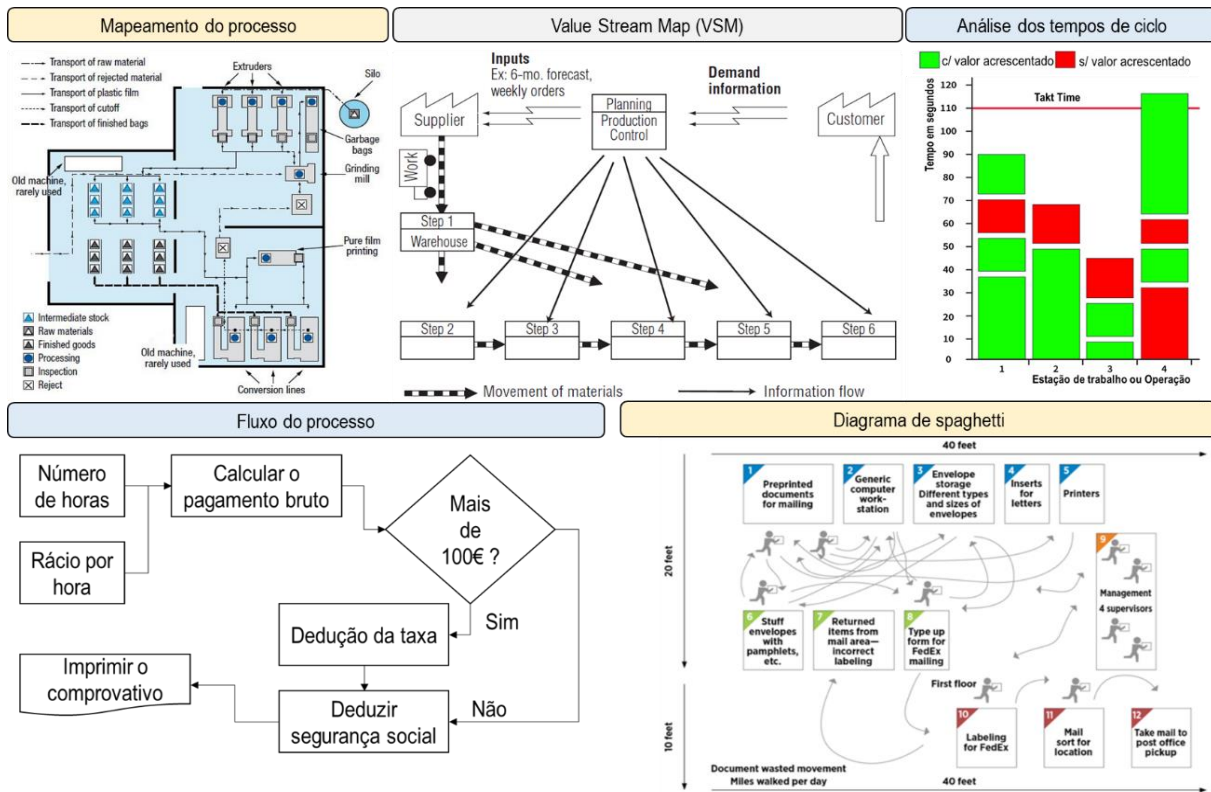


Figura 33 - Diferentes tipos de ferramentas para analisar o processo. Fonte: Adaptado de Andersen e Fagerhaug (2013), M. O. George (2010), Boiser (2020), Kubiak (2012) e ASQ (sem data)

Importa referir que por vezes as fontes de variação são múltiplas, logo haverá mais do que uma causa para um mesmo problema. Stamatis (2002) afirma que algumas vezes é fácil encontrar as causas raiz e resolver os problemas, porém por vezes é impossível, reforçando que esta impossibilidade se deve ao facto de nesses casos existir mais do que uma causa raiz.

Uma ferramenta versátil para alcançar a causa raiz de um problema é o diagrama de Ishikawa, a análise é muito eficaz quando utilizada num brainstorming, pois esta apresentação visual propõe a organização das relações das várias teorias da causa raiz de um problema ou efeito. Tang et al. (2006) referenciam que o “diagrama de causa-efeito pode ajudar a identificar os motivos pelos quais um processo fica fora do controlo”. Na figura que se segue (figura 34) pode-se verificar que para um dado efeito existe um dado número de causas, que podem estar subdivididas em inúmeras outras causas.

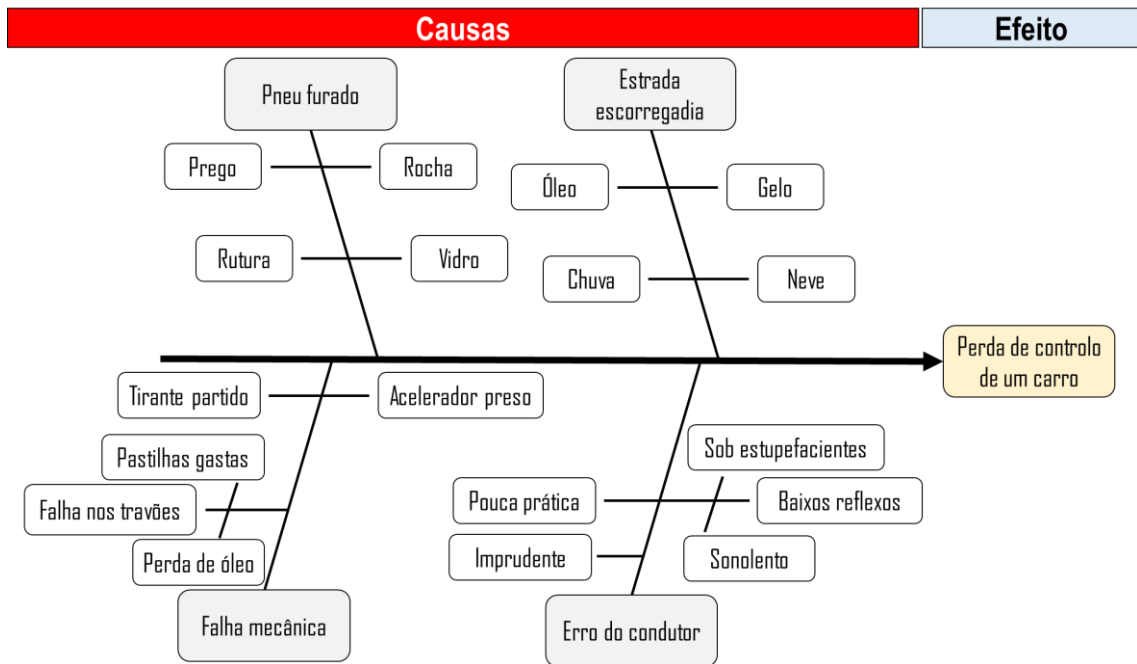


Figura 34 - Diagrama de Ishikawa. Fonte: Juran e Godfrey (1999)

Os 5 *Whys* são outra ferramenta não quantitativa de identificação da causa raiz de um problema. Define-se como uma técnica persistente e orientada para a prática constante da mesma pergunta – porque é que a falha ocorreu? – cinco ou mais vezes com a intenção de alcançar a real causa do problema. De acordo com Voehl et al. (2013) sempre que uma resposta é dada, pergunta-se o porquê de aquela condição em particular ter ocorrido. Na figura 35 podemos verificar a lógica de raciocínio desta ferramenta.

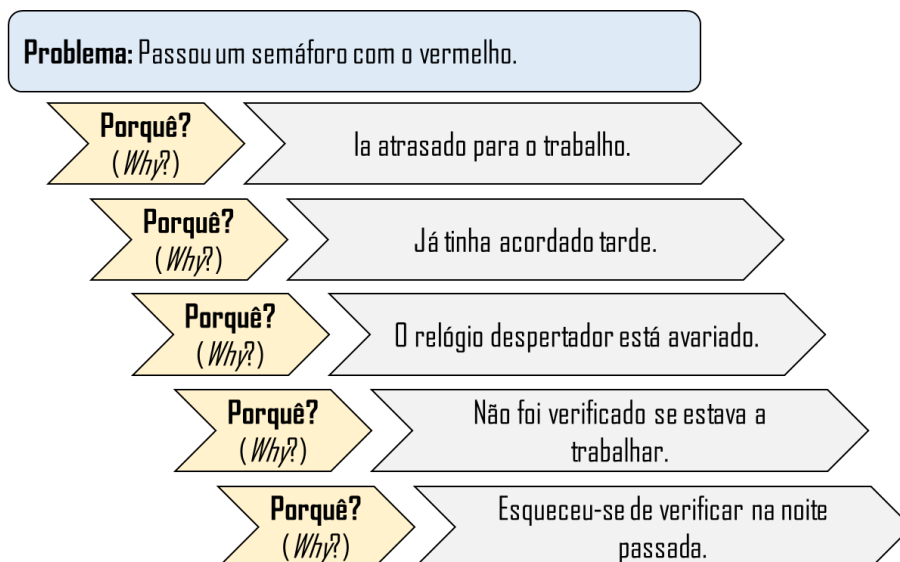


Figura 35 - Modelo dos 5 *Whys*. Fonte: Kanbanize (sem data)

Uma metodologia de análise qualitativa e quantitativa dos desvios do processo é a *failure mode and effects analysis* (FMEA), o âmbito desta análise “é identificar as funções de um

produto ou etapas de um processo e os potenciais modos de falha associados, efeitos e causas” (AIAG e VDA, 2019). A técnica é muito versátil e completa no sentido que pretende detetar as potenciais falhas de um produto, processo ou serviço, além de que para cada falha são apontados os possíveis efeitos e causas associadas, e consequentemente são ordenadas pelo seu grau de severidade. O FMEA é constituído por três grandes grupos, sendo que o primeiro é a análise do sistema, o segundo é a análise da falha e mitigação do risco, e por último temos a comunicação dos riscos. A figura abaixo apresentada (figura 36) é um dos formatos do FMEA de processo proposto pelas entidades AIAG (*Automotive Industry Action Group*) e VDA (*Verband der Automobilindustrie*) para utilização no setor automóvel (ver anexo 4 em tamanho legível).

Process Failure Mode and Effects Analysis (Process FMEA)

PLANNING and PREPARATION (STEP 1)																																							
Company Name:			Subject:			PFMEA ID Number:																																	
Plant Location:			PFMEA Start Date:			Process Responsibility:																																	
Customer Name:			PFMEA Revision Date:			Confidentiality Level:																																	
Model Year / Platform:			Cross-Functional Team:																																				
CONTINUOUS IMPROVEMENT	STRUCTURE ANALYSIS (STEP 2)				FUNCTION ANALYSIS (STEP 3)				FAILURE ANALYSIS (STEP 4)																														
	1. Process Item System, Subsystem, Part Element or Name of Process				1. Function of the Process Item <u>Your Plant:</u> <u>Ship to Plant:</u> <u>End User:</u>																																		
Issue #	2. Process Step Station No. and Name of Focus Element		3. Process Work Element 4M Type		2. Function of the Process Step and Product Characteristic (Quantitative value is optional)		3. Function of the Process Work Element and Process Characteristic		1. Failure Effects (FE)		Severity (S) of FE	2. Failure Mode (FM) of the Process Step	3. Failure Cause (FC) of the Work Element																										
	History / Change Authorization (As Applicable) (This column is optional)																																						
RISK ANALYSIS (STEP 5)						OPTIMIZATION (STEP 6)																																	
Current Prevention Control (PC) of FC		Occurrence (O) of FC		Current Detection Controls (DC) of FC or FM		Detection (D) of FC/FM		PFMEA AP		Special Characteristics		Filter Code (Optional)		Prevention Action		Detection Action		Responsible Person's Name		Target Completion Date		Status		Action Taken with Pointer to Evidence		Completion Date		Severity (S)		Occurrence (O)		Detection (D)		PFMEA AP		Special Characteristics		Remarks	

Figura 36 - FMEA. Fonte: AIAG e VDA (2019)

A análise de pareto é um método muito utilizado nesta etapa, sendo que deve ser empregue de uma forma transversal, pois, segundo Vardeman e Jobe (2016), a análise de pareto é uma ferramenta essencial e útil para priorizar o esforço e o foco de toda a equipa na desmistificação de uma causa raiz de um problema.

A sua aplicação vai desde a identificação à quantificação das causas raiz do problema prioritário. No caso de existir mais do que uma causa esta ferramenta é muito eficaz, pois baseia-se no princípio dos 80-20, isto é, um pequeno número de causas está a provocar 80%

dos problemas, enquanto a maioria das variáveis apenas representam 20% das anomalias do processo. Na figura seguinte (figura 37) podemos identificar a importância desta ferramenta na priorização dos problemas e identificação do impacto das diversas causas.

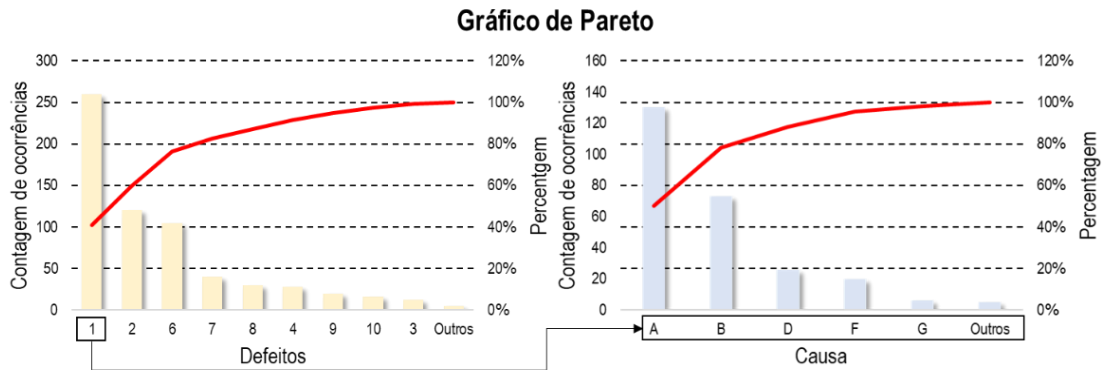


Figura 37 - Análise de Pareto. Fonte: Própria

De acordo com a American Society for Quality (ASQ, sem data) uma metodologia que se baseia na aplicação do princípio de Pareto, para identificação das causas da variação é o Shainin Red X® desenvolvida por Dorian Shainin. Toda a metodologia assenta-se no pensamento que existe sempre uma causa dominante na variação do processo, mas que segundo o autor não há mais do que três causas com o devido impacto no output, que ele intitula de Green Y®, a causa raiz do problema predominante é o Red X®, as outras duas são o Pink X® e o Pale Pink X® (figura 38). Todavia, a metodologia apoia-se no uso de ferramentas técnicas e especializadas para uma exaustiva investigação às fontes de variação do processo.

Paradigma Red X®

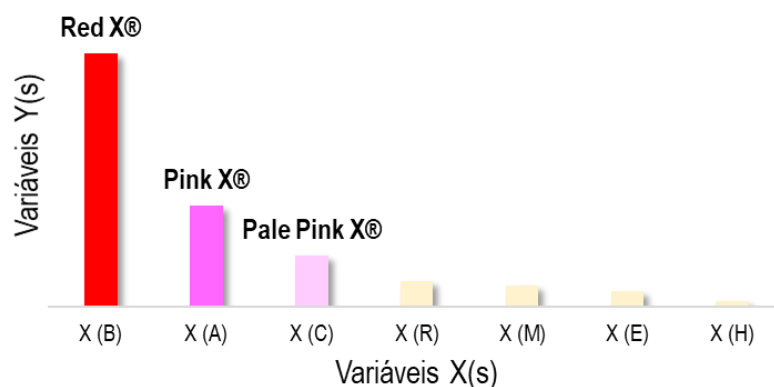


Figura 38 - Paradigma Red X. Fonte: Adaptado de Kosina (2015)

Após a identificação do problema com maior incidência e impacto identificado, e as potenciais causas dos desvios do processo identificadas, importa neste momento olhar aos dados e entender qual o verdadeiro impacto das variáveis X(s) no output Y(s). Para analisar os

dados recolhidos há que utilizar algumas ferramentas do âmbito estatístico, só assim será possível identificar a verdadeira fonte do problema prioritário.

O tipo de ferramenta estatística a ser empregue varia consoante o grau de conhecimento do utilizador e a informação a ser analisada. Na figura 39 podemos verificar inúmeros tipos de gráficos que se podem utilizar na análise, o conteúdo apresentado provém da ferramenta estatística dedicada para o *six sigma*, o Minitab®.

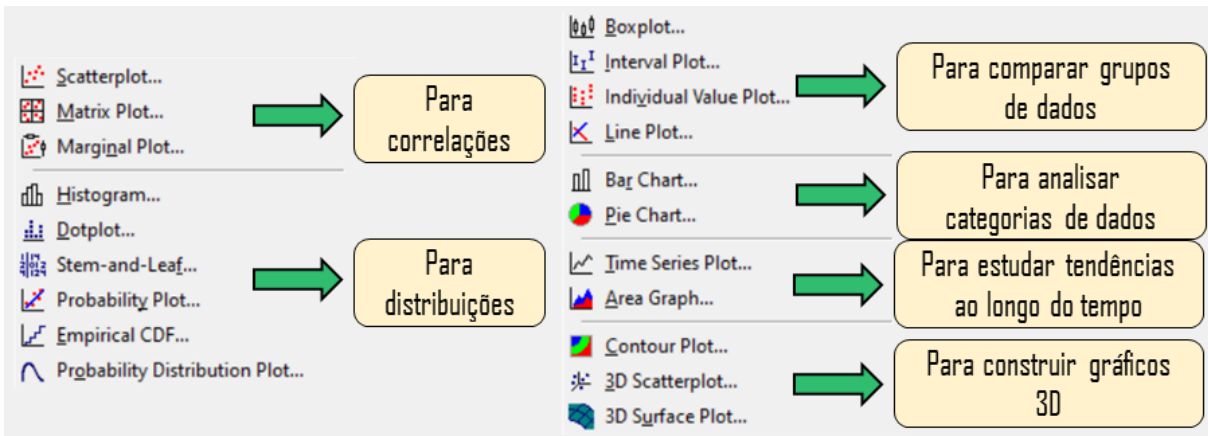


Figura 39 - Ferramentas gráficas diversas utilizadas na fase de análise. Fonte: Brook (2014)

Numa situação de análise de dados um meio de estimação de dados muito eficaz são os intervalos de confiança. O método pode ser muito útil em situações onde os dados são recolhidos por amostragem numa determinada população, ou seja, “um intervalo de confiança é uma amplitude de valores, derivados de estatísticas de amostras, que têm a probabilidade de conter o valor de um parâmetro populacional desconhecido.” (Minitab 2019)

Tabela 4 - Cálculo dos intervalos de confiança. Fonte: Adaptado de S. Krishnamoorthi, R. Krishnamoorthi, e Pennathur (2018)

Tipo de população	Dimensão da amostra	Conhece-se o σ ?	Distribuição	Intervalo de confiança
Normal	Qualquer	Sim	$Z: P(-z < Z < z) = \lambda, Z \sim N(0,1)$	$\bar{x} \pm z \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$
Normal	Qualquer	Não	$t: P(-t < T < t) = \lambda, T \sim t_{n-1}$	$\bar{x} \pm t \frac{S}{\sqrt{n}}$

Quanto à incerteza a estimar, é pouco provável que poucas amostras de uma determinada população atinjam intervalos idênticos, no entanto, se forem utilizadas amostragem maiores é mais provável que os intervalos resultantes alcancem o parâmetro populacional desconhecido. Na figura 40 consegue-se verificar o fenómeno exposto atrás.

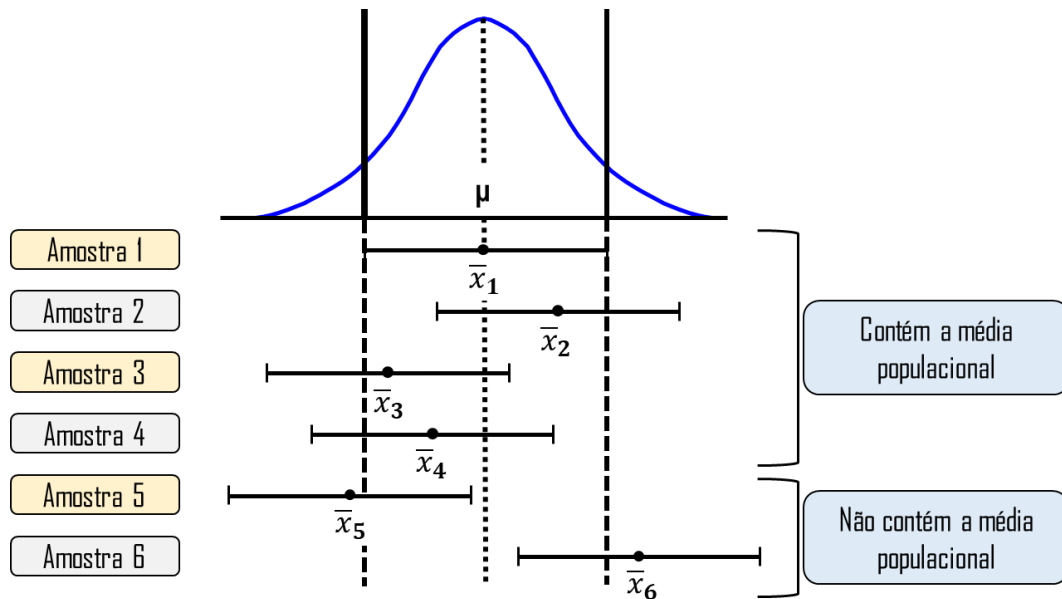


Figura 40 - Intervalos de confiança por amostragem. Fonte: Adaptado de UCL (2018) e Voehl et al. (2013)

Como se pôde observar nos intervalos de confiança, a incerteza está presente na análise de dados, principalmente, quando realizada por amostragem, por isso para garantirmos a veracidade de uma determinada decisão é indispensável aplicarmos outra ferramenta estatística, os testes de hipóteses. Segundo S. Krishnamoorthi, R. Krishnamoorthi, e Pennathur (2018) estes testes são um método de análise utilizado quando alguém quer fazer uma afirmação sobre um parâmetro de uma população, e a sua exatidão sobre essa reivindicação deve ser verificada.

Depois de analisados os dados do processo torna-se essencial determinar a relação entre as causas e o problema prioritário. Uma metodologia muito empregue neste âmbito é o *design of experiments*²⁰ (DOE), cujo nome é atribuído a uma diversidade de ferramentas de testes experimentais, como por exemplo o desenho fatorial, o desenho de Taguchi, entre outros, nos quais os processos são testados de uma forma controlada e os resultados são observados e analisados. Importa referir que outras ferramentas utilizadas neste âmbito são os testes de hipóteses e as ferramentas estatísticas já referenciadas anteriormente.

O DOE são metodologias de análise experimental, onde as variáveis críticas de entrada contínuas ou discretas $X(s)$ variam, por forma a compreender a sua relação com o output do processo $Y(s)$, sendo este uma variável de saída contínua. De acordo com Pyzdek (2003) a ferramenta é uma análise às chamadas variáveis independentes do processo, que possivelmente têm influência no resultado do processo, o estudo consiste na identificação e manipulação destas variáveis segundo um plano predeterminado. Os dados obtidos do processo podem ser

²⁰ Desenho experimental

estudados estatisticamente, para determinar a influência que as variáveis independentes isoladas ou combinadas têm no processo.

Uma análise deste tipo pode ser usada para diferentes âmbitos, como reduzir o número de variáveis $X(s)$, verificar e quantificar as relações X/Y mais significantes e determinar os melhores parâmetros para as variáveis $X(s)$. (Huf Portuguesa, sem data) Além disto existem alguns aspetos a ter em consideração, como os que se encontram apresentados na tabela seguinte (tabela 5).

Tabela 5 - Fatores a ter em consideração num desenho experimental. Fonte: Pyzdek (2003)

Fator	Conceito
Variável dependente	São variáveis que apenas variam quando são manipuladas as variáveis independentes.
Variáveis controláveis	São variáveis controláveis que se acredita terem efeito no processo. Podem ser quantitativas ou qualitativas.
Variáveis não controláveis	São variáveis que podem ter efeito no problema, mas não se podem manipular ou não se mantêm constantes ao longo do tempo. O efeito das variáveis primárias pode ser contaminado por estas variáveis.
Erro experimental	Numa situação experimental um elevado número de variáveis pode ser uma possível fonte de variação.
Interação	Uma condição em que o efeito de um fator depende do nível de outro fator.
Replicação	Recolha de uma ou mais observações para uma mesma condição experimental. Se a variação existir quando todas as condições experimentais se mantêm constantes, a causa deve ser alguma outra variável além da que está a ser controlada.
Randomization²¹	É uma característica a ter em conta nas análises DOE, pelo facto de existirem por vezes condições estranhas ou incontroláveis ao processo, o facto de se variar as variáveis de uma forma aleatória irá beneficiar o estudo, pois assim estaremos a minimizar as diferenças entre as variáveis de fundo, que provocam desvios no processo.

3.4 Melhorar

Ultrapassada a fase de definir, medir e analisar é tempo de ingressar na etapa de **melhoria** do projeto (figura 41). Esta quarta fase implementa-se no sentido de otimizar a performance do

²¹ Aleatoriedade

processo, sendo que o aumento do desempenho apenas ocorre com a aplicação de soluções no processo. No entanto, para que tal ocorra é necessário criar e avaliar as possíveis soluções para a causa raiz do problema.

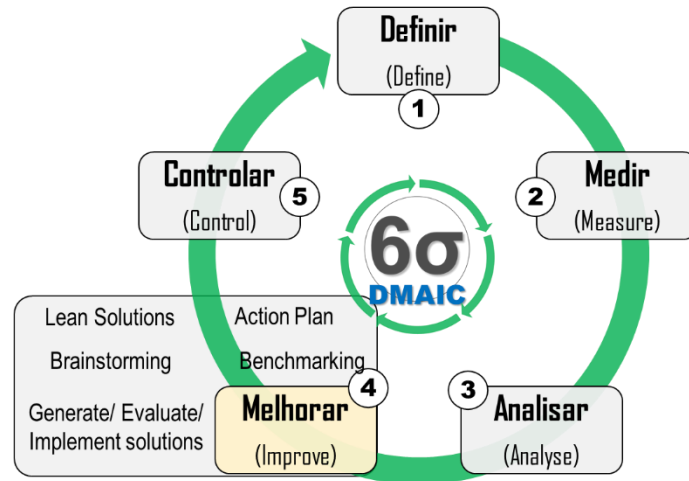


Figura 41 - Fase de melhoria no ciclo DMAIC. Fonte: própria

Kumar, Crocker, Chitra e Saranga (2006, p. 359) afirmam que o conhecimento que se gera nas fases anteriores à de melhoria “é usado para resolver o problema pela criação de ideias. Soluções inovadoras da fase anterior são implementadas para remover as lacunas entre o estado atual e o estado desejado do sistema para atingir o objetivo”. De facto, a construção de uma solução eficaz deriva, em grande parte, do conhecimento que se ostenta relativamente ao processo, mas sobretudo da experiência que se obtém na fase de análise. Segundo Pyzdek (2003, p. 238) devemos ser criativos, pois ser criativo “é encontrar novas formas de fazer as coisas melhor, mais barato ou mais rápido”.

Não obstante o afirmado, é fundamental, no momento da apreciação da solução, fazer um balanceamento entre o esforço que será despendido e o retorno que se espera conquistar. De acordo com Aized (2012) as características dos processos ou produtos devem ser otimizadas nesta fase, assim como deve ser realizada uma análise ao custo/ benefício da sua implementação.

Conforme mencionado na norma ISO 13053-1 (2011), durante esta fase, é preciso identificar quaisquer obstáculos que possam impedir a implementação da solução selecionada, isto para que sejam superados. Efetivamente, as dificuldades são inerentes a qualquer tipo de projeto, pois a busca pela solução que se enquadra ao problema não é fácil, existe uma

necessidade permanente de ir ao encontro das dificuldades do cliente, dos *process owners*²² e das pessoas que lidam diariamente com o processo, a qual se assume como sendo uma tarefa complexa.

A figura seguinte (figura 42) espelha a abordagem desta penúltima fase da ferramenta DMAIC. As soluções alcançadas com base no conhecimento adquirido nas etapas até então executadas sofrem um processo de análise e, por vezes, apenas seguem como soluções piloto. Contudo, caso os resultados sejam positivos, são desenvolvidos planos para a sua implementação no processo.

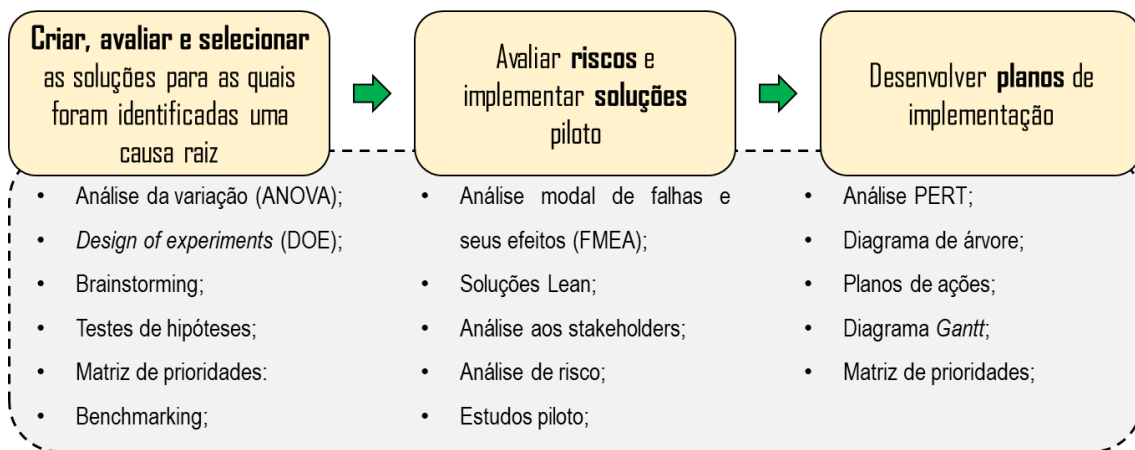


Figura 42 - Processo de melhoria num projeto *six sigma*. Fonte: Própria e adaptado de Stamatis (2002) e Kubiak (2012)

3.5 Controlar

O âmbito da etapa de **controle** é estabelecer planos de controlo para assegurar que os ganhos obtidos na fase de melhoria são mantidos no longo prazo (figura 43). Para George (2003, p. 303), aqui o objetivo é garantir “que qualquer ganho vai-se manter, até e a menos que novos conhecimentos ou dados mostrem uma melhor forma de operar o processo”.

²² Donos do processo

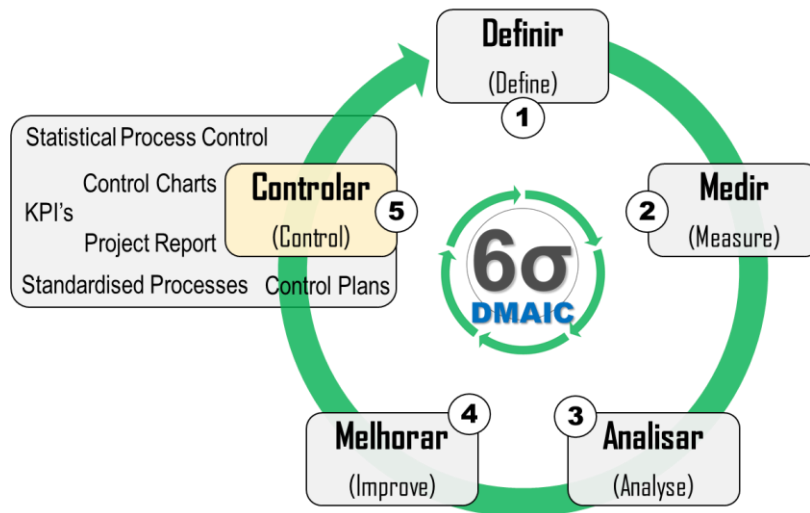


Figura 43 - Fase de controle no ciclo DMAIC. Fonte: própria

O ponto chave desta fase reside na monitorização e controlo das melhorias implementadas nas fases anteriores, pelo que a variação que ainda possa existir no processo deve ser controlada, de modo a que seja possível perceber os desvios que, porventura, ocorram. “A fase de controlo é a altura de amarrar pontas soltas...” (*Six Sigma: A Complete Step by Step Guide*, 2018, 130). O uso de ferramentas estatísticas é novamente requisitado não só para uma melhor compreensão e monitorização do processo, mas também para assegurar que os ganhos alcançados se mantêm ao longo do tempo. M. L. George (2002, 28) alega que “quando o processo atinge o nível de qualidade exigido, as ferramentas da fase de controlo são utilizadas para garantir os benefícios”.

É importante referir que a uniformização do processo é um dos pontos fundamentais para o fecho do projeto. A sustentabilidade e a robustez deste ciclo podem ser alcançadas apenas com disciplina e organização dos seus intervenientes, sendo que a correta documentação também adquire um papel essencial na conclusão do projeto. As *lesson's learned*²³ de todo o projeto devem ser identificadas e as melhores práticas aplicadas a outros processos. Como referência Kumar et al. (2006) as alterações do processo devem ser “documentadas e disponibilizadas para toda a comunidade dentro da organização.” (ver figura 44).

²³ Lições aprendidas

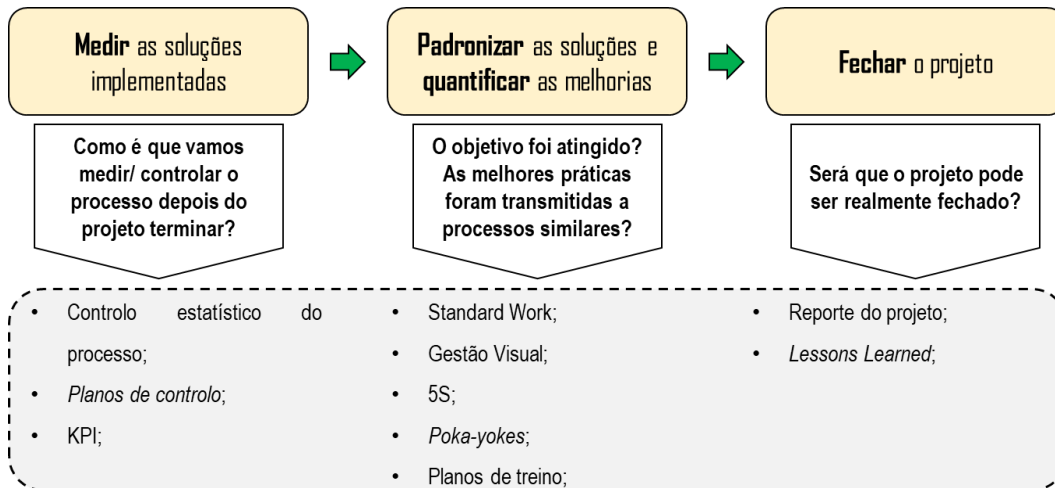


Figura 44 - Processo de controlo num projeto six sigma. Fonte: Adaptado de Brook (2014) e Kubiak (2012)

Como foi referido anteriormente, as medidas implementadas na fase anterior devem ser asseguradas, para isso encontram-se disponíveis algumas metodologias para certificarmos que o processo se mantém constante ao longo do tempo. Desta forma, é necessário medir as soluções implementadas, Brue (2006) afirma que o foco do controlo deve ser nas entradas do processo $X(s)$, que estão diretamente relacionadas com as saídas $Y(s)$.

Se pretendemos então controlar as entradas do processo, deve-se adotar uma medida proativa em vez de uma reativa, como a monitorização do processo, sendo assim, deve-se fazer um controlo estatístico do processo (CEP). De acordo com Montgomery (2013), o CEP é um conjunto de ferramentas estatísticas apoiadas essencialmente, na análise de gráficos de comparação de amostras dos dados atuais do processo com os limites de controlo calculados através da variação normal do mesmo, sendo que, também podemos identificar o estado atual da variação do nosso processo através das três zonas (A/ B/ C) que ele identifica. Na figura 45 podemos verificar uma carta de controlo padrão e as três zonas críticas de uma carta de controlo.

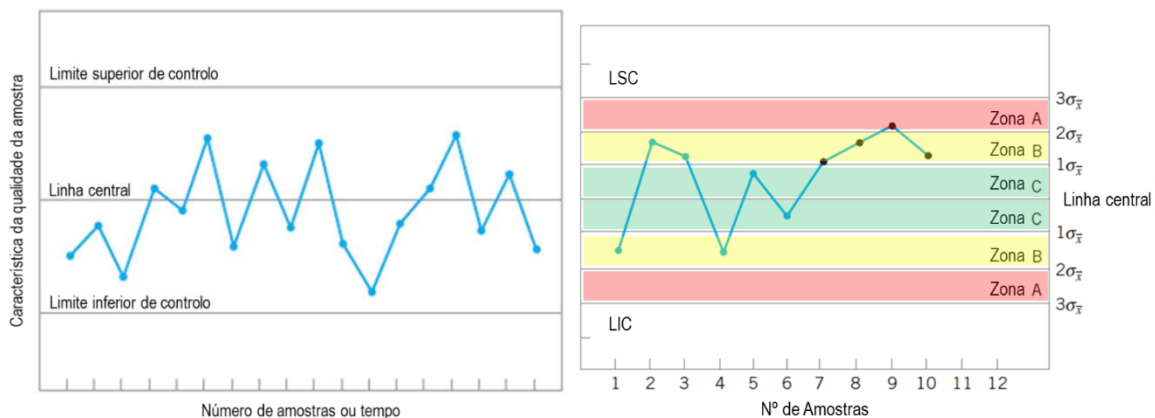


Figura 45 - Gráfico de controlo. Fonte: Montgomery (2013)

O tipo de gráfico a ser utilizado vai variar consoante o tipo de dados e tamanho de amostra a serem analisados, na figura que segue (figura 46) podemos visualizar os diferentes tipos de gráficos consoante as diversas vertentes de dados a serem analisados.

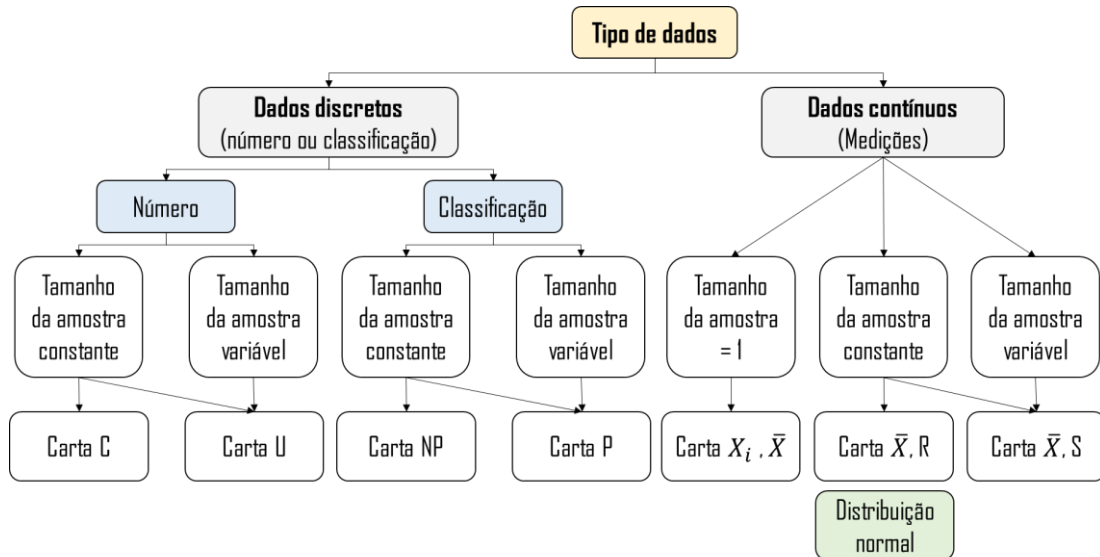
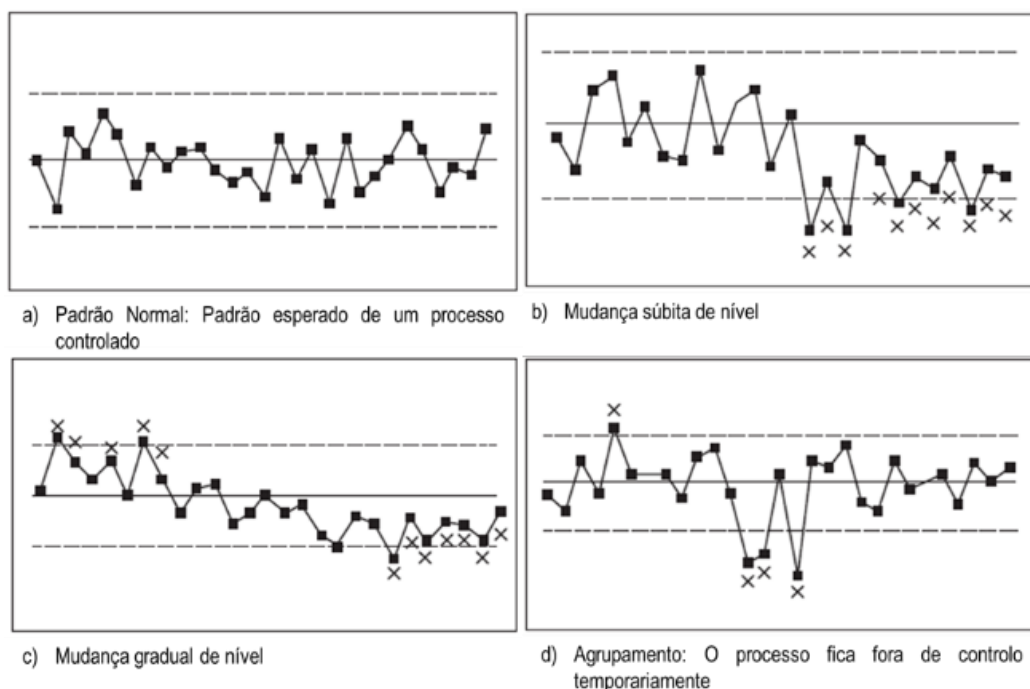


Figura 46 - Diferentes gráficos de controlo consoante o tipo de dados. Fonte: Brue (2006)

Os gráficos de controlo devem ser analisados cuidadosamente, por vezes o processo pode não estar fora de controlo apenas por ter os pontos fora do intervalo de controlo, às vezes basta um desvio no padrão dos dados recolhidos para percebermos que o processo está a ter algum tipo de variação não desejada. Existem alguns padrões comuns que podem sugerir por vezes a causa desse desvio, na figura 47 encontram-se apresentados alguns tipos de modelos com uma possível causa associada.



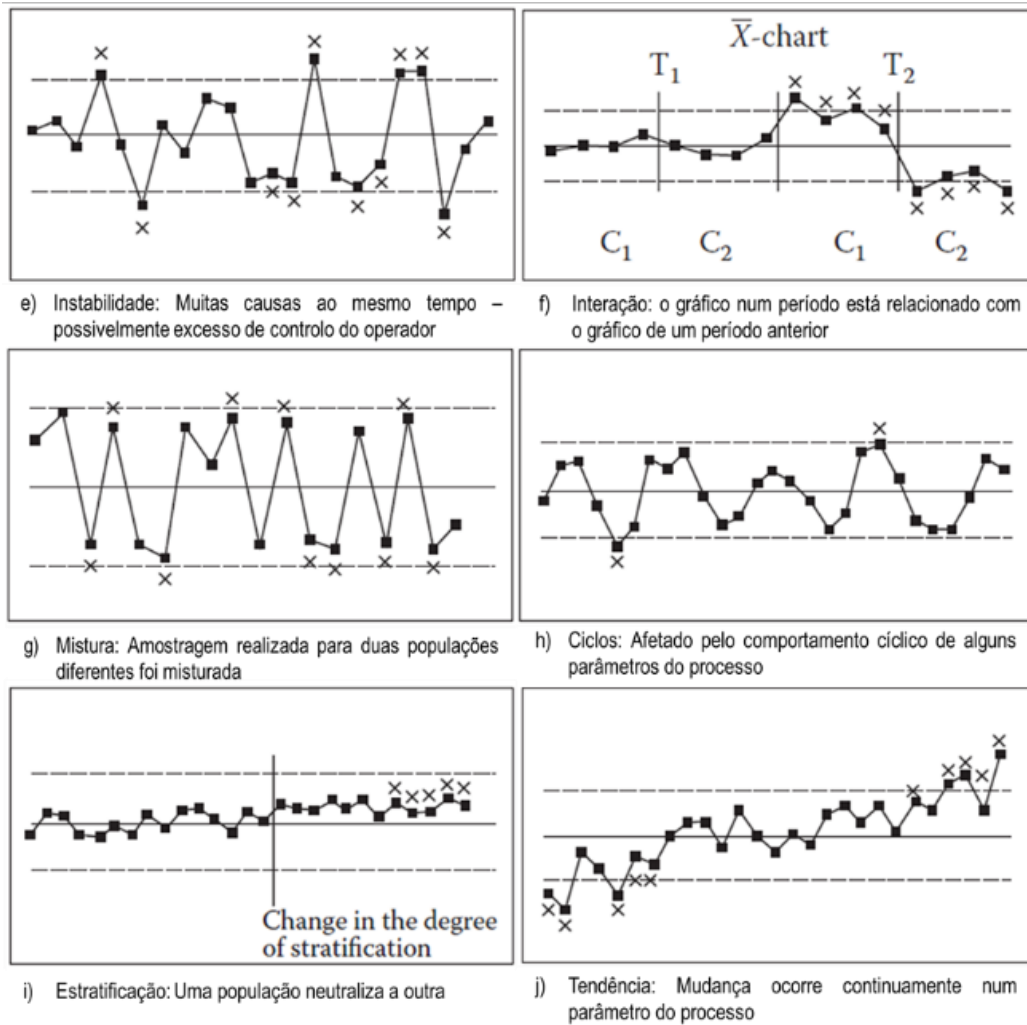


Figura 47 - Exemplos de gráficos de controle e as diferentes causas de variação. Fonte: S. Krishnamoorthi, R. Krishnamoorthi, e Pennathur (2018)

Os gráficos de controle, como qualquer outra ferramenta estatística, necessitam de dados do processo para o seu cálculo. Contudo, dependendo da especificidade de cada carta de controle, teoricamente, estaremos a lidar com amostras de subgrupos maiores ou iguais a um, sendo que, algumas delas são variáveis e outras constantes, como verificamos anteriormente. Na tabela apresentada abaixo (tabela 6) podemos visualizar os diferentes cálculos para os diferentes limites de controle e linhas centrais.

Tabela 6 - Cálculo dos limites e linhas centrais dos diferentes gráficos de controle. Fonte: Adaptado de Brue (2006) e S. Krishnamoorthi, R. Krishnamoorthi, e Pennathur (2018)

Gráfico de controle	Cálculo dos limites de controle e linha central			
	Carta	Limite superior e inferior de controle (LSC/ LIC)	Linha Central (LC)	Designação
Gráfico \bar{X} e R	R	$LSC(R) = D_4 * \bar{R}$ $LIC(R) = D_3 * \bar{R}$	$LC(R) = \bar{R}$	\bar{R} – Média das amplitudes D_3 e D_4 – Constantes

Gráfico de controlo	Cálculo dos limites de controlo e linha central			
	Carta	Limite superior e inferior de controlo (LSC/ LIC)	Linha Central (LC)	Designação
	\bar{X}	$LSC(\bar{X}) = \bar{\bar{X}} + A_2 * \bar{R}$ $LIC(\bar{X}) = \bar{\bar{X}} - A_2 * \bar{R}$	$LC(\bar{X}) = \bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}}$ – Média das médias A_2 – Constante
Gráfico \bar{X} e S	S	$LSC(S) = B_4 * \bar{S}$ $LIC(R) = B_3 * \bar{S}$	$LC(R) = \bar{S}$	\bar{S} – Média dos desvios padrão B_3 e B_4 – Constantes
	\bar{X}	$LSC(\bar{X}) = \bar{\bar{X}} + A_3 * \bar{S}$ $LIC(\bar{X}) = \bar{\bar{X}} - A_3 * \bar{S}$	$LC(\bar{X}) = \bar{\bar{X}}$	A_3 – Constante
Gráfico C	C	$LSC(C) = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$ $LIC(C) = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$	$LC(C) = \bar{c}$	$\bar{c} = \frac{\sum c_i}{K}$ c_i – N° de defeitos por amostra K – N° de amostras recolhidas
Gráfico U	U	$LSC(U) = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}}$ $LIC(U) = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}}$	$LC(U) = \bar{u}$	$u_i = \frac{c_i}{n_i}$ $n_i = \frac{k_i}{d_i}$ $\bar{u} = \frac{\sum c_i}{\sum n_i}$ c_i – N° de defeitos d_i – N° de unidades defeituosas k_i – Tamanho da amostra
Gráfico P	P	$LSC(P) = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{k_i}}$ $LIC(P) = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{k_i}}$	$LC(P) = \bar{p}$	$p_i = \frac{d_i}{k_i}$ \bar{p} – Média dos p_i
Gráfico nP	nP	$LSC(nP) = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$ $LIC(nP) = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$	$LC(nP) = n\bar{p}$	$p = \frac{D}{n}$ D – N° de defeitos n – Tamanho da amostra

Os *Key Performance Indicators* (KPI), normalmente, ao contrário do CEP, e segundo Kubiak (2012) são utilizados com o intuito de monitorizar os *Key Business Drivers* (KBD) de uma organização. No entanto, quando aplicados a um processo produtivo estes tendem a focar-se nos outputs $Y(s)$ desse processo, como os indicadores de produtividade, qualidade, entre outros.

Assim sendo, os KPI são uma ferramenta muito benéfica para mantermos o foco num objetivo, se quisermos manter o output constante podemos seguir as métricas e verificar, se a nossa ação no processo está a ser eficaz ou se está a ocorrer algum tipo de variação indesejada. De acordo com Franceschini, Galetto, e Maisano (2019), os KPI são essenciais no que toca a dar foco aos resultados, responsabilidades e objetivos.

Nesta etapa, os planos de controlo podem ser uma ferramenta muito útil, no que concerne à identificação dos controlos das entradas e saídas do processo. Como afirma a Roush et al. (1994), os planos de controlo “fornecem uma descrição resumida por escrito dos sistemas utilizados na redução da variação do processo e do produto”.

Segundo Snee e Hoerl (2003), o plano de controlo é um documento dinâmico, que reflete os métodos de controlo e sistemas de medida utilizados no controlo do processo. A informação presente nos planos de controlo (ver anexo 5 tamanho legível) deve ser transposta nas instruções de trabalho dos operadores e técnicos de qualidade, para assim desta forma pormos em prática o controlo das fontes variação do processo (figura 48).

CONTROL PLAN											Page ___ of ___	
<input type="checkbox"/> Prototype <input type="checkbox"/> Pre-launch <input type="checkbox"/> Production			Key Contact/Phone				Date (Orig.)		Date (Rev.)			
Control Plan Number			Core Team				Customer Engineering Approval/Date (If Req'd)					
Part Number/Latest Change Level			Supplier/Plant Approval/Date				Customer Quality Approval/Date (If Req'd)					
Part Name/Description			Other Approval/Date (If Req'd)				Other Approval/Date (If Req'd)					
Supplier/Plant		Supplier Code										
Part/ Process Number	Process Name/ Operation Description	Machine, Device, Jig, Tools For Mfg.	Characteristics			Special Char. Class.	Methods				Reaction Plan	
			No.	Product	Process		Product/Process Specification/ Tolerance	Evaluation/ Measurement Technique	Sample			Control Method
										Size	Freq.	

Figura 48 - Plano de controlo. Fonte: Roush et al. (1994)

Depois de asseguradas as melhorias no longo prazo, é importante perceber se o objetivo do projeto foi atingido, se sim, torna-se fulcral e vantajoso transmitir as melhorias a processos similares. Porventura, também será necessário treinar todos os envolvidos no processo, ou, simplesmente, organizar o(s) posto(s) de trabalho por forma a garantir que os procedimentos instaurados são cumpridos.

O método que pode ser muito eficaz e essencial neste âmbito é a metodologia 5S, a cultura proveniente de uma filosofia de trabalho deste tipo juntamente com uma cultura organizacional de melhoria contínua, permitirá a rápida adaptação de qualquer trabalhador à mudança ativa de qualquer processo, deste modo será possível replicar com relativa facilidade as melhorias alcançadas em processos similares.

Como afirma Aized (2012), a filosofia de trabalho 5S promove a disciplina de uma organização através da consciência e responsabilidade. A cultura 5S torna-se essencial neste âmbito, porque ajuda a construir um clima de confiança mútua, que é “vital para a implementação bem-sucedida do trabalho padronizado” (Willis, 2016, 27).

Embora os 5S's, tradicionalmente falando, sejam uma metodologia centrada na limpeza e organização do posto de trabalho, como é geralmente encarada na maioria das organizações,

aqui vemos que uma cultura organizacional com este elemento pode ir mais além do simples aspecto visual do chão de fábrica, pois pode apresentar muitos benefícios tangíveis e intangíveis para uma empresa. Na figura seguinte (figura 49) podemos visualizar a relevância dos 5S's no suporte a uma cultura de melhoria contínua.

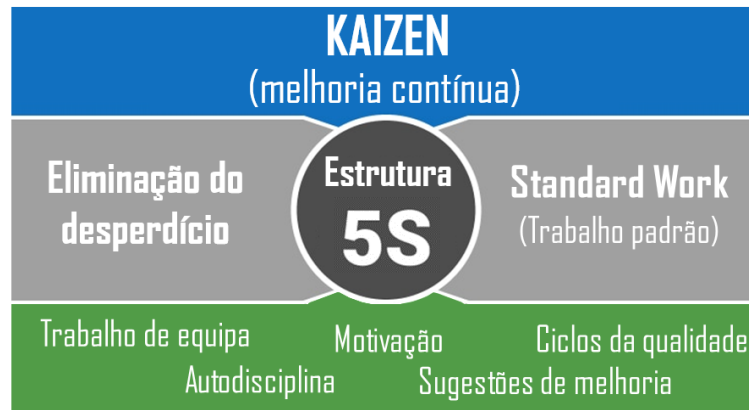


Figura 49 - Importância dos 5S na melhoria contínua de uma organização. Fonte: Adaptado de Kaizen (sem data)

O termo 5S de acordo com Hirano (1995), deriva de cinco palavras japonesas, *seiri* (senso de utilização), *seiton* (senso de organização), *seiso* (senso de limpeza), *seiketsu* (senso de padronização) e *shitsuke* (senso de disciplina), contudo, o autor (2009) afirma que começa a entrar em uso uma sexta característica, o *shukan* (senso do hábito). Na figura 50 podemos visualizar o significado de cada um destes termos.



Figura 50 - Os diferentes sentidos do 5S. Fonte: Adaptado de Hirano (2009) e Voehl et al. (2013)

Como referenciado, o trabalho padrão é um dos princípios de uma estrutura de melhoria contínua, assim está pressuposto que para fechar o ciclo de resolução de um problema é necessário uniformizar os processos. De acordo com Liker (2003), “as tarefas padronizadas tornaram-se numa ciência quando a produção em massa substituiu a produção artesanal”, sendo que a maioria dos conceitos foram baseados nos princípios da gestão científica do trabalho de Frederick Taylor.

Segundo o autor, um dos antigos presidentes da Toyota, Fujio Cho, afirma que os três princípios básicos de um trabalho padronizado são o takt time, a sequência de trabalho e o inventário padronizado. Cho refere o takt time como sendo o tempo necessário para completar um trabalho ao ritmo da procura do cliente, a sequência de trabalho, como sendo a sequência de fazer as coisas e o inventário padronizado, como sendo a quantidade de stock necessário para o trabalhador poder terminar o trabalho padrão. (Liker, 2003)

Ohno (1988), afirma que uma elevada eficiência na produção provém de um documento apelidado de *standard work sheet*²⁴ (figura 51), para ele uma instrução eficaz deste tipo deve combinar três elementos, o homem, a máquina e o material. Os trabalhadores regem-se por este documento, por forma a seguirem um padrão pré-definido com o intuito de tirar o máximo de rentabilidade de um processo. (ver anexo 6 tamanho legível).

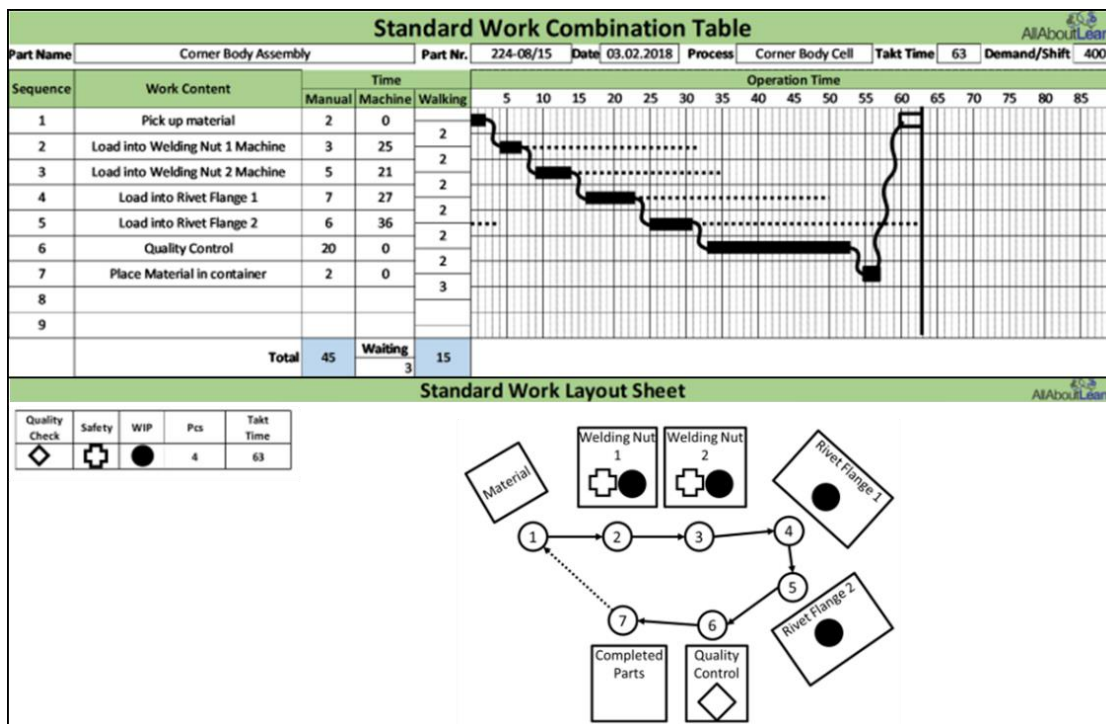


Figura 51 - Exemplo de um *standard work sheet*. Fonte: Adaptado de Roser (2018a) e Roser (2018b)

²⁴ Instrução de trabalho padrão

Um conceito essencial aquando utilizadas filosofias, como os 5S e o trabalho padrão, é a gestão visual. Galsworth (2017) refere que a gestão visual é mais que sinais no *shop floor*²⁵, para o autor a gestão visual é um imperativo operacional, que irá suportar a gestão na eliminação do desperdício e no alcance dos objetivos diários de uma organização.

De acordo com Ortiz e Park (2011), o conceito de gestão visual tem por base colocar em ordem o espaço de trabalho, por forma a poder apoiar melhor as operações com valor acrescentado nos processos. Na figura que se segue (figura 52) podemos visualizar as diversas formas de gerir visualmente os locais de trabalho, quer seja através de alertas visuais ou quadros com indicadores de performance.

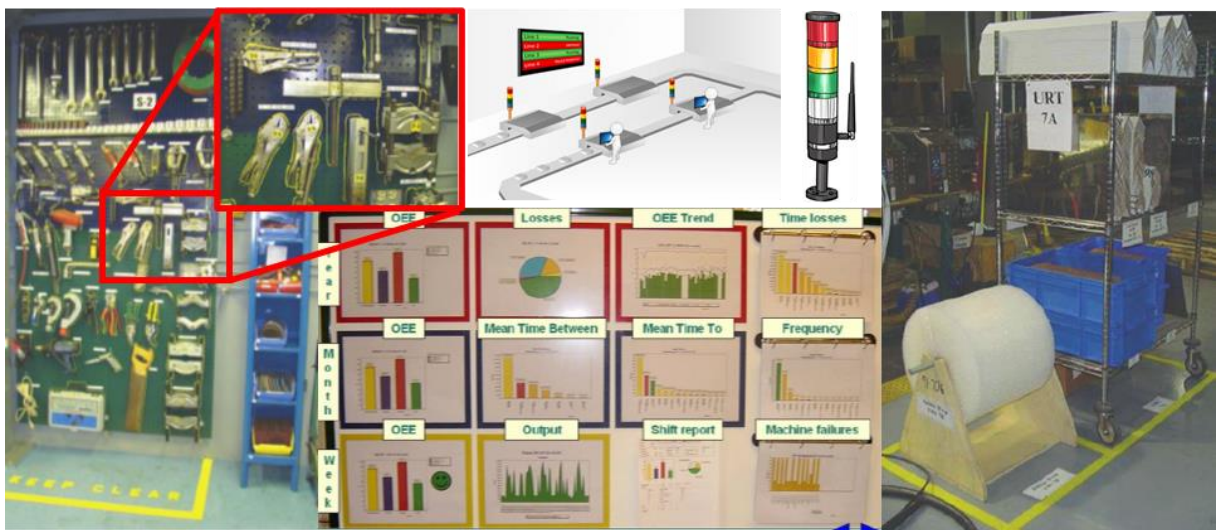


Figura 52 - Gestão visual do chão de fábrica. Fonte: Adaptado de Ortiz e Park (2011), Huf Portuguesa (sem data), Het Andon Proces (2013) e Andon Lights (sem data)

No âmbito da uniformização, simplificação e sustentabilidade dos processos, importa salientar a relevância da formação da força de trabalho, a criação de planos de treino, para aqueles que são novos no processo ou aqueles, que já instruídos, necessitem de rever os conceitos. Quanto mais robusto for o conhecimento do processo da nossa massa trabalhadora mais fácil será controlar e gerir uma eventual variação no processo.

Como descrito por Gitlow (2009, 121), “os trabalhadores são o ativo mais importante de uma organização”, de acordo com o autor, os planos de treino devem ser elaborados segundo dados reais e não opiniões ou suposições. Só assim, com a formação do pessoal será factível alcançar metas de estabilização dos processos produtivos. Uma flexibilização e especialização

²⁵ Chão de fábrica

eficaz e eficiente da força de trabalho só será possível através de meios, como planos de treino, *standard work*²⁶, gestão visual, *poka-yokes*, entre outros.

Um meio importante para apoiar a rotatividade de pessoal nos diversos postos de trabalho, que foi enunciado anteriormente, é o conceito de *poka-yoke*, uma expressão que significa sistema à prova de erro ou anti erro. De acordo com Kubiak (2012), o termo provém das palavras japonesas *poka* e *yokeru*, que equivalem a erro e evitar, respetivamente, o sistema *poka-yoke* (figura 53) permite a rápida identificação de falhas ou erros, e previne a montagem ou produção incorreta de peças.

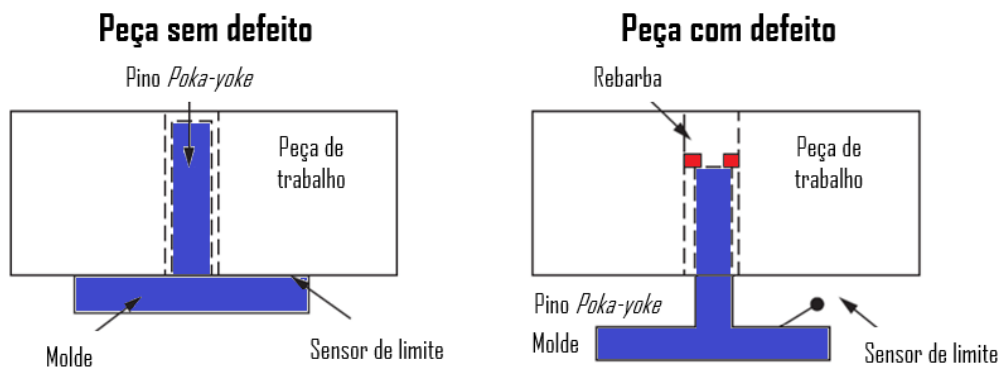


Figura 53 – Sistema *poka-yoke*. Fonte: Adaptado de Hirano (2009)

Depois de percorrido um longo caminho, com a certeza que os ganhos perdurarão no tempo, deve-se finalizar o projeto compilando a informação mais relevante no *project charter* e formar as *lessons learned* do trabalho desenvolvido. Registrar e transmitir as lições aprendidas é fundamental, como identifica Juran e Godfrey (1999, sec. 5.51) através de uma proposição do filósofo George Santayana, “aqueles que não conseguem relembrar o passado estão condenados a repeti-lo”. O autor defende que existe uma sucessão de etapas universais para a melhoria, que estabelecem um padrão comum para o ciclo de vida dos projetos, no qual, o documento final deve conter um resumo dos resultados alcançados e uma narrativa das ações tomadas para a resolução dos problemas, sendo que se deve identificar as *lessons learned* para a sua replicação em toda a organização.

Segundo Kubiak (2012), as *lessons learned* devem conter tanto as aprendizagens negativas, como as positivas, a intenção da identificação destas sentenças, é a de reunir e expor o conhecimento chave, para que se possa potenciar futuros projetos de melhoria. Exatamente, como expõe Liker (2003), na Toyota as *lessons learned* são o centro da melhoria, para eles o nível máximo do pensamento Toyota é a aprendizagem organizacional.

²⁶ Trabalho padrão

Interessa referir que algumas das ferramentas abordadas para utilização durante a aplicação do ciclo DMAIC podem ser empregues em mais que uma etapa, de notar que algumas delas não têm necessariamente de ser aplicadas nas fases em que foram apresentadas. Na figura seguinte (figura 54) podemos observar o referido, as ferramentas devem ser aplicadas consoante as necessidades da equipa *six sigma*.

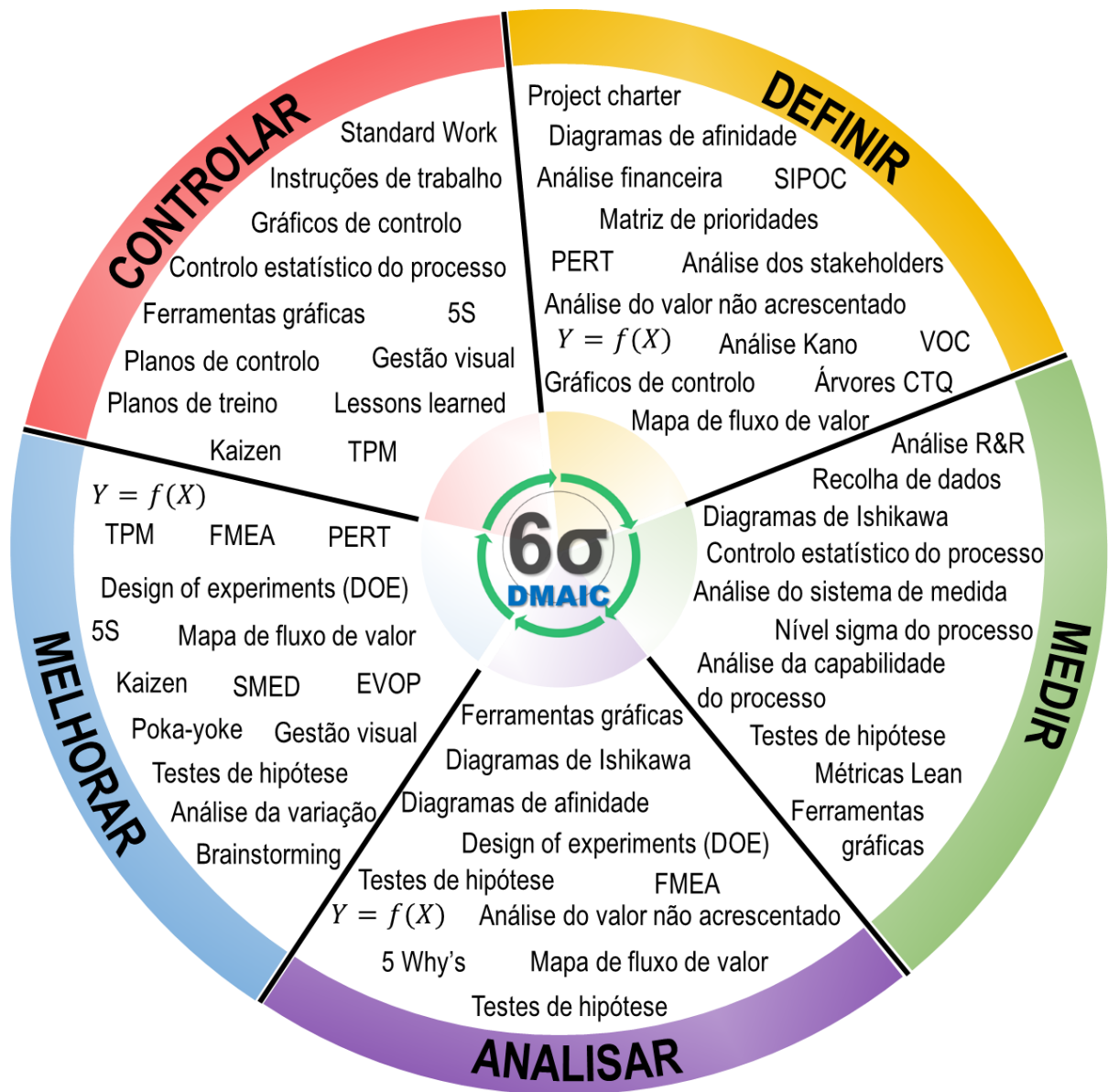


Figura 54 - Ferramentas possíveis de aplicar em cada etapa do ciclo DMAIC. Fonte: Própria e adaptado de M. L. George (2003), Werkema (2012) e Kubiak (2014)

4. Processos de corte

A indústria já conhece o corte desde os seus primórdios no final do século XVIII, visto que, foi a primeira tecnologia de fabrico descoberta pelo *homo*²⁷ (Roser, 2016). Os processos de corte por remoção de aparas consistem, sucintamente, na remoção de material indesejado da peça a ser trabalhada, o corte é um processo subtrativo, contrariamente a outros processos de fabrico, como a soldadura ou impressão tridimensional, que são processos aditivos.

Como já foi referido anteriormente, o cerne do trabalho é relativo a processos de corte numa indústria automóvel, mais propriamente aos processos de fresagem. A fresagem integra-se nos processos de maquinagem convencionais, juntamente, com o torneamento, a furação, entre outros.

4.1 Fresagem

Segundo Smith (2008), a fresagem é uma “ação de corte intermitente”, isto porque cada inserto ou lâmina da ferramenta de corte, individualmente, entra e sai de forma contínua durante o processo de corte, ao invés do torneamento, onde o corte é contínuo, isto é, a fresa está sempre em contacto com a peça de trabalho. Para Trent e Wright (2000), as intermitências das arestas de corte no trabalho provocam fadiga térmica e mecânica à ferramenta, isto deve-se ao facto de os dentes de corte sofrerem tensões e aquecimento durante o ciclo de corte, e de seguida ficarem livres de tensões e de calor. Como refere Schneider (2002, 33), uma das características da fresagem, “é que cada dente de corte remove a sua parte de material na forma de pequenas aparas individuais”.

Na fresagem existem três tipos básicos de operações, a fresagem de topo, a tangencial e a frontal ou de faceamento. De acordo com Machado et al. (2009, 11) nas operações de fresagem, “a ferramenta gira enquanto a peça, presa à mesa, é responsável pelos movimentos de avanço longitudinal e transversal”, mas “em situações especiais, a peça pode ficar estática enquanto a ferramenta realiza todos os movimentos”. A figura 55 esquematiza os diferentes tipos de fresagem.

²⁷ Primata

4 – Processos de corte

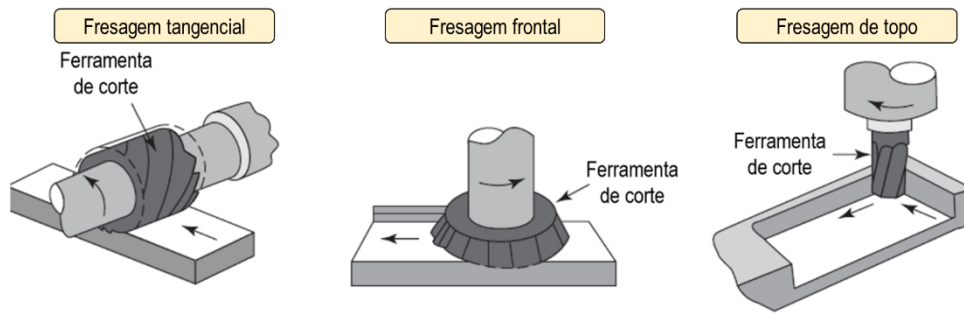


Figura 55 – Diferentes tipos de fresagem. Fonte: Adaptado de Schneider (2002)

Em termos de direção do movimento de maquinagem ou avanço, interessa referenciar devido ao facto que esta tem implicações no desempenho e no tempo de vida útil da ferramenta. O avanço pode-se realizar num movimento concordante ou discordante, a diferença encontra-se apresentada na figura 56. O movimento concordante acontece quando a rotação da ferramenta é realizada no mesmo sentido que o avanço, assim sendo aquando realizados em sentidos opostos, estaremos a falar do movimento discordante. Segundo Schneider (2002), o movimento de corte concordante produz um melhor acabamento à peça e aumenta o tempo de vida útil da ferramenta, todavia, se a superfície de trabalho for altamente abrasiva, o movimento discordante terá melhor desempenho em termos de desgaste da ferramenta.

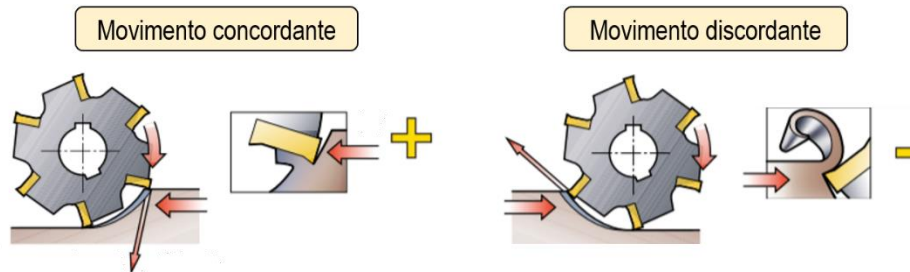


Figura 56 – Diferentes tipos de movimentos de corte. Fonte: Adaptado de Atkins (2009)

De acordo com Stephenson e Agapiou (2016), a fresagem é mais difícil de estudar que o torneamento, isto porque, a cinemática da fresagem é mais complexa e as forças de corte são periódicas e estimulam vibrações harmónicas. Como refere Machado et al. (2009), os processos de corte por arranque de aparas são imprevisíveis, o estudo dos mesmos ou compreensão dos processos é adquirido com o tempo através da tentativa/erro, ou por meio de experimentação, ou segundo modelos matemáticos.

4.1.1 Condições de corte na fresagem

Nas diversas operações de corte, as condições a que sujeitamos a nossa ferramenta, máquina e peça de trabalho são muito preponderantes, no que toca à durabilidade da

ferramenta de corte e ao acabamento da peça de trabalho. Deste modo, como refere Schneider (2002), as condições de corte como a velocidade de corte e avanço devem ser adequadas para equilibrar aspetos como a remoção de material e o tempo de vida útil da ferramenta.

As condições de corte, quando corretamente definidas, são essenciais para potenciar a vida útil das ferramentas de corte, assim sendo, de seguida serão apresentadas algumas equações e esquemas a explicar os parâmetros de corte mais importantes num processo de fresagem. As equações e a maioria dos esquemas foram retirados do livro *Fundamentals of Modern Manufacturing - Materials, Processes, and Systems* de Groover (2013). A figura 57 irá ajudar à compreensão dos parâmetros de corte apresentados em baixo.

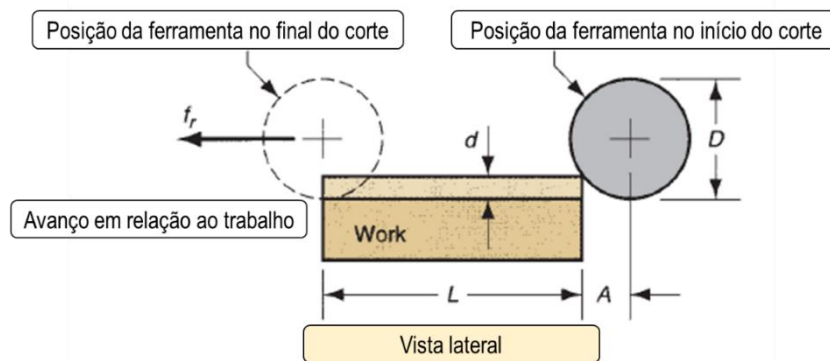


Figura 57 – Nomenclatura e esquema representativo da fresagem. Fonte: Adaptado de Groover (2013)

Segundo Stephenson e Agapiou (2016), o desempenho da fresagem está relacionado com os materiais envolvidos, a geometria da ferramenta, a velocidade do *spindle*²⁸ e a velocidade de avanço. Deste modo, torna-se essencial perceber como se pode obter a velocidade de rotação (N) do eixo árvore da ferramenta de corte. A velocidade de rotação é a conversão da velocidade de corte (V) em número de ciclo rotacionais por minuto.

$$N = \frac{V}{\pi * D} \quad [1]$$

Sendo:

N = Velocidade de rotação [rpm];

V = Velocidade de corte [mm/ min];

$\pi * D$ = Perímetro da ferramenta de corte;

²⁸ Fuso/ eixo/ veio

4 – Processos de corte

Como refere Schneider (2002), depois de se encontrar a velocidade de corte ou rotação é necessário estabelecer uma velocidade de avanço (f_r) adequada ao corte. Nas operações de corte, a velocidade de avanço é traduzida como o movimento linear, que a ferramenta percorre a uma taxa constante sobre a peça de trabalho, num intervalo de tempo especificado.

$$f_r = N * n_t * f \quad [2]$$

Sendo:

f_r = Velocidade de avanço [mm/ min];

n_t = Número de dentes;

f = Avanço por dente [mm/ t];

Na velocidade de avanço existe um conceito importante a ter em conta, o avanço por dente (f). A intermitência da fresagem pode-se compreender através deste conceito, o avanço por dente é a distância percorrida por cada aresta de corte em cada ciclo rotacional da ferramenta. Na figura seguinte (figura 58) podemos visualizar o significado deste conceito.

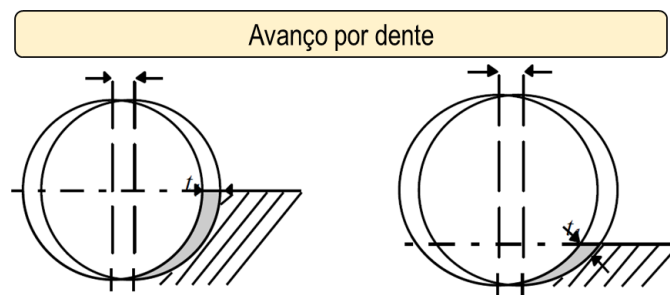


Figura 58 - Representação do avanço por dente por rotação. Fonte: Adaptado de Hubert e Pham (2003)

A taxa de remoção de material (R_{MR}) é um conceito também interessante de se analisar, a influência entre o avanço, a profundidade (d) e largura (w) de corte podem ser importantes no que toca à durabilidade da ferramenta de corte (ver figura 59).

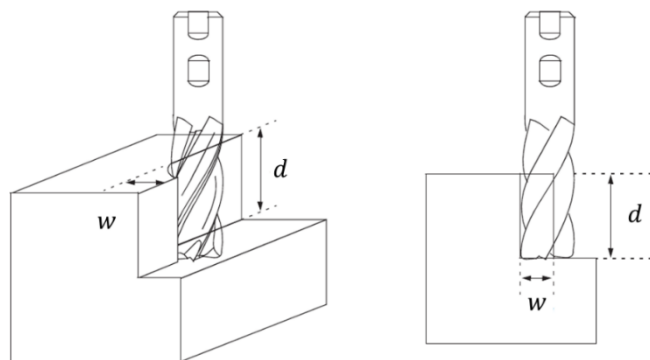


Figura 59 - Nomenclatura e esquema representativo da profundidade e largura de corte. Fonte: Trent e Wright (2000)

$$R_{MR} = w * d * f_r \quad [3]$$

Sendo:

R_{MR} = Taxa de remoção de material (*Material removal rate*) [mm^3/min];

w = Largura [mm];

d = Profundidade [mm];

A distância A está representada na figura 57, A é a distância entre o centro da ferramenta e a periferia da ferramenta, que está em contacto com a peça de trabalho, a equação 4 relaciona a profundidade de corte com o diâmetro da ferramenta.

$$A = \sqrt{d * (D - d)} \quad [4]$$

Sendo:

A = Distância [mm];

Um aspeto muito relevante, que é necessário calcular, por vezes em processos industriais, é o tempo que demora a maquinar uma peça T_m . Aqui podemos ver a necessidade de cálculo da distância A , pois só assim será possível descobrir o tempo T_m .

$$T_m = \frac{L + A}{f_r} \quad [5]$$

Sendo:

T_m = Tempo que demora a maquinar a peça [min];

L = Distância de trabalho [mm];

Todavia, se a tipologia de corte for diferente da figura 57, o valor da distância A calcula-se de modo diferente, como podemos ver nos esquemas e equações abaixo apresentadas (figuras 60 e 61).

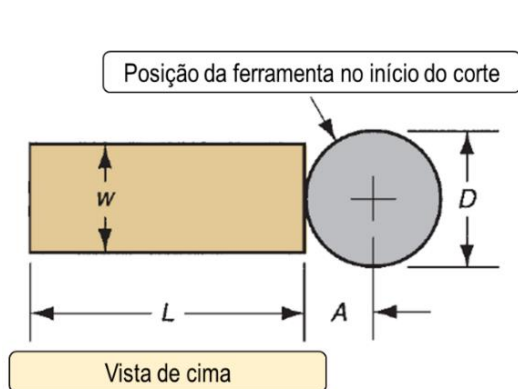


Figura 60 - Nomenclatura e esquema representativo da fresagem. Fonte: Adaptado de Groover (2013)

$$A = 0,5 * (D - \sqrt{D^2 - w^2}) \quad [6]$$

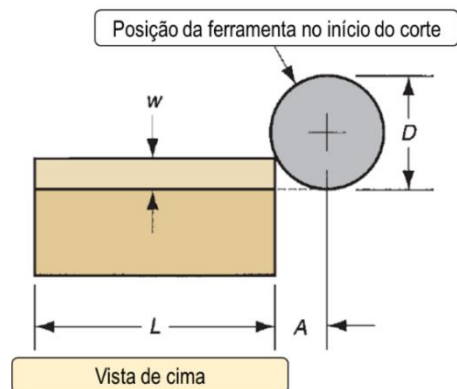


Figura 61 - Nomenclatura e esquema representativo da fresagem. Fonte: Adaptado de Groover (2013)

$$A = \sqrt{w * (D - w)} \quad [7]$$

4.2 Desgaste

Segundo Machado et al. (2009), podemos ter uma dureza e resistência ao desgaste muito elevada, no entanto, a ferramenta sofrerá sempre um processo de desgaste, que mais cedo ou mais tarde levará à troca da ferramenta. O estudo e a compreensão do desgaste ocorrido nas ferramentas são muito importante, pois só assim será possível adotar medidas, de modo a potenciar a vida útil da ferramenta de corte.

Nos processos de corte, o desgaste surge quando o gume ou aresta de corte começa a perder as suas características iniciais, normalmente, a ferramenta irá apresentar um formato boleado, fraturado ou até mesmo com crateras. Na figura 62 consegue-se visualizar quais os locais mais comuns de ocorrência das falhas nos processos de corte.

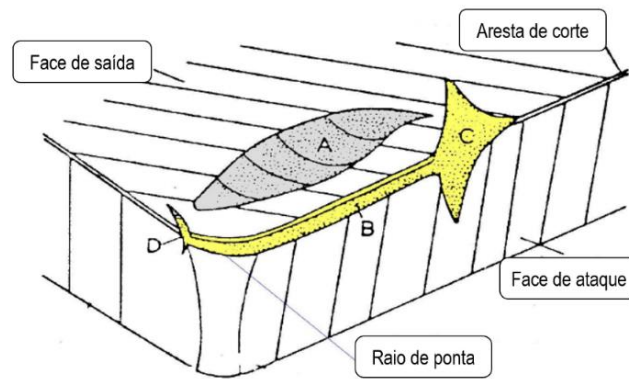


Figura 62 - Deteriorações mais comuns numa ferramenta de corte. Fonte: Adaptado de Machado et al. (2009)

De acordo com ISO 8688 (2016) existem dois grandes grupos de desgaste, os que causam uma rutura abrupta da ferramenta e aqueles que originam um desgaste gradual e contínuo da ferramenta, é frequente designar as primeiras como avarias e as segundas como desgaste (figura 63).

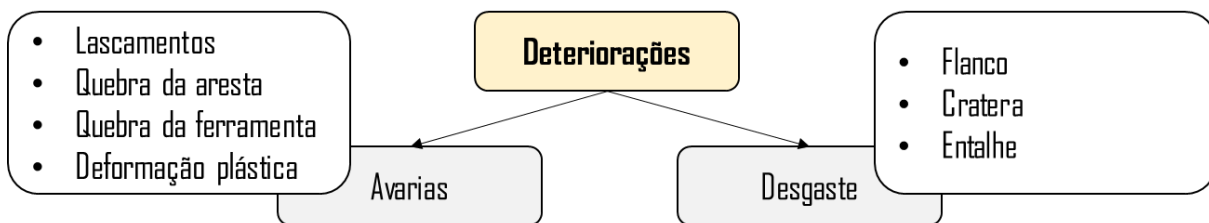


Figura 63 - Tipos de deteriorações. Fonte: Adaptado de ISO 8688 (2016)

Um melhor entendimento das deteriorações pode levar a uma rápida compreensão das causas da sua origem, como referenciado anteriormente, o desgaste é impossível de eliminar,



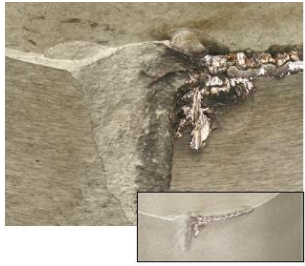
4 – Processos de corte

mas é possível potenciar a vida útil da ferramenta. Na tabela 7 podemos verificar os diferentes tipos de deteriorações, as suas causas e possíveis soluções de melhoria.

Tabela 7 - Causas e soluções para os diferentes tipos de deteriorações. Fonte: Adaptado de Sandvik (2017)

Deterioração		Causa	Solução
Lascamento		Pode haver várias combinações de mecanismos de desgaste que causam lascamentos. No entanto, as causas mais comuns são termomecânicas e adesivas.	É possível aplicar medidas preventivas diferentes para minimizar o lascamento, dependendo do mecanismo/ mecanismos de desgaste que o causaram.
Quebra da aresta		As arestas de corte quebradas em forma de pente ocorrem como resultado de variações bruscas na temperatura.	Para evitar que elas ocorram, pode-se usar uma ferramenta mais tenaz e aplicar refrigeração em quantidade abundante, se possível.
Quebra do inserto		A aresta de corte foi exposta a uma carga maior do que pode resistir. Isto pode ocorrer quando se permite que o desgaste evolua demais, causando maiores tensões de corte. Também pode ser causado prematuramente devido a condições de corte incorretas ou relativo a problemas de estabilidade na preparação do processo de corte (setup).	Deve-se identificar e evitar o tipo de desgaste original, selecionando as condições de corte apropriadas e verificando a estabilidade da preparação do processo de corte (setup).
Deformação plástica		A aresta de corte está sujeita a altas tensões de corte e temperaturas, que resulta num estado de tensão que excede a resistência da ferramenta à temperatura de trabalho.	A deformação plástica pode ser controlada usando materiais com maior dureza a quente. Os revestimentos melhoram a resistência à deformação plástica da pastilha (ferramenta).

4 – Processos de corte

Deterioração		Causa	Solução
Flanco		Durante o corte, o material da ferramenta desprende do flanco, devido ao atrito contra a superfície do material da peça. Geralmente o desgaste começa na aresta de corte e gradualmente se propaga para baixo.	A redução da velocidade de corte e, simultaneamente, o aumento do avanço resultará no aumento da vida útil da ferramenta mantendo a produtividade.
Cratera		As crateras ocorrem como resultado do contato da apra com a face de saída da ferramenta.	Reduzir a velocidade de corte e escolher uma ferramenta com a geometria correta e uma cobertura mais resistente ao desgaste aumentará a vida útil da ferramenta.
Entalhe		Pode estar relacionado com o aumento irregular do desgaste adesivo ou térmico. Neste último caso, o endurecimento da peça e a formação de rebarbas são fatores importantes para o desgaste tipo entalhe.	Para materiais que causam endurecimento na peça, selecione um ângulo de posição menor e/ou varie a profundidade do corte.

A maioria das deteriorações apresentadas na tabela, verificam-se em processos de corte, como o torneamento, no entanto, estes fenómenos ocorrem também na fresagem, sendo que, mais incidentes em ferramentas de corte com diâmetros maiores, os vários tipos de desgaste derivam do modo de utilização das ferramentas. (Bjurka, 2011)

As ferramentas de corte com diâmetros maiores têm uma caracterização do desgaste um pouco diferente das fresas com diâmetros menores, o facto de terem um diâmetro maior e várias arestas de corte, neste caso pastilhas ou insertos, possibilita a obtenção de um melhor desempenho face ao desgaste, pelo que, estas ferramentas são também, maioritariamente, utilizadas para trabalhos de corte como o desbaste, onde a precisão não é necessária. De facto, as fresas com diâmetros menores estão, frequentemente, associadas a trabalhos de maior precisão, pelo que, o desgaste tem uma maior preponderância quando, falamos em ferramentas de menor diâmetro, como se pode observar no artigos publicados na *web of science* por An et al. (2020), Alhadeff, Marshall, e Slatter (2019), Huang et al. (2020) e Monkova et al. (2020a).

Em termos de vida útil da ferramenta, Smith (2008) relaciona as velocidades de avanço e corte entre si, o autor refere que quanto mais baixas forem, maior será a durabilidade das ferramentas de corte. Todavia, o mesmo afere que a geometria da ferramenta tem uma grande preponderância nesta relação de velocidades, isto tudo em termos térmicos e mecânicos, uma vez que a geometria pode influenciar na dissipação do calor e no alívio das tensões de corte. Na figura seguinte (figura 64) podemos analisar a trilogia de Smith, onde as velocidades de corte e de avanço são variáveis e determinantes na vida útil da ferramenta, subentendendo, que outros aspetos, como a geometria, a profundidade de corte, os materiais, entre outros, são considerados constantes num processo de otimização de uma dada ferramenta definida e utilizada no processo.

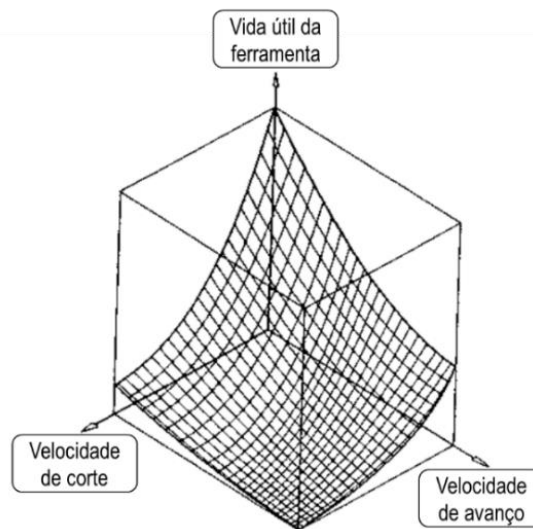


Figura 64 - Trilogia de Smith. Fonte: Smith (2008)

Não obstante, mas para Dolinšek e Kopač (2006) o desgaste nas fresas com um diâmetro menor ocorre, maioritariamente, pela velocidade de avanço da fresa e não pela velocidade de corte. De acordo com ele este fenómeno ocorre devido aos mecanismos de desgaste originados pelos movimentos da ferramenta de corte.

Além do enunciado anteriormente, na figura que se segue (figura 65), podemos verificar qual é a evolução típica do desgaste de uma fresa segundo o número de metros de material cortado. O que se pode observar é uma evolução abrupta do desgaste nos primeiros cortes, uma estabilização e subida controlada, e num último instante uma deterioração repentina antes da fratura.

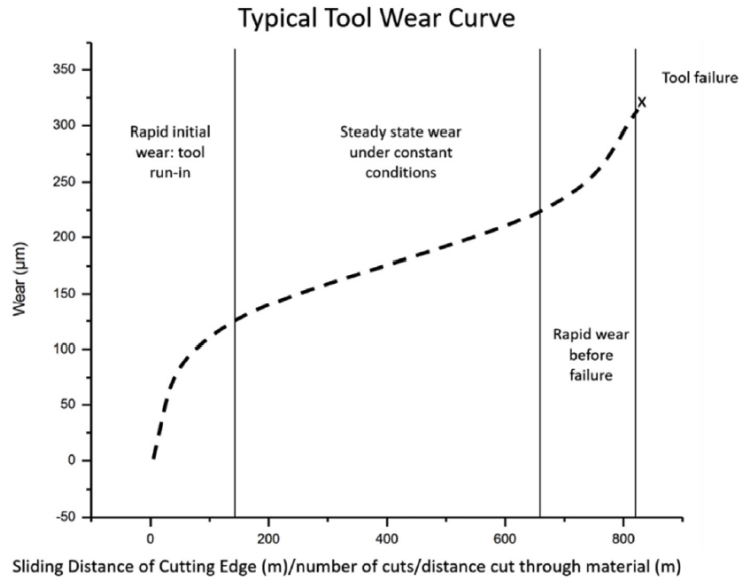


Figura 65 - Curva típica de desgaste de uma fresa. Fonte: Alhadeff, Marshall, e Slatter (2019)

O calor tem uma forte influência na durabilidade das ferramentas, a grande maioria do trabalho mecânico de maquinagem transforma-se em calor, no qual se dissipa através do conjunto ferramenta, material e meio envolvente. Como se pode verificar na imagem apresentada em baixo do lado esquerdo (a), o autor refere que o calor se propaga por três zonas diferentes, sendo que uma é na região interna do material devida ao atrito provocado pela deformação plástica, consequente do escorregamento e nas outras zonas devido ao atrito gerado entre a ferramenta e as áreas adjacentes ao material. Para Klocke (2011), como se pode ver na figura apresentada abaixo do lado direito, a concentração de calor no corte é superior na região interna do material, no qual a temperatura se propaga pela apara (figura 66).

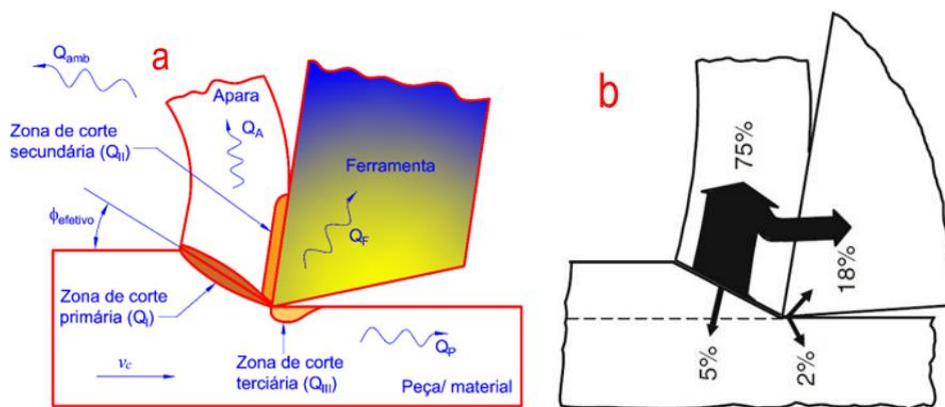


Figura 66 - Concentrações de calor na ferramenta de corte. Fonte: Jesus (2019) e Klocke (2011)

O facto de a fresagem ser uma operação de corte intermitente é prejudicial ao ciclo de vida da ferramenta, como refere Klocke (2011) os danos causados na aresta de corte (fraturas) são resultado das tensões térmicas alternadas, isto porque, durante o corte, o dente da ferramenta

atinge altas temperaturas quando ataca a peça de trabalho, enquanto que, quando perde o contacto com a peça o gume arrefece.

O corte intermitente também causa atenuantes na ferramenta devido às forças exercidas de forma descontinuada, sendo que as forças exercidas entre a peça e a ferramenta, através da fricção, são acionadoras do calor que afeta grandemente a ferramenta, a combinação destes dois fatores irá ter uma forte influência no desempenho da ferramenta. Na figura 67 podemos visualizar quais as forças a que a ferramenta e a peça estão sujeitas, desprezando o atrito.

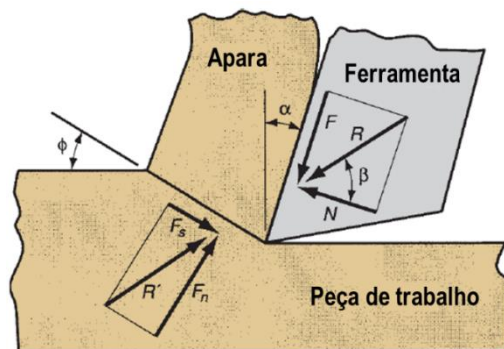


Figura 67 - Esquema representativo das forças realizadas entre a ferramenta e a peça. Fonte: Groover (2013)

4.3 Formação da apara

Segundo Trent e Wright (2000), as aparas formam-se com o cisalhamento da peça de trabalho, desde a aresta de corte da ferramenta até à posição da parte superior de saída da apara da peça de trabalho. Uma grande tensão é aplicada nesta região por um periodo de tempo muito curto, sendo que nem todos os materiais conseguem aguentar esta força sem se fraturarem. As figuras seguintes (figura 68) exemplificam o esquema de remoção de material e formação de apara numa operação de corte.

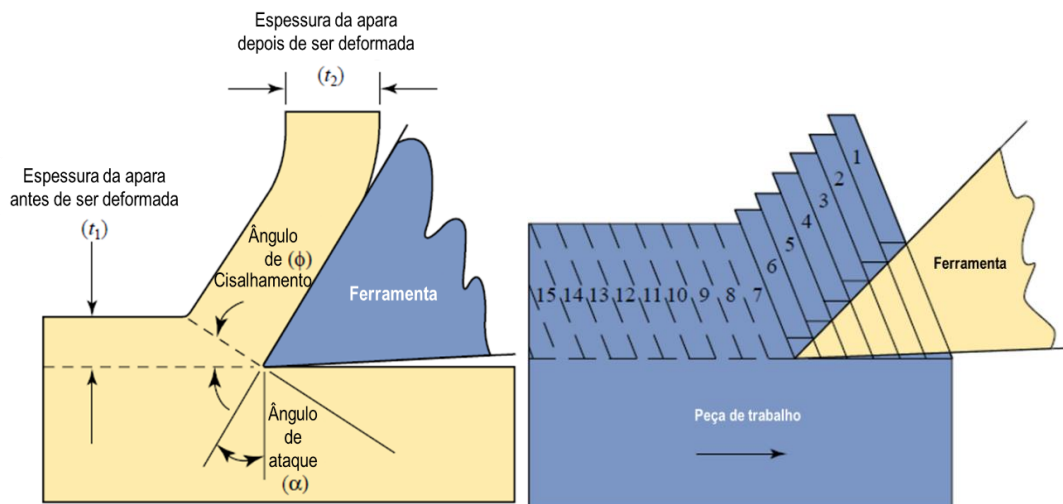


Figura 68 - Esquema representativo da formação de apara (corte ortogonal). Fonte: Schneider (2002)

4 – Processos de corte

A formação da apara ocorre devido à deformação plástica que se faz incidir pela ferramenta numa certa região da peça a ser trabalhada, deste modo excedendo o limite elástico (Schneider, 2002). Como se pode ver na figura 69, o autor (2002) refere que a formação de apara ocorre devido à separação/ quebra da estrutura cristalina do material. Stephenson e Agapiou (2016) afirmam que, as aparas podem ter as mais variadas formas e tamanhos, que variam consoante o tipo de processo de corte e ferramentas utilizadas, se falarmos em torneamento o tipo de apara será, maioritariamente, do tipo contínuo, mas se falarmos de fresagem, a apara será do tipo descontínuo, na figura que se segue podemos ver alguns exemplos de aparas.






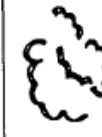







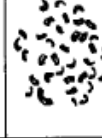




1 Ribbon chips ¹⁾	2 Tubular chips ¹⁾	3 Spiral chips	4 Washer-type helical chips ¹⁾	5 Conical helical chips ¹⁾	6 Arc chips ²⁾	7 Elemental chips	8 Needle chips
1.1 Long 	2.1 Long 	3.1 Flat 	4.1 Long 	5.1 Long 	6.1 Connected 		
1.2 Short 	2.2 Short 	3.2 Conical 	4.2 Short 	5.2 Short 	6.2 Loose 		
1.3 Snarled 	2.3 Snarled 		4.3 Snarled 	5.3 Snarled 			

Figura 69 - Aparas mais comuns nos processos de corte. Fonte: ISO 3685 (1993)

As aparas podem agrupar-se em quatro grupos ou tipos distintos, a formação de apara descontínua, contínua, contínua com BUE (*Built-up edge*) e segmentada. A formação das diversas aparas é devida a uma série de aspetos, como a geometria da ferramenta, condições de corte, material, lubrificação, etc. Nas operações de corte, como o torneamento, é possível de identificar os diferentes tipos de apara, todavia, na fresagem é impossível de verificar devido à intermitência do corte. Assim sendo, a identificação dos tipos de apara pode ser pertinente no torneamento, pois pode permitir identificar alguma incongruência no processo. A figura que se segue (figura 70) esquematiza os diferentes tipos.

4 – Processos de corte

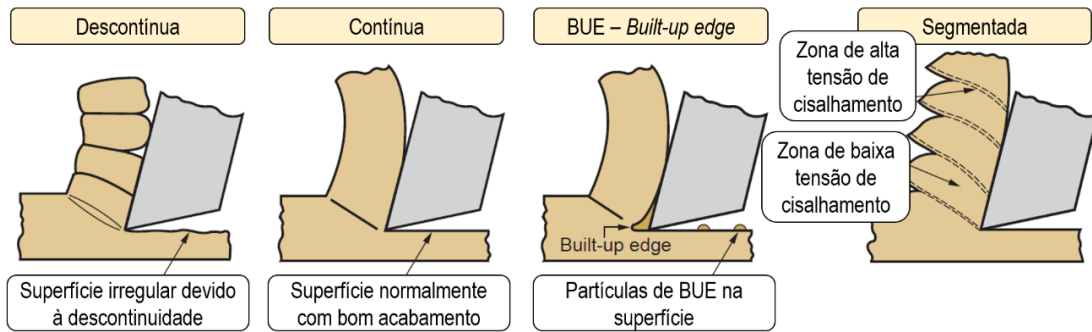


Figura 70 - Diferentes tipos de aparas. Fonte: Groover (2013)

A formação de apara descontínua, normalmente, surge devido ao excesso de tensão aplicada na zona do plano de cisalhamento, a apara surge com a rutura daquela região, na apara descontínua é comum surgir um acabamento fraco da superfície da peça de trabalho. (Schneider, 2002) A apara contínua, de acordo com Smith (2008), é gerada através de grandes velocidades de corte ou largos ângulos de ataque, embora que, quando são trabalhados materiais mais dúcteis possa ocorrer o fenómeno BUE, a característica deste tipo de apara centra-se no facto de se ir formando/ depositando uma camada de material na ponta da ferramenta e por vezes na superfície da peça. Por último, a apara segmentada, segundo Stephenson e Agapiou (2016), pode surgir quando a resistência ao escoamento do material diminui com a temperatura, deste modo levando a deformações localizadas.

ESTUDO DE CASO

O presente estudo de caso, como referido anteriormente, pretende apresentar o desenvolvimento prático da metodologia *six sigma* no meio industrial. O objeto de estudo são os processos de corte de uma indústria de componentes para automóvel, neste caso em específico, a fresagem de chaves com um código mecânico específico. O produto em causa está diretamente relacionado com os sistemas de acesso mecânicos, nomeadamente, os sistemas de bloqueio de direção ou ignição, e sistemas de fechaduras de porta para veículos automóveis, como se pode verificar na figura 71.



Figura 71 - Sistemas de acesso mecânicos. Fonte: Huf Group (2019)

O estudo tem como âmbito a demonstração da importância dos dados e a sua correta análise, nomeadamente, na redução de custos inerentes às ferramentas de corte (fresas). Deste modo, o objetivo de todo o trabalho centra-se no prolongamento ou aumento do tempo de vida útil das fresas.

Os processos de corte inserem-se todos em linhas de montagem de fechaduras para automóveis, a análise começará por incidir na linha de montagem 1, sendo que, a melhoria dos restantes processos decorrerá, posteriormente, aos primeiros resultados da linha 1. E se possível, as melhorias identificadas serão replicadas em todos os processos similares

Antes de ingressar na primeira etapa do ciclo DMAIC, importa referir que o projeto iniciou-se devido às crescentes pressões internas e externas à empresa, o clima de redução constante de custos levou ao despoletamento deste tema. Sendo que, o grupo Huf está a atravessar uma fase de reestruturação interna, deste modo, a tensão criada por acionistas e consultores na ótica da diminuição de gastos variáveis levou a que, a Huf Portuguesa adota-se uma estratégia de redução de custos de manutenção, neste enquadramento surge o projeto de melhoria dedicado aos processos de corte.

5. Six Sigma

No capítulo que se segue, pretende-se demonstrar o carácter prático e vantajoso da aplicação da metodologia DMAIC, no âmbito do *six sigma* na melhoria de processos industriais.

5.1 Definir

Depois de evidenciado o problema, podemos dar como iniciado o projeto de melhoria. No *six sigma* a primeira fase do ciclo DMAIC (figura 72) tem como intuito elucidar, os objetivos do problema exposto, apresentar o estado atual do processo e resumir todos os aspetos relevantes, sintetizando toda a informação num *project charter*.

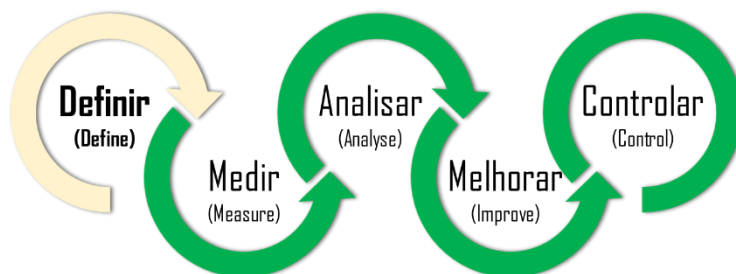


Figura 72 - Fase de definição.

Ao longo desta fase foram utilizadas diversas ferramentas e/ ou técnicas, que permitiram realizar a identificação do problema, assim como ajudar à compreensão de todo o processo de fresagem e as partes interessadas. Na tabela seguinte (tabela 8) é possível de verificar as diferentes etapas a concretizar nesta fase com o suporte das ferramentas e/ ou técnicas adequadas.

Tabela 8 - Técnicas/ ferramentas aplicadas na fase de definição.

Objetivo/ Etapa	Técnicas/ Ferramentas
Identificação do problema	P&L e Movimentos diários de custos de manutenção
Exposição do problema, dos objetivos, das ações, das responsabilidades e elementos da equipa	Project charter
Identificação dos fatores críticos de satisfação	VOC/ CTQ
Descrição do processo em análise	SIPOC

Como ponto fulcral do *six sigma*, interessa definir o *business case*, para isso, o ideal será apresentar a situação atual dos gastos com ferramentas de corte. Como se pode visualizar no

gráfico 3, no ano N-1 foram gastos 44.343 € ao longo de doze meses, em que N representa o ano de 2020.

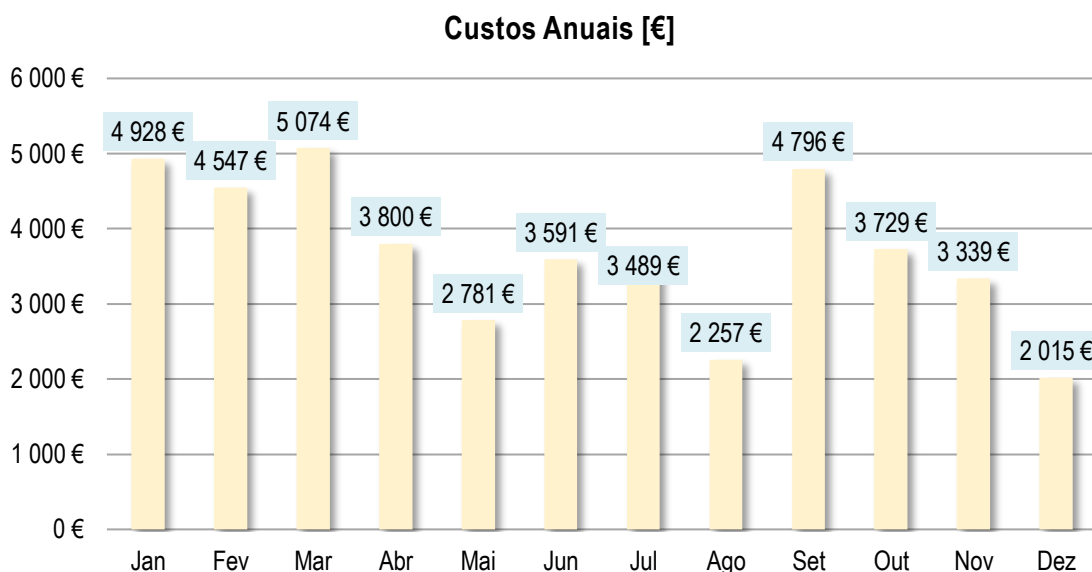


Gráfico 3 - Evolução anual dos custos em fresas.

Neste cenário, podemos comparar os custos em ferramentas, como sendo os nossos “custos de má qualidade (COPQ)”, a particularidade deste processo, comparativamente, com um processo de montagem, é que na montagem, a rejeição de algum tipo de componente pode ser evitada, recuperada e/ ou minimizada, no caso da fresagem apenas pode ser minimizado, visto que, as fresas têm um tempo de vida útil variável. Consoante a variação das variáveis de entrada do processo, como equipamentos, fresas, condições de corte, materiais, entre outros. Portanto as fresas acabam sempre por ser rejeitadas, na medida em que, é uma ferramenta de desgaste rápido. Na tabela que se segue (tabela 9), podemos verificar os gastos por linha e por ferramenta ao longo do ano, interessa salientar que uma linha pode ter mais que uma ferramenta ou vice-versa.

Tabela 9 - Evolução anual dos custos em fresas por linha de montagem (ano N-1).

Linha	1	2	3	4	5	6	7	Total (€)
Ferramenta	1		2	3	4	5		
Jan	1 806,00 €	1 120,00 €	591,14 €	975,60 €	434,76 €			4 927,50 €
Fev	1 176,00 €	945,00 €	1 719,68 €	54,20 €	652,14 €			4 547,02 €
Mar	1 512,00 €	875,00 €	1 827,16 €	352,30 €	507,22 €			5 073,68 €
Abr	1 386,00 €	840,00 €	0 €	921,40 €	652,14 €			3 799,54 €
Mai	840,00 €	350,00 €	107,48 €	758,80 €	724,60 €			2 780,88 €
Jun	1 428,00 €	245,00 €	0 €	975,60 €	941,98 €			3 590,58 €
Jul	1 449,00 €	630,00 €	107,48 €	650,40 €	652,14 €			3 489,02 €
Ago	798,00 €	140,00 €	214,96 €	379,40 €	724,60 €			2 256,96 €

Linha	1	2	3	4	5	6	7	Total (€)
Ferramenta	1	2	3	4	5			
Set	1 428,00 €	560,00 €	1 612,20 €	108,40 €	1 086,90 €			4 795,50 €
Out	1 932,00 €	385,00 €	0 €	542,00 €	869,52 €			3 728,52 €
Nov	1 470,00 €	350,00 €	107,48 €	542,00 €	869,52 €			3 339,00 €
Dez	1 134,00 €	175,00 €	0 €	54,20 €	652,14 €			2 015,34 €

Efetivamente, o problema centra-se nos elevados gastos em ferramentas de corte, a situação é transversal a todas as linhas de montagem de fechaduras da fábrica, além dos custos associados à troca das fresas, ainda existem outros fatores preponderantes, de modo que, os tempos de *set up* são também prejudiciais à produtividade dos grupos de trabalho, assim como, a dificuldade que se sente, aquando de utilizar espadins²⁹/ chaves já com algum grau de deterioração no corte, o fenómeno resume-se à perda de eficiência na montagem, que é reduzida drasticamente, visto que se torna difícil remover o espadim/ chave do interior da fechadura.

Antes de continuar com a exposição dos dados, importa esclarecer alguns dos termos utilizados, sendo que, quando for utilizado o termo corte ou fresado, estará a ser feita referência à zona sem material do espadim ou chave, do qual o espadim é nome técnico utilizado quando falamos apenas da parte fresada de uma chave, como se pode verificar na figura 73. Assim sendo, quando estivermos a falar em número de cortes, estaremos a referir-nos à quantidade de cortes realizados por uma fresa.



Figura 73 - Espadim por cortar à esquerda e espadim cortado à direita

Depois de conhecido o estado atual do problema, é possível de traçar a melhoria expectável para o período de trabalho previsto, por conseguinte, importa delinear e definir objetivos para o projeto. A maioria dos projetos foca-se na poupança esperada no final da tomada de ações, não desvirtuando muito do comum dos projetos, a equipa optou apenas por referenciar dois fatores, um foi a redução nos gastos em ferramentas (a), neste caso menor que 44.343 €, no mesmo período temporal de um ano, e também achou-se por bem perceber qual a evolução no valor da ferramenta pelo número de cortes realizados (b). Na tabela seguinte podemos verificar os valores do ano N-1, é de notar que na coluna do valor da ferramenta encontra-se apresentado o valor individual de cada fresa, entende-se por bem referenciar que

²⁹ Nome técnico utilizado quando falamos apenas da parte fresada de uma chave

cada equipamento leva um par de ferramentas, que cortam nas duas faces do mesmo espadim. A média de cortes é definida como o número de espadins que são fresados, ou seja, para o primeiro caso da tabela 10, por cada 10 000 espadins cortados, são consumidas/desgastadas duas fresas de corte.

Tabela 10 - Cálculo da situação atual do indicador (b) em €/ 1000 cortes.

Situação Atual				
Linha	Ferramenta	Custo unitário da ferramenta (€)	Média de cortes (unid.)	(b) €/ 1000 cortes
Linha 1	Ferramenta 1	21,00 €	10 000	4,2 €
Linha 2		21,00 €	20 000	2,1 €
Linha 3	Ferramenta 2	17,50 €	7 000	5,0 €
Linha 4	Ferramenta 3	53,74 €	15 000	7,2 €
	Ferramenta 4	27,10 €	13 000	4,2 €
Linha 5	Ferramenta 5	36,23 €	15 000	4,8 €
Linha 6		36,23 €	25 000	2,9 €
Linha 7		36,23 €	28 000	2,6 €

O segundo tópico (b) torna-se essencial, pelo que, se mesmo num cenário em que, o valor dos gastos em N sejam maiores que em N-1, a equipa conseguirá perceber se as ações de otimização foram viáveis ou não, pois no ano N, o aumento do valor de consumo pode ser superior devido ao facto de o volume de negócios ter aumentado.

Tipicamente, num projeto de melhoria faz-se uma comparação do valor em causa, neste caso os custos das ferramentas, com o valor das vendas, para que no final do projeto se possa comparar e ver qual a redução do valor percentual. Assim, mesmo que exista um aumento do valor do consumo de fresas, podemos entender que se deveu ao aumento da produção e não propriamente devido à variabilidade ou diminuição da capacidade do processo (tabela 11).

Tabela 11 - Custos de fresas em relação às vendas de sistemas de acessos mecânicos.

Mês	Vendas (€)	Custos (€)	%
Jan	4 565 871 €	4 928 €	0,11%
Fev	4 063 291 €	4 547 €	0,11%
Mar	4 353 997 €	5 074 €	0,12%
Abr	4 251 029 €	3 800 €	0,09%
Mai	3 900 021 €	2 781 €	0,07%
Jun	4 231 614 €	3 591 €	0,08%
Jul	3 639 161 €	3 489 €	0,10%
Ago	3 033 231 €	2 257 €	0,07%

Mês	Vendas (€)	Custos (€)	%
Set	4 531 496 €	4 796 €	0,11%
Out	4 882 787 €	3 729 €	0,08%
Nov	5 540 247 €	3 339 €	0,06%
Dez	3 099 355 €	2 015 €	0,07%

Os objetivos são definidos em consonância com a matriz da voz do cliente, o objetivo interliga-se com os fatores críticos de satisfação do cliente ou neste caso em específico critica para os custos. Numa fase inicial do projeto, apesar de já surgir apresentada na matriz em baixo exposta (figura 74), o valor da redução do tópico (b) não se encontra definida, sendo apenas calculada numa fase posterior aquando de serem conhecidas melhor as melhorias a serem implementadas. Como ponto de partida foi definido um valor objetivo de redução estimado entre 30% a 45% para o fator (b).

Em suma, com estes dois indicadores será possível compreender a eficácia das soluções implementadas e acompanhar o progresso do processo de melhoria. Entende-se, ainda que as duas métricas utilizadas surgem da necessidade de compreender se estamos a satisfazer as necessidades dos nossos clientes, que neste enquadramento específico têm um maior peso os externos (acionistas e consultores), provocando um processo descendente de tomada de ações sobre os clientes internos (gestão de topo).

VOC	Driver (What's behind?)	CTQ (Metric + Spec)
	Custo das ferramentas de corte	< 44.343,54 €/ ano (a)
Redução dos gastos em ferramentas de corte	Cost savings em ferramentas de corte	Valor da fresa/ N° total de cortes (€ / 1000 Cortes) Redução de 30 a 45% (b)



Figura 74 - Matriz da voz do cliente.

Com o intuito de explicar melhor o processo produtivo, foi estruturado um SIPOC, como se pode ver na figura 75 (Anexo 8). A vantagem da ferramenta é a versatilidade e a facilidade na transmissão e compreensão do processo, o mapeamento do processo é fundamental, pois só

assim será possível colocar toda a equipa ao mesmo nível de conhecimento necessário para a resolução do problema em questão.

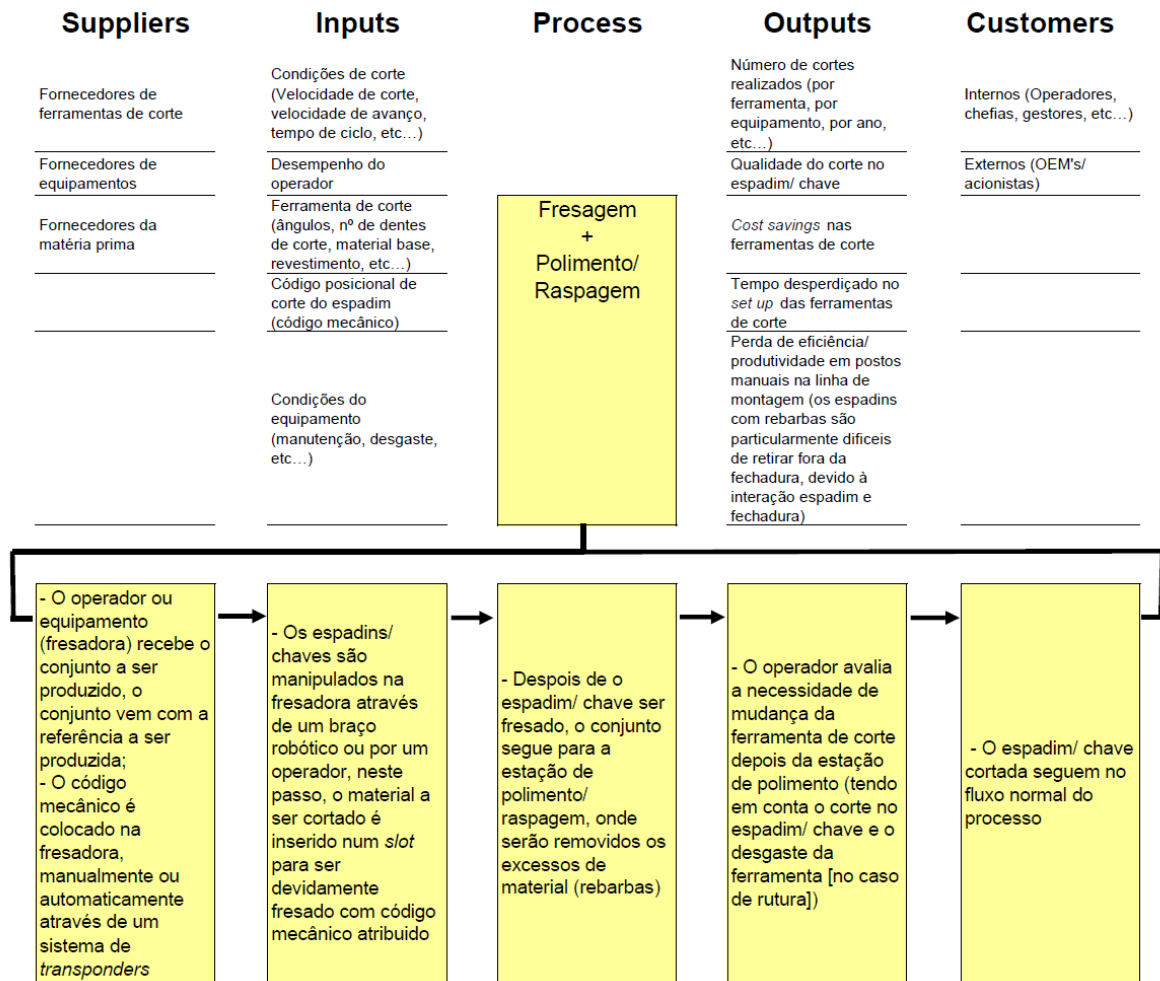


Figura 75 - Mapeamento do processo - SIPOC.

Quando nos referimos a um processo de corte como este, em que as tolerâncias dimensionais dos fresados apenas podem ter variações na ordem das cinco décimas de milímetro, podemos aferir que as ferramentas e equipamentos de corte (figura 76) tem de ser de alta precisão, embora que, não operem num ambiente tão controlado, como num centro de maquinagem comum.



Figura 76 - Exemplo de uma fresa (esquerda) e equipamento de fresagem (centro e direita) utilizado nos processos de fresagem das linhas de produção de acessos mecânicos.

As ferramentas de corte utilizadas nos processos de produção de sistemas de acessos mecânicos, têm na sua maioria diâmetros inferiores a 3,5 mm, que na sua maioria não podem variar mais que 0,05 mm, pois têm uma grande limitação no que respeita à redução do seu diâmetro por desgaste, já que tratando-se de um código mecânico, as tolerâncias são extremamente apertadas relativamente à variação do diâmetro aceitável no espadim/chave e as variações de profundidade também limitam a utilização de diferentes zonas da ferramenta de corte, mas de uma escala superior à anterior, ou seja, da ordem dos 0,1 mm para cada lado.. Isto significa que as ferramentas de corte neste tipo de processos têm uma grande limitação no que respeita à redução do seu diâmetro por desgaste, já que se tratando de um código mecânico, as tolerâncias são extremamente apertadas relativamente à variação do diâmetro aceitável no espadim.

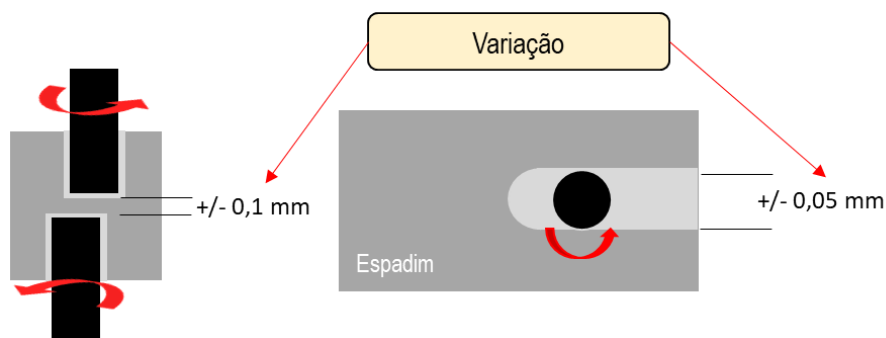


Figura 77 – Esquemática das tolerâncias mais comuns num código mecânico

Como em qualquer outro projeto de melhoria deve existir uma declaração formal do projeto, o *project charter* (figura 78). O documento é utilizado para obter a aprovação por parte da gestão para a utilização de recursos na execução das tarefas do projeto, pois é a compilação de toda a informação necessária à justificação do projeto de melhoria.



Huf Hulsbeck & Fürst

Project Name: Aumento do tempo de vida útil das ferramentas de corte Sponsor: D. Pinheiro
 Team: RF/DP/SP/JPR/CL/JCL Project No. PT-19-14
 Customer: Vários Product (family): Fechaduras Process Step: 0%

Project Leader R. Fernandes

Phone: -

Email: -

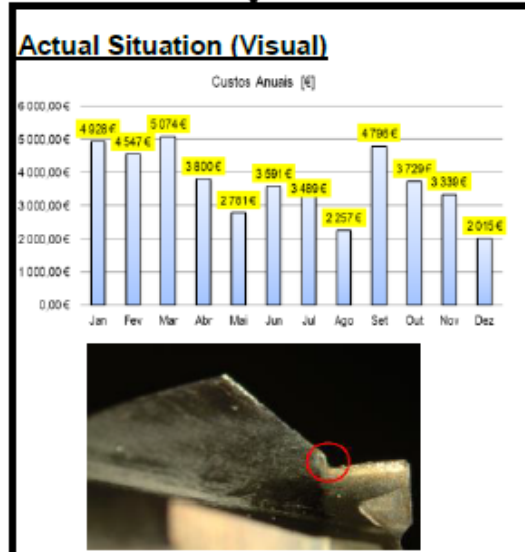
Date: 20/1/20

Written: 20/1/20

Updated:

Closure:

Background / Actual Situation
 Até aos dias de hoje a empresa tem gasto imenso dinheiro em ferramentas de corte, custos esses que têm enorme representatividade nos custos de manutenção.



Problem Statement
 Elevados gastos com ferramentas de corte;
 Tempo desperdiçado na troca de ferramenta (setup);
 Perda de eficiência/ produtividade nos trabalhos manuais;

Goal Definition / Expected Improvement
 Uniformização dos critérios de decisão;
 Aumentar o tempo de vida das ferramentas de corte;
 Reduzir os custos com ferramentas de corte;
 Reduzir o nº de trocas de ferramentas;
 Reduzir a entropia na linha de montagem;

Process Start/Stop: Inicia quando o conjunto chega à fresadora e para após a raspagem/ escovagem das chaves

Project Excludes: O projeto exclui qualquer local de manipulação das chaves/ espadins, exceto os mencionados acima

Project Indicators	Metric	N-1	N
Gastos anuais em fresas	€	44 344 €	
Valor da fresa/ Nº total de cortes	€/ 1000 Cortes	4,1 €	
Savings in € (when applicable) to N (Target):			24 130 €
Savings in € (when applicable) to N (Real):			

Plan of Measures

What	Who	When
Novas fresas	DP	W16
Otimização das condições de corte	DP/ RF	W8
Desempenho do operadores	RF	W15
Otimização dos critérios de decisão	RF	W9

Summary of Main Changes/of Lessons Learned

Improved Situation (Visual)

Reference Documents

Figura 78 - Project charter.

5.2 Medir

A fase de medição (figura 79) é de enorme relevância, o facto de o *six sigma* ser uma metodologia, que se baseia em dados, torna esta etapa das mais importantes para todo o projeto. Aqui existe uma necessidade de percebermos como iremos recolher e validar os nossos dados, pois só assim será possível verificar a variabilidade do nosso processo.

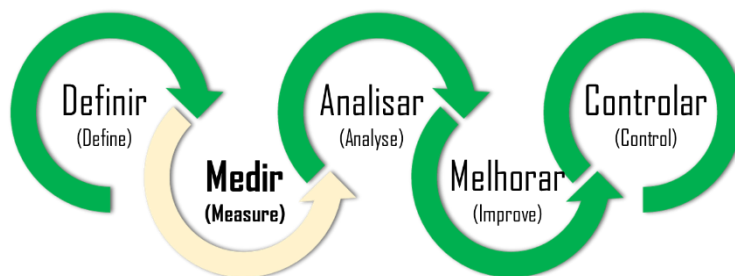


Figura 79 - Fase de medição.

Quanto às ferramentas e técnicas empregues nesta etapa, podemos visualizá-las na tabela 12.

Tabela 12 - Técnicas/ ferramentas aplicadas na fase de medição.

Objetivo/ Etapa	Técnicas/ Ferramentas
Recolha de dados	Microsoft Access®
Validação do sistema de medida	Gage R&R e teste de normalidade
Capability do processo (capacidade do processo)	Distribuição normal

5.2.1 Recolha de dados

As equipas *six sigma* na sua maioria das vezes têm dificuldade na decisão do que medir ou como medir, deste modo, deve-se ir em busca da informação mais relevante para a análise do problema em causa. Portanto, os dados a serem recolhidos para este projeto centram-se na quantidade ou número de cortes que uma fresa consegue realizar, pois só assim será possível perceber o tempo de vida útil de uma fresa.

Para a recolha de dados foi criada uma base de dados em Microsoft Access®, onde os operadores responsáveis pela fresagem, no final de rejeitarem a ferramenta devem retirar o valor do contador do equipamento e realizar o registo na base de dados. Como se pode visualizar na figura 80, os campos a serem preenchidos pelo operador são a linha de montagem a que pertencem, a data da troca, o equipamento em que foi retirada a ferramenta, o turno a que pertencem, o tipo de fresa, no caso de ser nova ou usada, o eixo do equipamento onde se

encontrava a ferramenta, a quantidade de cortes realizados pela ferramenta e o motivo pela qual a ferramenta foi rejeitada.

The image shows a software window titled "Registo" with a close button (X) in the top right corner. The main title is "Registo do consumo de fresas" in a yellow header. On the left is a logo for "Huf". The form contains the following fields and controls:

- Linha:** A text input field.
- Data:** A date input field.
- Equipamento:** A text input field with a sub-label "(Nº Huf)".
- Turno:** A dropdown menu.
- É uma fresa nova, se não. Quanto espadins já fresou? De que eixo é a fresa?** A section with a sub-label "Se for uma fresa nova, escreva 'novas'".
- Tipo de Fresa:** A dropdown menu.
- Eixos:** A dropdown menu.
- Quantidade Espadins Fresados:** A text input field with a sub-label "Se for nova, quantos espadins fresou? Se for usada, quantos espadins ainda fresou?".
- Motivo da Troca:** A dropdown menu with a sub-label "Porque é que trocou a fresa? Excesso de rabarba no espadim? Partiu a fresa?".
- Comentários:** A large text area with a sub-label "(OPCIONAL)".
- Buttons:** "OK", "Cancel", and "Novo Registo" (located at the bottom left).

Figura 80 - Base dados de registo.

Com o intuito de envolver os operadores no processo de melhoria, foi criada uma interface em Microsoft Excel®, onde os operadores podem consultar os dados que são inseridos na base de dados. Deste modo, será possível perceberem qual o impacto da troca de ferramenta na fábrica e assim compreenderem melhor a importância da melhoria do processo. Na figura 81, podemos verificar parte da informação possível de consultar.

5.2.2 Validação dos dados

A validação dos dados é imprescindível em qualquer análise estatística, a importância da validação centra-se na máxima, que informação errada levará a tomadas de decisão erradas. Assim sendo, é necessário validarmos o nosso sistema de medida, para isso será realizado um estudo R&R aos operadores responsáveis pela fresagem, de modo a compreendermos a fiabilidade do nosso sistema de medida, por conseguinte, será também verificada a normalidade dos nossos dados.

Os projetos *six sigma*, como sabemos seguem uma estrutura rígida, mas que ao mesmo tempo é flexível e dinâmica, por isso, de modo a compreendermos melhor a aplicação prática do ciclo DMAIC, será agora dado maior enfoque à linha de montagem 1.

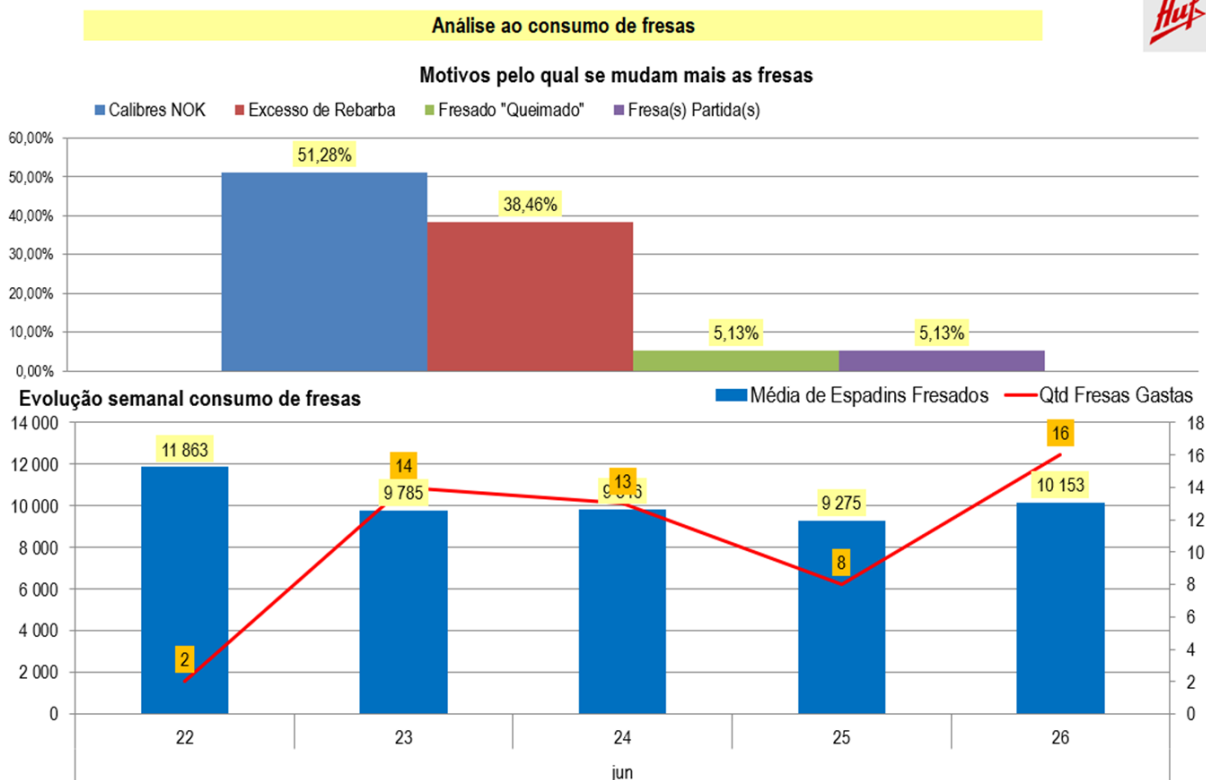


Figura 81 - Interface do utilizador.

Importa referir, que a análise do canal do fresado geralmente é o indicador para a troca das fresas de corte, mesmo que a qualidade da superfície de corte se mantenha adequada, o operador utiliza um calibre passa/ não passa por forma a validar que uma fresa nova, ao começar a cortar, não tem um diâmetro superior ao especificado, pelo que o calibre não passa, não pode passar ao longo do caminho/canal do fresado. Por outro lado, o calibre passa deve passar sempre pelo canal do fresado e de forma completa. Sempre e quando este calibre passa deixar de conseguir passar pelo canal de fresado, significa que a ferramenta de corte apresenta um desgaste que não permite que o canal de fresado tenha o diâmetro de acordo com o especificado.

- Linha 1

Para realizar o teste na linha de montagem 1 foram recolhidos dez espadins, dos quais quatro encontravam-se conforme (OK) e seis não conforme (NOK), sendo que três dos seis espadins foram rejeitados por terem o diâmetro do fresado fora de especificação (calibre NOK) e três por excesso de rebarba. Depois de recolhidos e identificados, os espadins foram entregues a um operador de cada turno e foi solicitado a cada um deles para classificarem os espadins

como conforme ou não conforme, também foi realizada uma avaliação por um *expert*³⁰ na temática. Os dados foram recolhidos para se proceder à validação do sistema de medida.

Os resultados do teste não foram conclusivos, pois durante a execução dos testes, denotou-se que à medida que os operadores utilizavam um calibre passa/ não passa (figura 82) para verificar o diâmetro do fresado, as rebarbas não visíveis dentro das paredes do fresado foram desaparecendo, sendo que, nas últimas avaliações os operadores estavam a dar como OK de forma generalizada, chaves que eram NOK. Por outras palavras, o fresado das chaves foi perdendo as suas características iniciais com o decorrer das avaliações.



Figura 82 - Exemplo de calibre passa/ não passa.

O fenómeno ocorreu, pelo facto de que, o desgaste das fresas dá-se na zona assinalada na imagem abaixo à esquerda, sendo que ao longo do tempo de vida útil da ferramenta o material começa a acumular no topo da parede do fresado e vai-se alastrando ao longo da parede do fresado, como demonstra a imagem apresentada abaixo à direita a vermelho (figura 83). Logo, com o passar sucessivo do calibre no espadim o material fragilizado vai sendo removido, o que leva a que as características iniciais do espadim sejam perdidas.

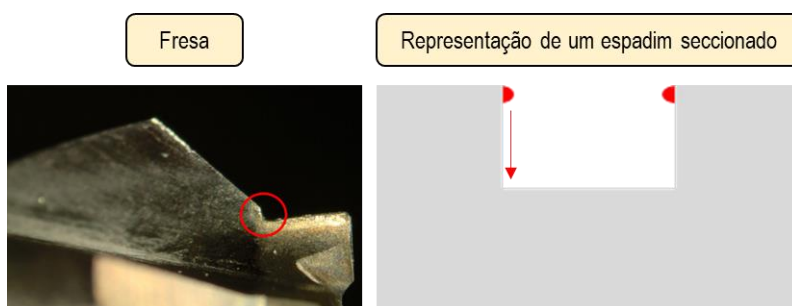

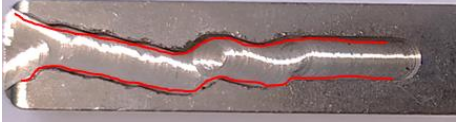



Figura 83 - Esquema explicativo do fenómeno ocorrido

Posto isto, de modo a conseguir realizar o teste foram recolhidos sessenta espadins, dos quais trinta se encontravam OK e os restantes NOK. Dos trinta não conformes, dez encontravam-se com o diâmetro do fresado fora de especificação, dez com excesso de rebarba e dez com o fresado queimado, na tabela 13 pode-se verificar os defeitos referenciados.

³⁰ Especialista

Tabela 13 - Defeitos utilizados para a realização do estudo R&R.

Defeitos	
Diâmetro fora de especificação (Calibre passa/ não passa)	
Excesso de rebarba	
Fresado queimado	

De modo, a evitar o sucedido na primeira avaliação, os espadins com o diâmetro não conforme foram escovados com uma trincha cortada, como se pode ver na figura seguinte (figura 84), de modo a retirar as pequenas rebarbas dentro das paredes do fresado.

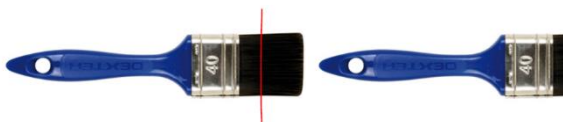


Figura 84 - Escovagem das rebarbas da parede do fresado.

Para reforçar a viabilidade dos testes, as avaliações foram divididas em duas análises, uma visual e outra com a utilização do calibre passa/ não passa (tabela 14).

Tabela 14 - Distribuição dos espadins por tipo de teste.

Avaliação	OK	NOK		
		Diâmetro	Excesso de rebarba	Fresado queimado
Visual	20	-	10	10
Calibre	10	10	-	-

Importa referir que o teste foi realizado duas vezes a cada operador e que o código mecânico de cada espadim, neste caso o desenho do corte no espadim, é igual em todos os espadins utilizados no estudo, para assim desta forma reduzir a variabilidade da avaliação. Os resultados foram recolhidos com o formulário no anexo 9 e as avaliações foram realizadas com um desfasamento temporal para evitar que os operadores se recordassem dos resultados da primeira avaliação. Depois de realizadas as avaliações, os dados foram tratados na ferramenta Minitab®, na figura 85 podemos ver que o resultado do estudo R&R é favorável, com um valor de 70%. Assim, podemos dizer que o nosso sistema de medição é aceitável

All Appraisers vs Standard

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
60	42	70,00	(56,79; 81,15)

Matched: All appraisers' assessments agree with the known standard.

Figura 85 - Resultado do estudo R&R.

No estudo ainda podemos aferir que o operador número dois é o que mais difere nas avaliações (gráfico 4), este é o que discorda mais com as avaliações dos seus colegas e do *expert*. Isto pode indicar que é necessária alguma formação/ treino do operador em termos de avaliação dos fresados.

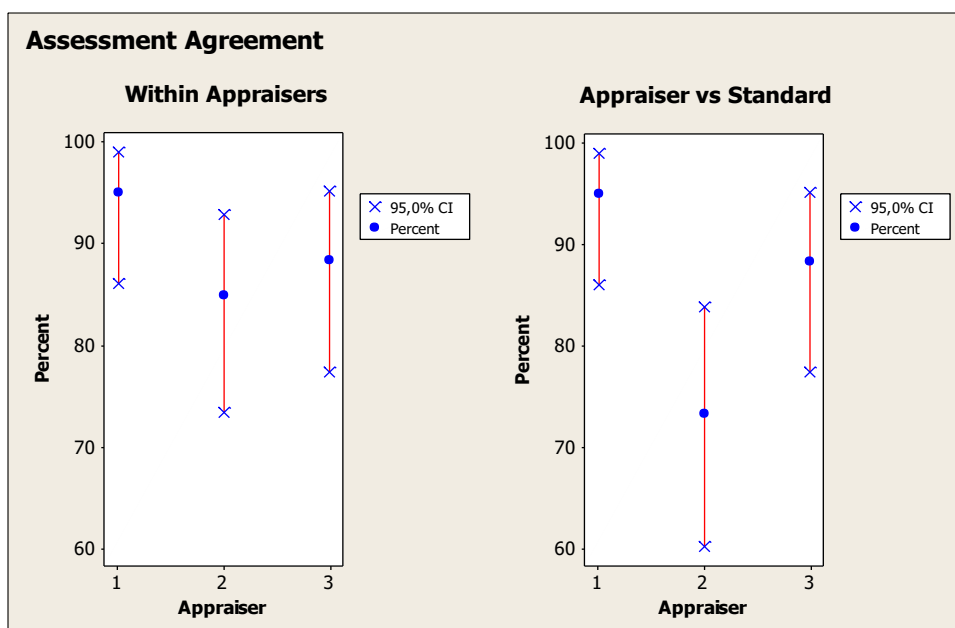


Gráfico 4 - Comparação das diferentes avaliações.

Depois de validado o nosso sistema de medida, torna-se também importante compreendermos se o nosso processo é normal. Caso os dados apresentem uma normalidade, podemos afirmar que o nosso processo é normal, se o processo não apresentar uma normalidade não será possível realizarmos uma análise estatística ao processo. Nesse caso, há que rever primeiro o processo, ou como em certos casos, podem existir processos de natureza instável. No gráfico seguinte (gráfico 5), podemos aferir que o valor de p é maior que 0,05 em ambos os equipamentos de fresagem, logo podemos aferir que o nosso processo segue uma distribuição normal, assim como, também se pode verificar com 95% de confiança que os dados seguem um padrão normal e não existem discrepâncias no processo, caso existissem estes cairiam fora das faixas apresentadas no gráfico ao longo da reta.

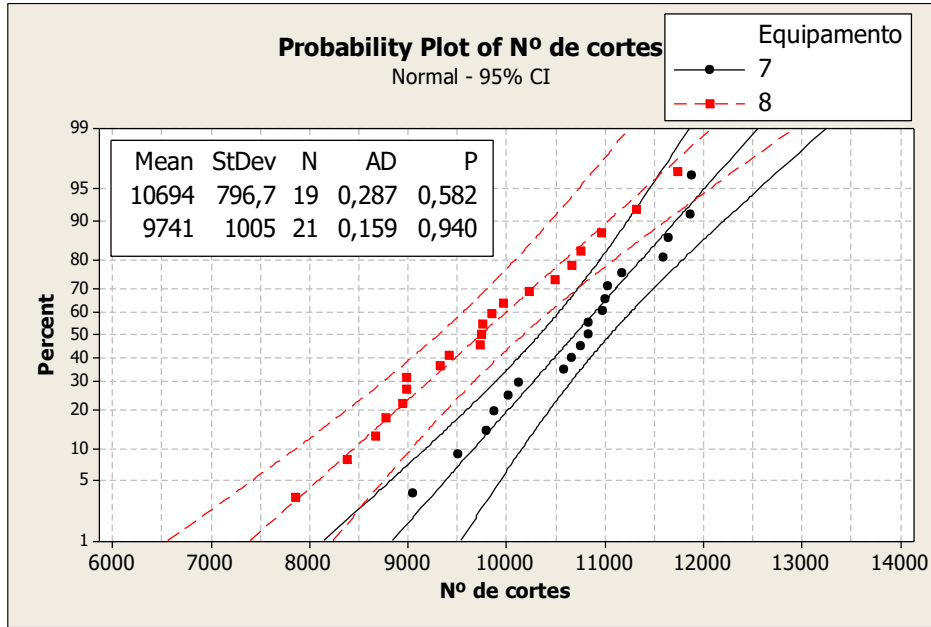


Gráfico 5 - Teste de normalidade na linha de montagem 1.

- Restantes linhas

No gráfico 6, podemos verificar a normalidade das restantes linhas da unidade industrial, sendo que os sistemas de medida se encontram em conformidade, também é relevante referir que o número de amostras não é igual em todos os processos, isto porque, no mesmo intervalo de tempo o número de turnos e a média de cortes de cada processo varia, ou seja, quanto maior for o número de turnos e menor for a média de cortes, maior será o número de amostras.

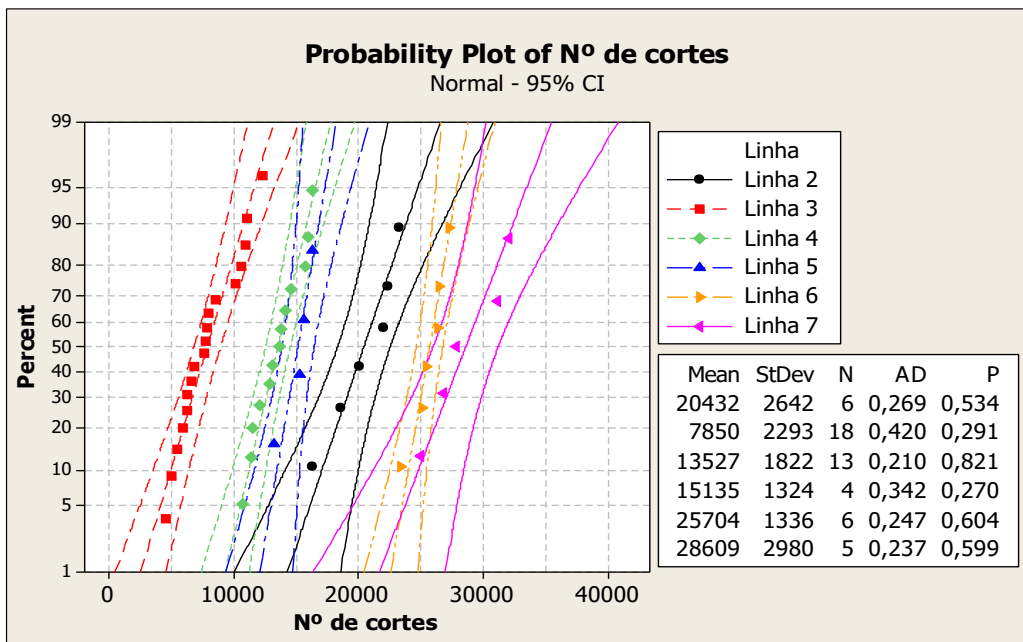


Gráfico 6 - Teste de normalidade nas restantes linhas de montagem.

5.2.3 Process Capability³¹

No *six sigma* é expectável, que se calcule o nível sigma do nosso processo, pois só assim será possível termos um valor de referência, para podermos comparar com outro processo ou compreendermos a evolução do nosso processo. Contudo, devido às especificidades do processo, não é possível calcular o nível sigma, isto porque, não existem intervalos de especificação para o número de cortes que as ferramentas devem realizar numa fresadora, que se encontra em ambientes não controlados, como produções em série.

No entanto, podemos utilizar a curva de gauss como um ponto de referência ao estudo, o objetivo será diminuir a variação e tentar deslocar a curva o máximo possível para a direita, o que se pretende é uma redução na variabilidade do processo e um aumento no número de cortes realizados pelo par equipamento e ferramenta de corte.

- Linha 1

No gráfico 7 podemos verificar que na linha 1, estamos perante um processo estável, tal como podemos verificar na normalidade dos dados, também é possível de evidenciar que a fresadora 7 apresenta um melhor desempenho que a fresadora 8.

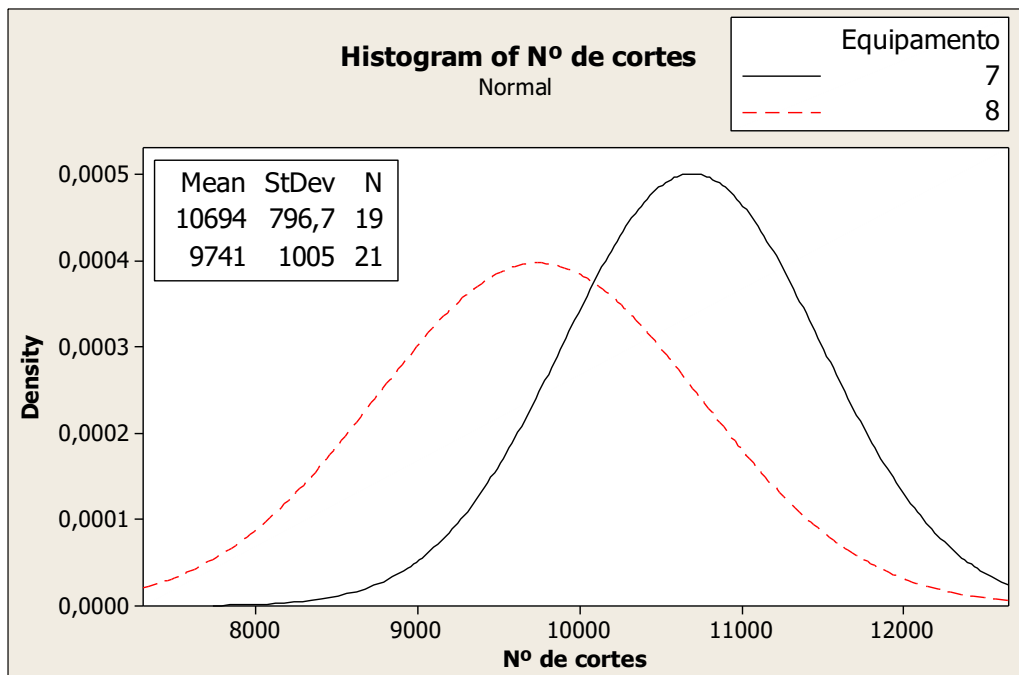


Gráfico 7 - Distribuição normal da linha de montagem 1.

³¹ Capacidade do processo

- Restantes linhas

Se olharmos às restantes linhas, podemos identificar que alguns processos são mais estáveis que outros, no entanto, há que ter em atenção, que este fenómeno, pode estar relacionado com o número reduzido de amostras. No entanto, se observarmos o gráfico 7 e 8 podemos referenciar que o equipamento da linha de montagem 2 apresenta uma média populacional maior (Média = 20 432 cortes), mas com menor estabilidade nos resultados (Desvio = 2 642 cortes), que os esquipamentos a linha de montagem 1 (Média = 10 694 e 9741 cortes; Desvio = 797 e 1 005 cortes), sendo que são empregues as mesmas ferramentas e materiais.

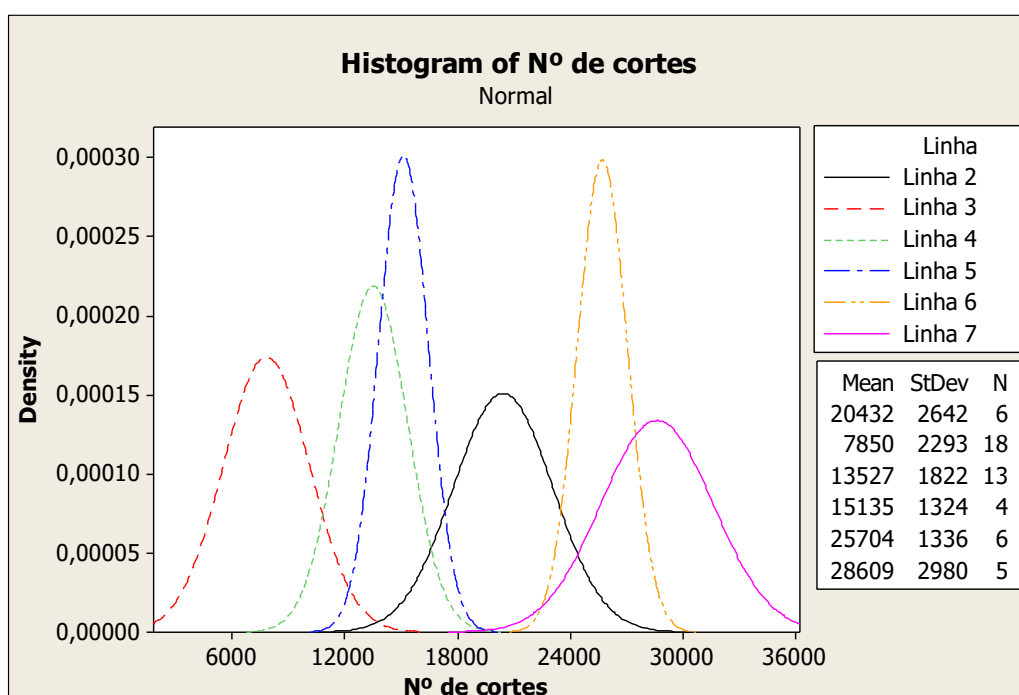


Gráfico 8 - Distribuição normal nas restantes linhas de montagem.

Na fase de medição, um dos objetivos é medir a relação entre os inputs e os outputs do processo, a matriz de prioridades é uma ferramenta muito versátil nesta matéria, além de ficarmos a conhecer a força das diferentes relações, também conseguimos traçar prioridades e direcionar o nosso tempo e esforço numa variável de entrada do processo. Como se pode verificar na figura 86, a nossa prioridade de análise será o desempenho do operador.

Prioritization Matrix											
Process / Input Variables (Xs)		Número de espadins/ chaves cortadas	Qualidade do espadim/ chave cortada	Cost savings das ferramentas de corte	Tempo desperdiçado no set up de uma ferramenta	Perda de eficiência/ produtividade nos trabalhos manuais	Output Variable (Y)	Output Variable (Y)	Output Variable (Y)	Total	
	Weight of Y	8	2	9	5	4				Score	Rank
1	Condições de corte	6	8	8	2	1				150	2
2	Desempenho do operador	4	2	6	8	6				154	1
3	Ferramenta de corte	6	5	8	1	1				139	3
4	Código mecânico do espadim/ chave	1	4	2	1	5				59	5
5	Condições do equipamento	4	4	4	1	1				85	4
6											
7											
8											
9											
10											
Total		168	46	252	65	56					

Top 5 5-10 Score: 1 - low 3 - moderate 9 - high

Figura 86 - Matriz de prioridades.

5.3 Analisar

A fase de análise, como terceira etapa do ciclo DMAIC (figura 87), pretende identificar e quantificar a relação entre as causas e os seus efeitos no processo. Deste modo, a equipa analisará os dados recolhidos no processo.

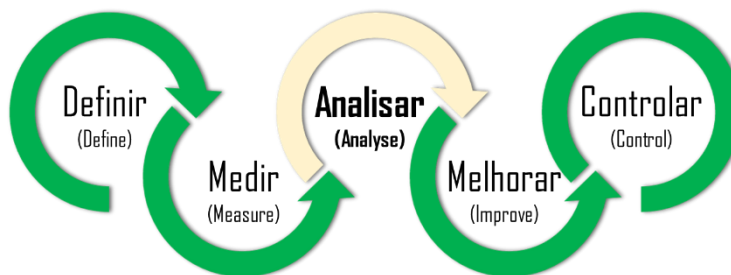


Figura 87 - Fase de análise.

Nesta etapa, foram empregues diversas ferramentas e técnicas, a utilização de cada uma delas varia consoante os diferentes processos que pretendemos analisar, na tabela 15 podemos verificar quais foram as ferramentas e técnicas aplicadas.

Tabela 15 - Técnicas/ ferramentas aplicadas na fase de análise.

Objetivo/ Etapa	Técnicas/ Ferramentas
Identificar as possíveis causas	Brainstorming/ Ishikawa

Objetivo/ Etapa	Técnicas/ Ferramentas
Analisar os dados do problema prioritário	Análise de Pareto/ Boxplot/ outros modelos
Quantificar as causas	Análise de Pareto
Organizar a informação tratada	OPL (Open Points List ³²)

Tendo em conta a informação recolhida num brainstorming entre os intervenientes do projeto, foi possível elaborar o digrama de Ishikawa apresentado na figura 88. O diagrama surge com o intuito de identificar as diferentes fontes de variação do processo de fresagem, as causas apresentadas são as mais prováveis de afetar o processo.

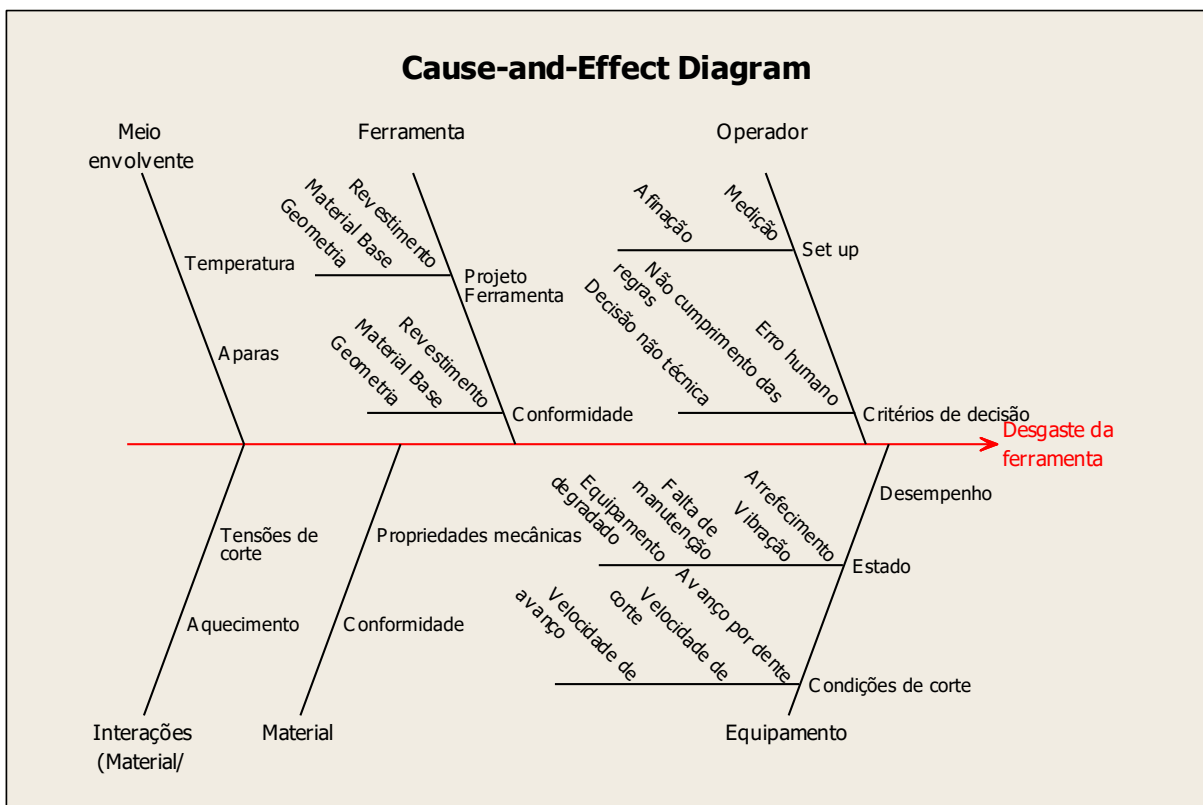


Figura 88 - Diagrama de Ishikawa

- Linha 1

Conhecidas as causas possíveis, é necessário entendermos quais são aquelas que estão a afetar, maioritariamente, o processo. De acordo, com a nossa matriz de prioridades, a variável que se deve avaliar em primeiro lugar é o desempenho dos operadores, pois sabemos que se for melhorada será possível obter melhores resultados num espaço temporal menor. Como se pode observar no gráfico 9, em ambos os equipamentos da linha 1, o motivo de troca da fresa mais predominante é o do diâmetro do fresado fora de especificação.

³² Lista de pontos em aberto ou lista de ações.

Com o foco direcionado para o desempenho dos operadores, a equipa apercebeu-se que os critérios de rejeição das ferramentas podem não estar a ser suficientemente eficazes. Depois de realizados os estudos R&R, chegou-se à conclusão de que o critério de rejeição tem um peso significativo para justificar alguma da variação e reduzida capacidade do processo. Se observarmos a avaliação dos operadores com o critério do calibre passa/ não passa, podemos ver que o operador sempre que tem de avaliar o fresado, faz a análise a um código de fresado aleatório, sendo que as avaliações podem incorrer no erro, que em certas situações o código do fresado é mais complexo, pelo que, a verificação do diâmetro do fresado, na maioria das vezes, origina uma mudança de fresas, e como tal, os operadores alegam que o calibre não passa no fresado do espadim.

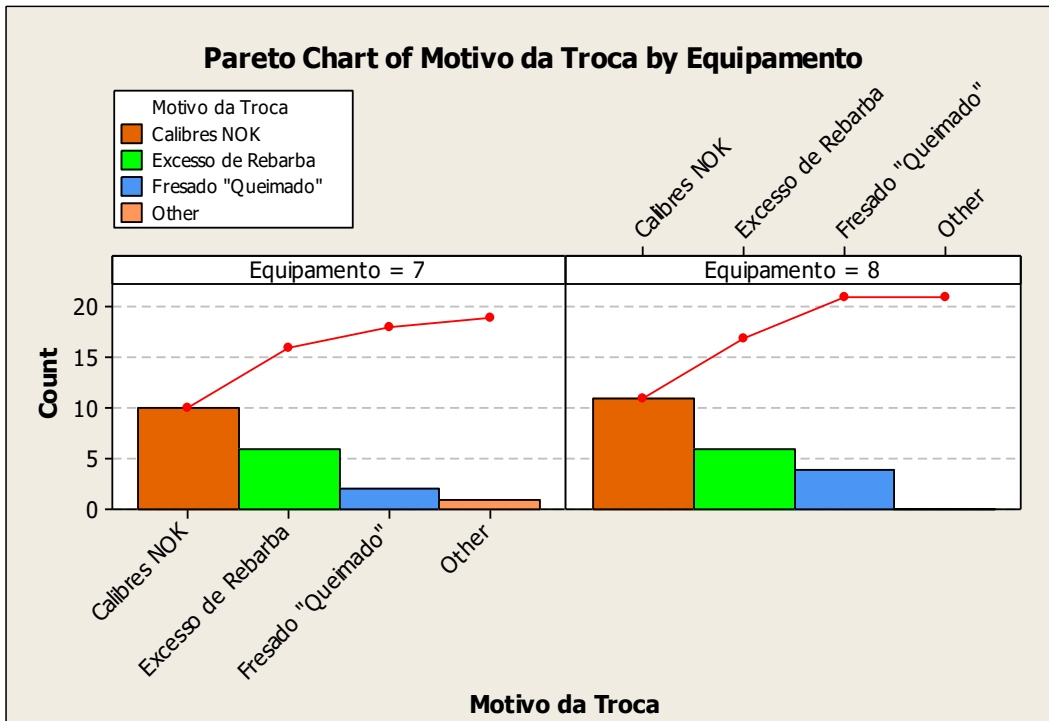


Gráfico 9 - Análise de Pareto na linha de montagem 1.

É certo que o calibre deve ser conforme para todo e qualquer código mecânico, embora que, este fenómeno ocorra também, devido ao facto de os operadores não avaliarem o espadim depois de removidas as rebarbas no interior da parede do fresado. Por outro lado, constatou-se que o critério do diâmetro do fresado também é influenciado pela informação transmitida pela equipa de montagem, a jusante na linha, devido à dificuldade encontrada por parte dos operadores em introduzir ou remover o espadim do interior da fechadura montada, pois gera prisão com alguns códigos mecânicos, no entanto, a interação entre o espadim e a fechadura encontra-se conforme, neste caso funcional mecanicamente.

Além disso, com os dados do segundo estudo R&R, podemos observar que o sistema de medida é aceitável, no entanto, o sistema encontra-se nos 70%. Se segregarmos os dados das avaliações em dois cenários distintos, podemos verificar que as principais dificuldades residem na correta análise dos defeitos qualitativos (fresado queimado/ excesso de rebarba), pois com o critério quantitativo, ou seja, com a utilização do calibre passa/ não passa a avaliação é de 80%, enquanto os outros dois têm um resultado de 65%., como se pode verificar nas figuras 89 e 90.

○ Estudo Qualitativo;

All Appraisers vs Standard

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
40	26	65,00	(48,32; 79,37)

Figura 89 - Resultado do teste R&R (Qualitativo).

○ Estudo Quantitativo

All Appraisers vs Standard

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
20	16	80,00	(56,34; 94,27)

Figura 90 - Resultado do teste R&R (Quantitativo).

Com isto podemos depreender que o estudo realizado num ambiente controlado, onde as rebarbas da parede do fresado foram removidas e o código mecânico utilizado foi o mesmo, levou a bons resultados com o calibre passa/ não passa, esta análise também nos faz crer que é necessário aprimorar os critérios de análise qualitativos.

- Restantes linhas

Relativamente, às outras linhas de montagem, o processo de análise, segue sempre o mesmo raciocínio lógico, isto é, perceber qual a causa para o problema prioritário. Não obstante, para dar seguimento à análise dos problemas observados, a equipa faz uso de uma lista de ações, ou seja, é utilizado um documento dinâmico, que interliga as fases de análise, melhoria e controlo, com a medição sempre subtendida, com o intuito de eliminar as fontes de variação do processo.

No anexo 11, podemos visualizar a lista de ações comum a todas as linhas de montagem já numa fase avançada do projeto, como se pode verificar existem diversos campos a serem preenchidos, no qual é identificado o problema em causa e é atribuída uma solução de melhoria, os responsáveis, e as datas de início e término das respetivas ações, sendo que as ações são apenas terminadas depois de verificada a sua efetividade.

5.4 Melhorar

A melhoria é a fase (figura 91) onde devemos pôr em prática o nosso *know-how*³³ e criatividade, nesta etapa é essencial criar, seleccionar e implementar as soluções adequadas para eliminar ou erradicar as fontes de variação mencionadas na fase anterior.

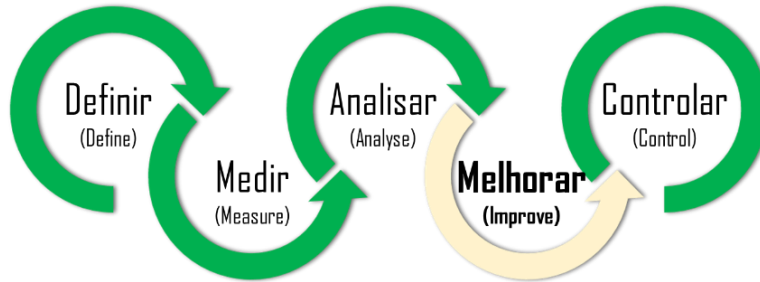


Figura 91 - Fase de melhoria.

A fase de melhoria é também uma fase onde se podem empregar algumas ferramentas e técnicas provenientes da metodologia *lean* ou, simplesmente, soluções de carácter técnico. Na tabela 16 podemos verificar quais foram as ferramentas e/ ou técnicas aplicadas.

Tabela 16 - Técnicas/ ferramentas aplicadas na fase de melhoria.

Objetivo/ Etapa	Técnicas/ Ferramentas
Identificar e seleccionar ações de melhoria	Meetings/ Uniformização
Organização e seguimento das ações de melhoria	OPL

- Linha 1

No seguimento da análise realizada, a equipa discutiu e apresentou algumas das possíveis melhorias a serem implementadas no processo. O propósito das melhorias centra-se no aumento da fiabilidade dos critérios de rejeição das fresas por parte dos operadores. De seguida serão apresentadas algumas das ações propostas e implementadas.

- Melhorias propostas

Uma das ações propostas, passou pela criação de um sistema com um calibre passa/ não passa, que trabalhe pela resistência de uma mola, como se pode observar na figura abaixo (figura 92), o sistema deve ser capaz de verificar o verdadeiro diâmetro do fresado, no qual se encontra isento de rebarbas. Através da ação da mola, o calibre deve percorrer todo o

³³ Conhecimento

comprimento do fresado, a análise deverá ser sempre realizada ao mesmo código mecânico. Para que, deste modo, seja possível reduzir a decisão humana na análise do diâmetro do fresado.

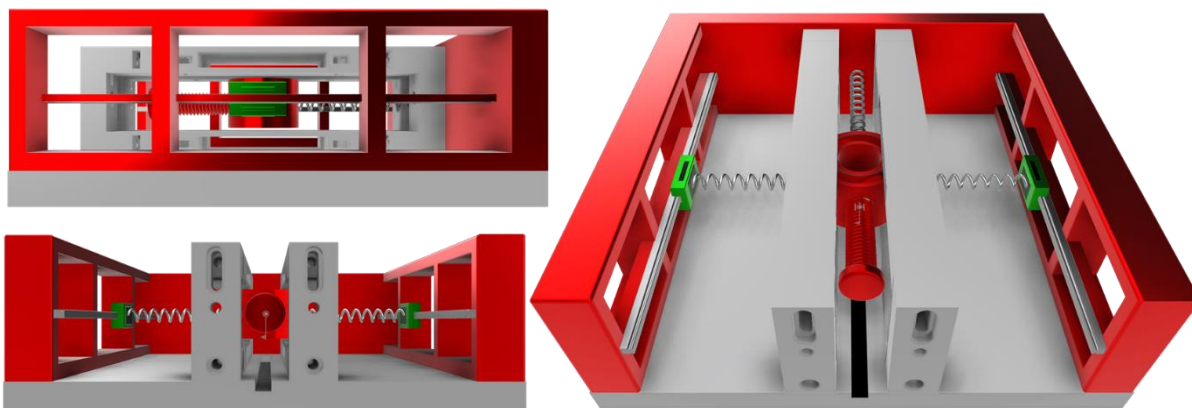


Figura 92 - Maquete tridimensional de útil de validação do diâmetro do fresado do espadim.

Também se identificou uma ação com a intenção de melhorar o critério de decisão dos operadores, no que toca à análise visual dos fresados com excesso de rebarba. O que se pretende, é a criação de um útil, à semelhança de outro já existente na fábrica (figura 93), capaz de verificar a presença de rebarbas, onde o espadim é inserido numa ranhura, é largado e através da força da gravidade o espadim deve cair, caso não se verifique, a ferramenta de corte deve ser rejeitada.

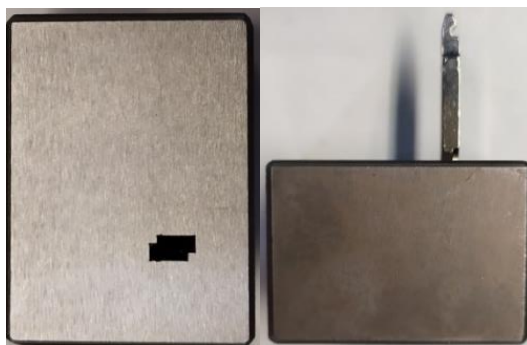


Figura 93 - Útil de validação da rebarba do fresado.

Em alternativa a este útil, poder-se-á considerar arranjar uma lupa com uma folha de escala micrométrica, para que, deste modo, os operadores tenham um meio de controlo definido para a análise do excesso de rebarba no corte, para a correta análise da falha.

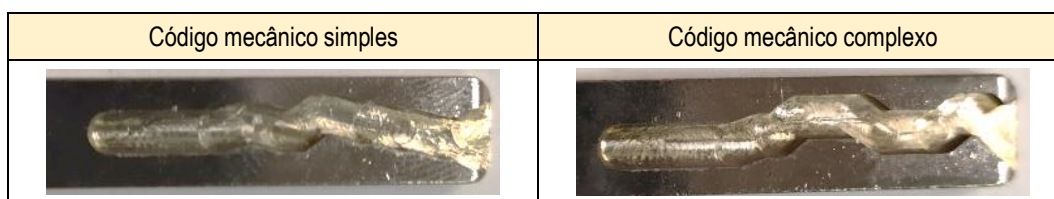
No que toca ao critério de decisão relacionado com o fresado queimado, foi também identificada a necessidade de criar um método de análise para este defeito, para isso foi pensado criar-se um *boundary book*³⁴, com os limites de fresado queimado aceitável.

³⁴ Termo utilizado para definir um guia visual, que serve como meio de verificação da conformidade da peça

- Melhorias implementadas

No sentido de se criar um método de análise fiável e capaz de melhorar as decisões tomadas pelos operadores em relação ao diâmetro do fresado, foi definida a utilização de um código mecânico comum, o código é de cariz mais complexo devido às mudanças de passo acentuadas, como se pode verificar na tabela seguinte (tabela 17), comparativamente, a um código simples.

Tabela 17 - Comparação entre um código mecânico simples e um complexo.



Importa evidenciar, que o código simples e complexo foram analisados mecanicamente no seu estado último, o que se verificou foi uma aprovação do simples e uma reprovação do complexo, assim sendo, além de assegurarmos uma correta análise e uniformidade nas decisões, também estaremos a garantir que não são montados conjuntos com fresados fora de especificação. De notar que, os operadores devem sempre certificar-se que as rebarbas no interior da parede do fresado são removidas.

Contudo, no desenrolar da implementação, foi denotado que os operadores substituem ambas as ferramentas, apesar de uma delas ainda se encontrar em conformidade, posto isto, foi imediatamente definido que apenas se deve trocar a ferramenta que se encontra não conforme e assim, deste modo, foi também implementada mais uma ação de melhoria.

- Restantes linhas

Quanto às outras linhas de montagem, as ações tomadas a cabo são as apresentadas na tabela 18, como sempre as ações foram seguidas no OPL corporativo. É de salientar, que todas as melhorias, foram discutidas em equipa de acordo com os dados recolhidos e analisados.

Tabela 18 - Síntese de ações propostas para as diferentes linhas de montagem.

Linha	Síntese de ações
2	Utilização de novas ferramentas. Fresas com nova geometria, dimensões e fornecedor.
3	Manutenção e alteração de equipamentos existentes, fresadora e polidor (raspagem e escovagem).

Linha	Síntese de ações
4	Utilização apenas da ferramenta 4, pois apresenta melhores resultados. Optou-se apenas pelo fornecedor desta ferramenta. Término do contrato com o fornecedor da ferramenta 3. Alteração das condições de corte do equipamento de fresagem.
5	Utilização de novas ferramentas. Fresas com nova geometria, dimensões e fornecedor. Sensibilização e treino dos operadores, no âmbito da sua influência no processo de fresagem.
6	
7	

5.5 Controlar

Nesta etapa (figura 94), o fulcral é a validação efetiva das melhorias implementadas, o que se pretende, é a verificação de que as soluções estão a influenciar positivamente os resultados e a variação do processo está a diminuir. O controlo serve não só, como etapa de validação das melhorias, mas também como garantia de que os ganhos serão garantidos ao longo do tempo.

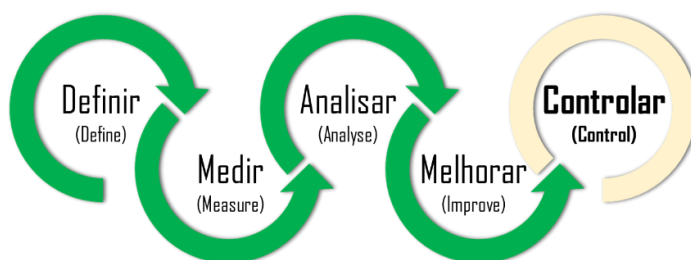


Figura 94 - Fase de controlo.

Na tabela seguinte (tabela 19) são apresentadas as ferramentas e/ ou técnicas utilizadas na execução da fase de controlo.

Tabela 19 - Técnicas/ ferramentas aplicadas na fase de controlo.

Objetivo/ Etapa	Técnicas/ Ferramentas
Avaliação das melhorias implementadas	CEP/ Análise do <i>process capability</i>
Avaliação dos ganhos	<i>Cost savings</i> / Objetivos
Assegurar os ganhos ao longo do tempo	Reuniões com os envolvidos
Controlo do processo ao longo do tempo	Output do processo
Encerramento do projeto	Project charter

- Linha 1

No sentido de avaliar e aferir a efetividade das soluções, foi realizada uma análise estatística ao processo, é denotar que, com a aplicação das cartas de controlo da média e amplitude para dados individuais, podemos verificar que depois de implementada a solução de

análise pelo mesmo código de fresado e substituição das fresas alternadamente houve um aumento na durabilidade das ferramentas.

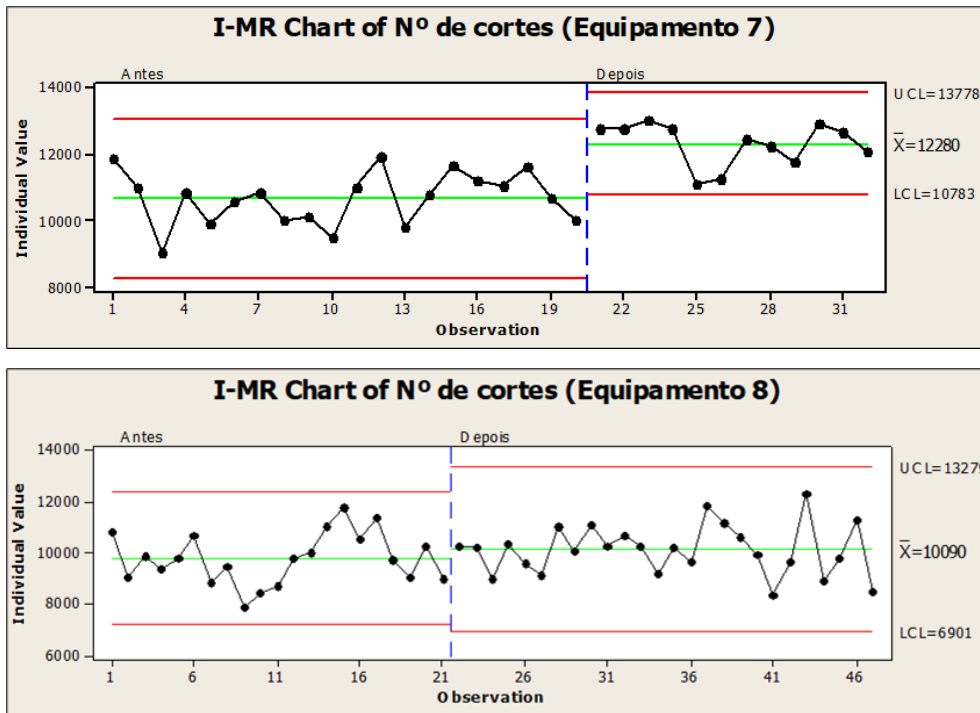


Gráfico 10 - Gráfico de controlo da linha de montagem 1 por equipamento.

Se observarmos também a curva de distribuição normal antes e depois da implementação das soluções, podemos aferir que a solução mostrou ser eficaz no aumento da durabilidade das ferramentas. Embora que, se tenha tido um aumento significativo no tempo de vida útil das ferramentas, podemos verificar, que a variação teve uma redução muito diminuta.

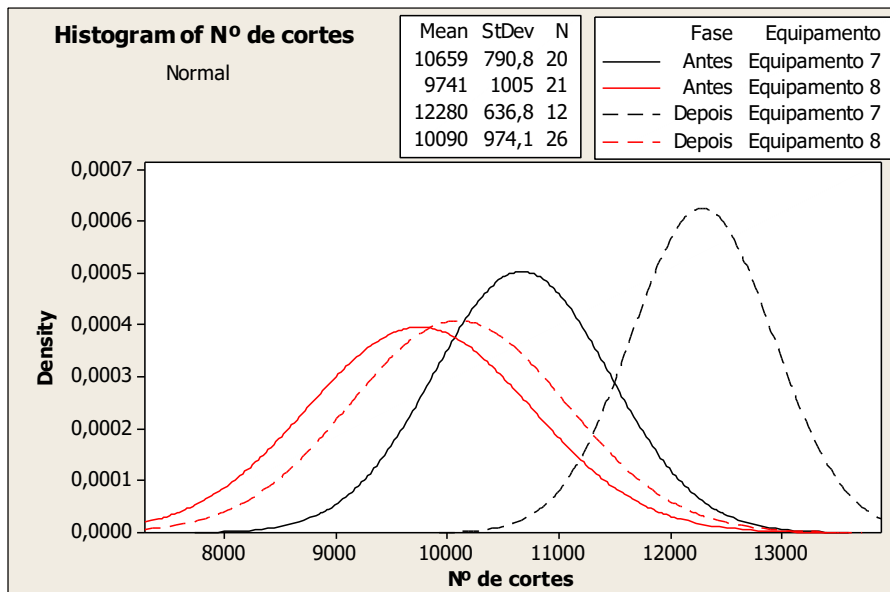


Gráfico 11 - Distribuição normal da linha de montagem 1 por equipamento.

- Restantes linhas

No que toca às restantes linhas de montagem, podemos aferir que as ações implementadas nas linhas de montagem 3 tiveram um bom resultado, embora que na linha 4 não pareça ter existido melhorias, o ganho passou pelo facto de mantermos a performance com umas fresas mais baratas. De um modo geral verificou-se uma melhoria nos processos de todas as linhas, a formação e sensibilização dos operadores para o tema da fresagem demonstrou atingir resultados positivos, como os apresentados no gráfico 12. Importa referir que as ações das linhas 2, 5, 6 e 7 ainda se encontram a serem trabalhadas.

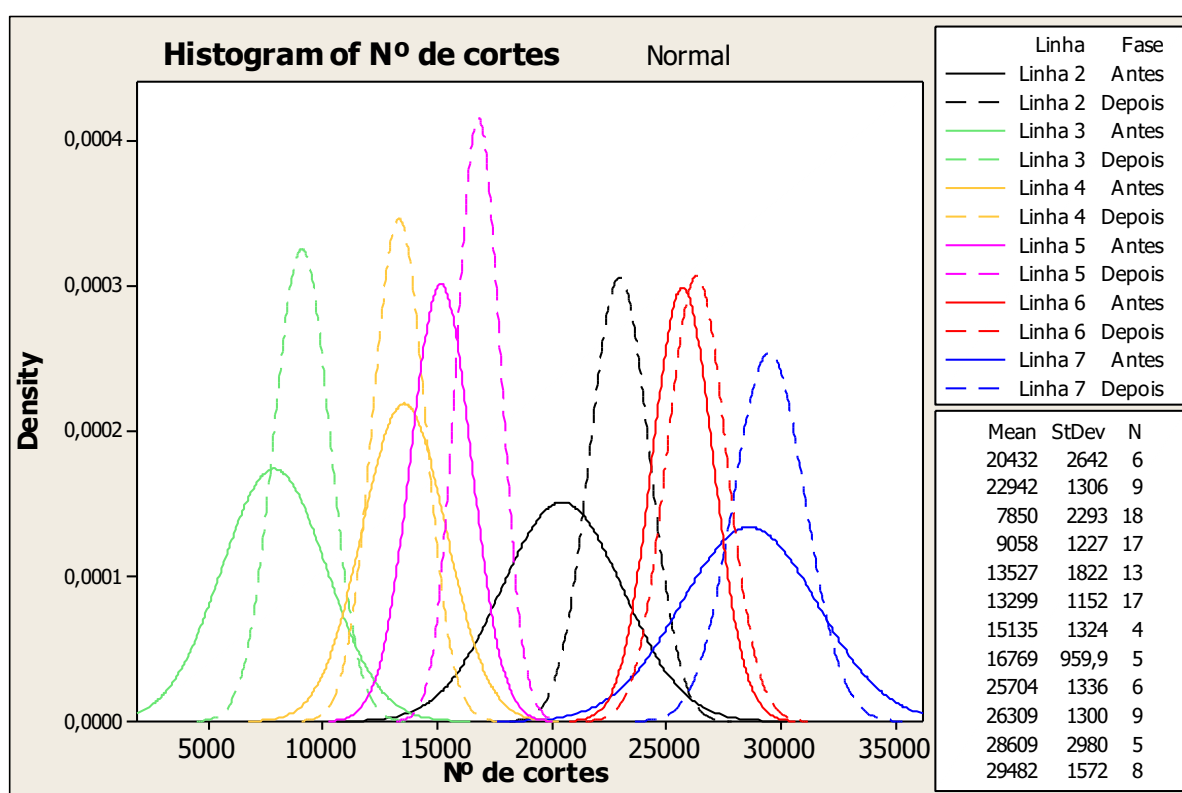


Gráfico 12 - Distribuição normal nas restantes linhas de montagem.

5.6 Repeat³⁵

No *six sigma*, o desenrolar do projeto segue, na sua maioria das vezes, uma lógica de repetição das etapas da metodologia DMAIC, até que o problema esteja solucionado ou os objetivos estejam atingidos (figura 95). O presente ponto serve de exemplo à demonstração do carácter dinâmico do ciclo DMAIC, pelo que, se irá prosseguir com a apresentação das restantes ações para a linha de montagem 1. Depois de verificada a efetividade das soluções apresentadas

³⁵ Repetir

acima, surge ainda a necessidade de reduzir a variação e se possível aumentar ainda mais o tempo de vida útil das ferramentas de corte.

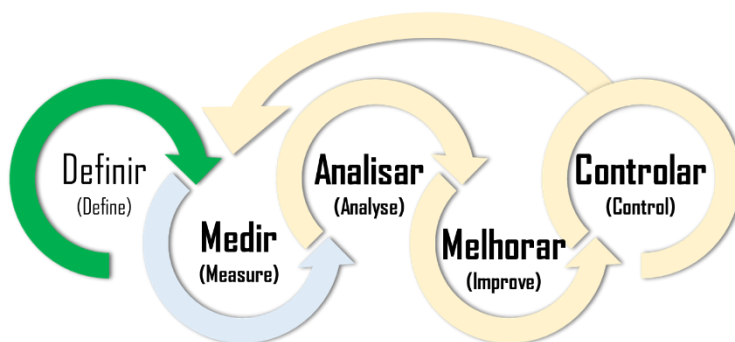


Figura 95 - Repetição do ciclo DMAIC.

Com o desenvolvimento do projeto, foi possível realizar uma projeção para o calcular o objetivo do indicador b, como é expectável, apenas se pode fazer uma estimação depois de conhecermos as diferentes ações e quais serão os seus diferentes resultados. A importância deste indicador centra-se no facto de que uma grande melhoria na durabilidade pode ter pouca representatividade nos custos, ou vice-versa. Na tabela 20 (ver anexo 12 tabela completa) podemos aferir que depois de implementadas todas as ações teremos uma redução de cerca de 40%, importa referir que a redução é o decréscimo percentual entre a situação futura e a atual (tabela 10), o peso é a relação percentual entre os consumos das diversas fresas no final do ano N-1 (tabela 9) e o impacto representa o peso que terá uma redução nos custos em fresas naquela ferramenta em específico.

Tabela 20 - Cálculo do objetivo de redução para o indicador (b) em €/ 1000 cortes.

		Situação futura			Ganho		
Linha	Ferramenta	Custo unitário da ferramenta (€)	Média de cortes (unid.)	(b) €/ 1000 cortes	A - Redução (%)	B - Peso (%)	A x B - Impacto (%)
Linha 1	Ferramenta 1	21,00 €	13 000	3,2 €	23%	37%	13%
Linha 2	Ferramenta 6	48,40 €	52 500	1,8 €	12%		
Linha 3	Ferramenta 2	17,50 €	12 000	2,9 €	42%	15%	6%
Linha 4	Ferramenta 4	27,10 €	15 000	3,6 €	100%	14%	14%
					13%	14%	2%
Linha 5	Ferramenta 7	49,32 €	22 000	4,5 €	7%	20%	4%
Linha 6		49,32 €	35 000	2,8 €	3%		
Linha 7		49,32 €	42 000	2,3 €	9%		
Total							40%

Sendo que, torna-se essencial nesta fase prevermos quais serão os ganhos para o ano N, na tabela 21 podemos observar qual seria o custo em fresas, se nada fosse feito em relação às vendas orçamentadas para esse ano, neste caso 50 914 € até ao final do ano N.

Tabela 21 - Análise da evolução dos *savings* reais

Designação		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
A	COPQ Planeado Acumulado // Orçamentado	4 243 €	8 486 €	12 728 €	16 971 €	21 214 €	25 457 €
B	COPQ Acumulado // Objetivo	2 957 €	5 685 €	8 729 €	11 009 €	12 677 €	14 832 €
C	Savings Acumulados // Objetivo	1 286 €	2 801 €	4 000 €	5 963 €	8 537 €	10 625 €
Designação		Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
A	COPQ Planeado Acumulado // Orçamentado	29 700 €	33 943 €	38 185 €	42 428 €	46 671 €	50 914 €
B	COPQ Acumulado // Objetivo	16 957 €	18 331 €	21 252 €	23 523 €	25 557 €	26 784 €
C	Savings Acumulados // Objetivo	12 743 €	15 611 €	16 933 €	18 905 €	21 114 €	24 130 €

$$A = \frac{COPQ_A}{Vendas_A} \times Vendas_C \quad [8]$$

Sendo:

A = COPQ Planeado acumulado orçamentado [€/ mês]

$COPQ_A$ = Custos em ferramentas de corte em N-1 [€/ ano]

$Vendas_A$ = Vendas em N-1 [€/ ano]

$Vendas_B$ = Vendas orçamentadas em N [€/ mês]

De seguida também se pode aferir quais os custos propostos para o ano N, neste caso o valor objetivo (B), os valores foram traçados com base numa redução de 40 % em relação ao ano transato (orçamentado), valor obtido a partir da tabela apresentada anteriormente (tabela 20).

$$C = A - B \quad [9]$$

Sendo:

C = Savings acumulados esperados em N [€]

A = COPQ acumulado orçamentado em N [€]

B = COPQ acumulado esperado em N [€]

Analisando a tabela apresentada em cima podemos verificar que com as melhorias propostas poderemos alcançar um resultado de poupança de cerca de 24 000 €.

Continuando a análise, se observarmos novamente, a incidência dos motivos de troca de ferramenta, podemos verificar que o fresado queimado apresenta ter uma maior ocorrência, que o excesso de rebarba, fenómeno este que não se verificava anteriormente. Com certeza,

podemos afirmar que as ações implementadas afetaram o modo como o processo reage, embora que, o motivo de troca por diâmetro do fresado fora de especificação continue a ser o mais incidente.

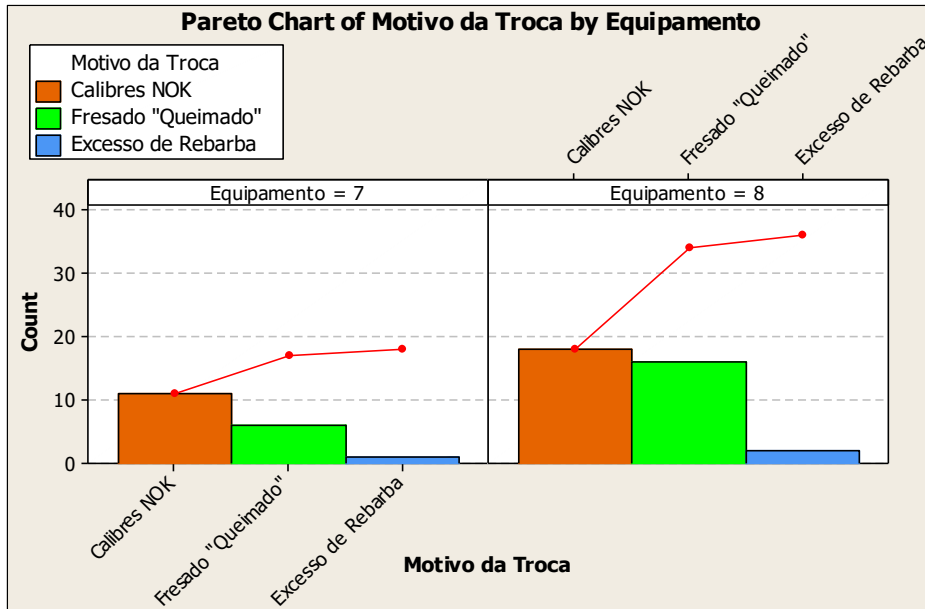


Gráfico 13 - Análise de Pareto na linha de montagem 1.

Com o propósito de melhorar o desempenho das ferramentas de corte, visto que, houve um aumento na rejeição por fresado queimado, foi proposto a otimização das condições de corte, a medida surge com intuito de reduzir a energia e consequentemente a temperatura, no qual a ferramenta de corte está sujeita. Para tal, foi necessário se proceder à recolha de todos os tempos de ciclo da linha de montagem e contrastá-los com o takt time, e assim deste modo, compreender se era possível alterar o tempo de ciclo das duas fresadoras.

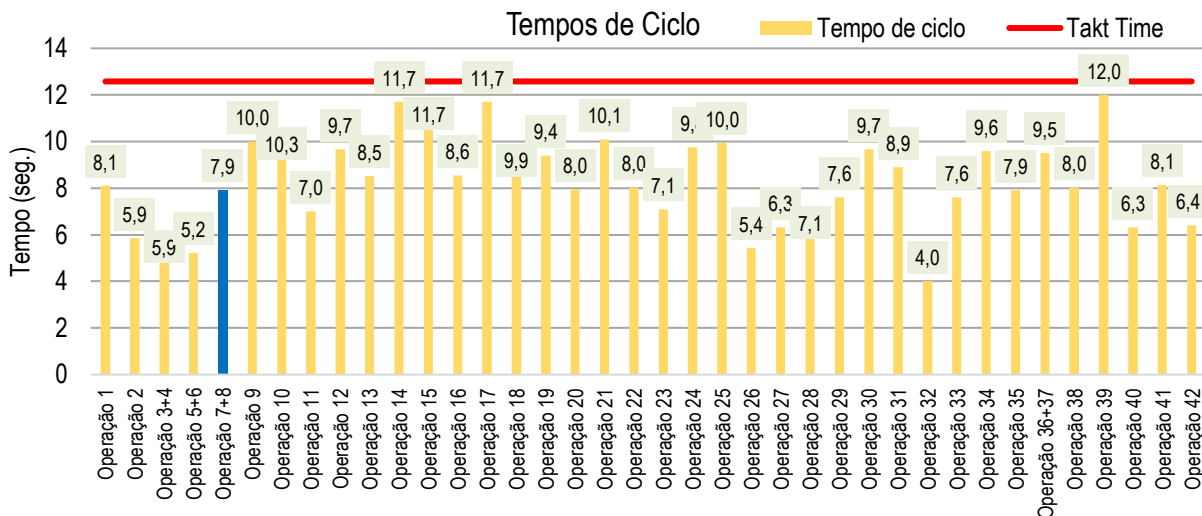


Gráfico 14 - Análise aos tempos de ciclo da linha de montagem 1.

Para complementar a informação recolhida, anteriormente, foi feita uma análise detalhada aos tempos das operações realizadas pelo equipamento 7 durante o processo de fresagem, pois só assim, será possível perceber se o aumento de tempo na operação de corte têm ou não influência no tempo de ciclo do processo (figura 96).

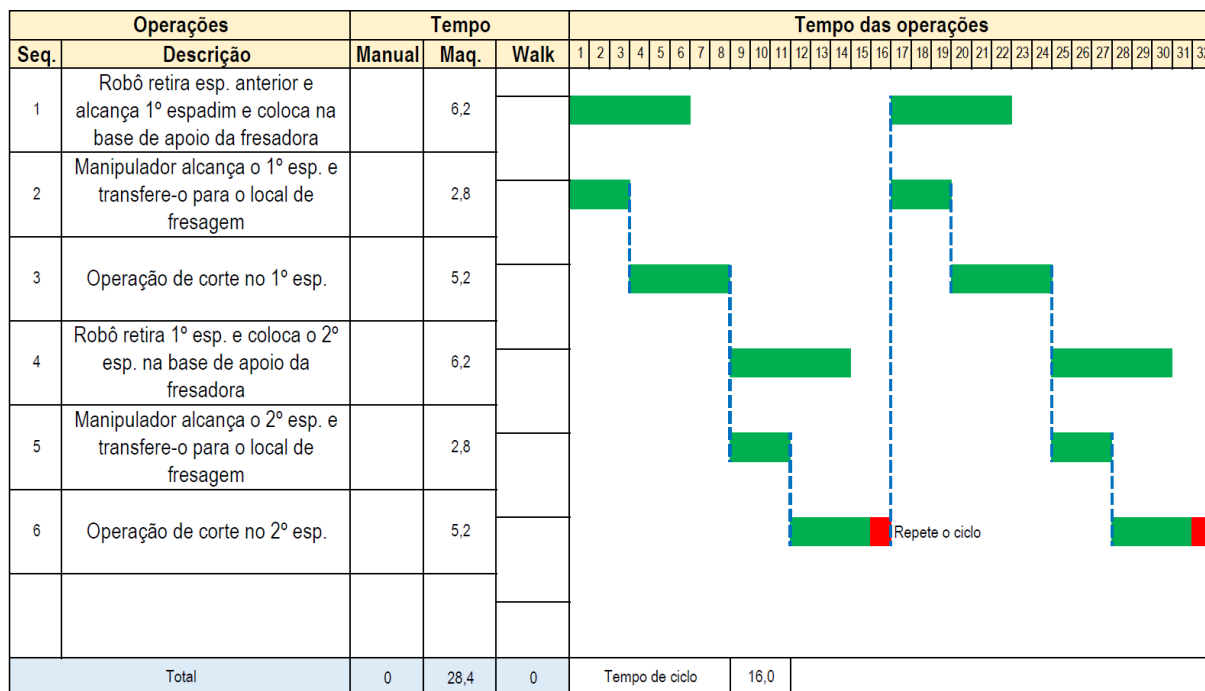


Figura 96 - Discriminação das operações do processo de fresagem (tempo em segundos).

Na tabela que se segue, podemos observar as diversas alterações de parâmetros realizadas e a sua influência nos tempos de ciclo, que foram ocorrendo nas diversas tentativas. No primeiro ensaio experimental foram alteradas as velocidades de rotação e avanço, de modo a manter constante o avanço por rotação por dente, valor esse que foi alterado aleatoriamente nos restantes ensaios.

Tabela 22 - Testes de alteração de parâmetros.

Equipamento	7			
	Original	1ª Tentativa	2ª Tentativa	3ª Tentativa
Velocidade de rotação (rpm)	22000	7000	12000	16000
Velocidade de avanço (mm/ min)	2200	700	900	900
Override dos eixos (%)	80%	80%	80%	80%
Velocidade de avanço corrigida (mm/ min)	1760	560	720	720
Velocidade de avanço (mm/ seg.)	29	9	12	12
Avanço por rotação por dente (mm/rpm.z)	0,027	0,027	0,020	0,015
Tempo de corte (seg.) – 2x Espadins	2,2	6,9	5,4	5,4
Tempo de ciclo (seg.)	16,0	20,7	19,2	19,2

O resultado das três experimentações foi negativo, a falha deveu-se ao facto de o equipamento apresentar diversos problemas mecânicos, isto é, ao nível da vibração dos diferentes eixos do equipamento. Além de que, o primeiro e o segundo teste foram rejeitados, pois o ruído da operação de corte provocado pela vibração do eixo no espadim era superior ao limite de decibéis permitidos, assim sendo, o terceiro ensaio foi realizado de modo a reduzir o efeito sonoro, contudo, o teste falhou por motivos de tempo de ciclo, o que se constatou, foi que o tempo obtido era demasiado elevado devido às especificidades da linha. Além da carga de trabalho normal da linha de montagem, estes equipamentos são utilizados para outros trabalhos subjacentes ao fluxo normal de linha, daí não ser possível aumentar tanto o tempo de ciclo. O fenómeno foi apenas compreendido depois de ver o processo a operar, análise ao qual não foi realizada previamente, como se pode ver no gráfico 15, se ajustarmos o takt time aos trabalhos realizados, pelos equipamentos 7 e 8, o tempo de ciclo tem uma folga diminuta para poder ser alterado. Importa referir também que esta carga adicional de trabalho apenas ocorre para estes dois equipamentos da linha.

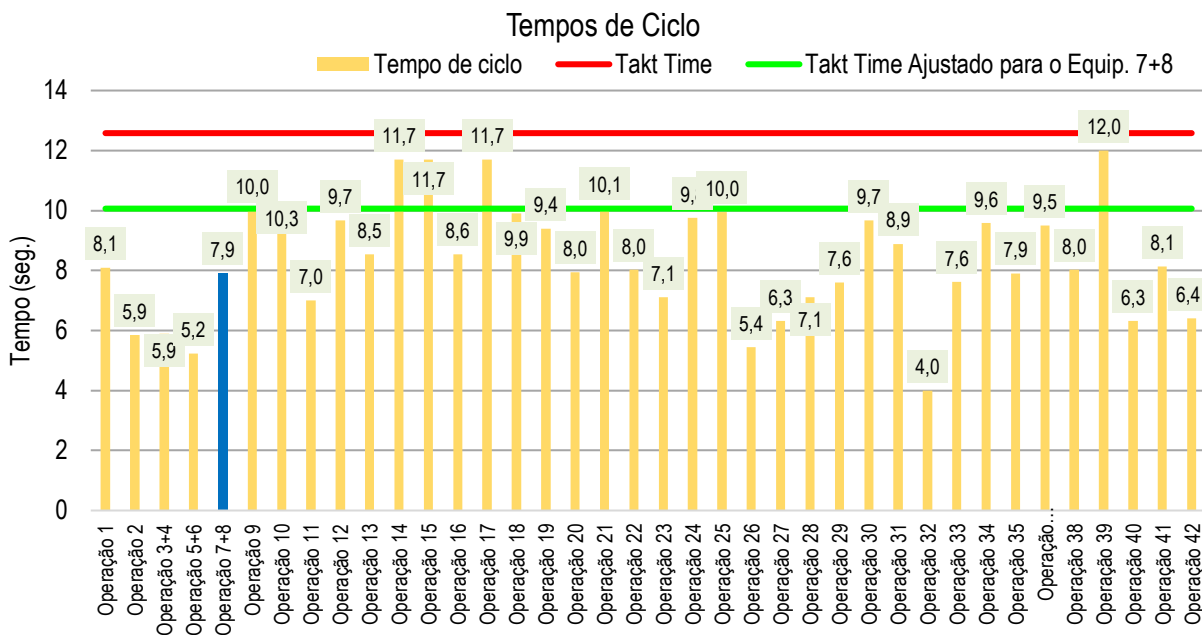


Gráfico 15 - Análise aos tempos de ciclo da linha de montagem 1 com ajuste da carga de trabalho.

Além da análise realizada acima, também se verificou a necessidade de aferir se os eixos de cada equipamento, que contêm a cabeça de rotação onde é colocada a fresa, se apresentam um comportamento similar quando o mesmo espadim/chave é fresado dos dois lados, fazendo uso a um eixo do lado esquerdo e a outro eixo do lado direito. Através de um diagrama interquartis (gráfico 16), podemos observar que o desempenho dos diferentes eixos no mesmo equipamento aparentemente são semelhantes, no que respeita ao desgaste da ferramenta,

descartando a hipótese de que um eixo pudesse ter um pior desempenho que o outro, num mesmo equipamento.

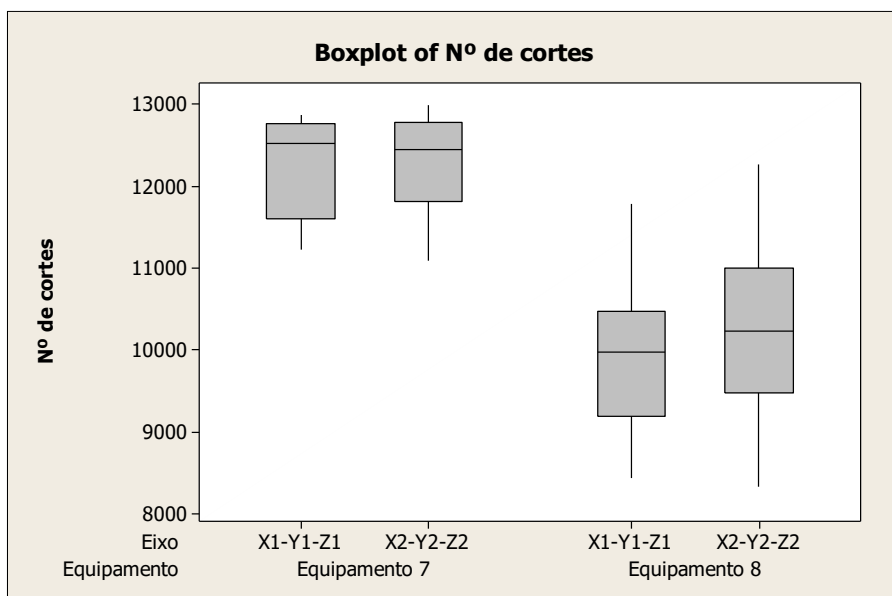
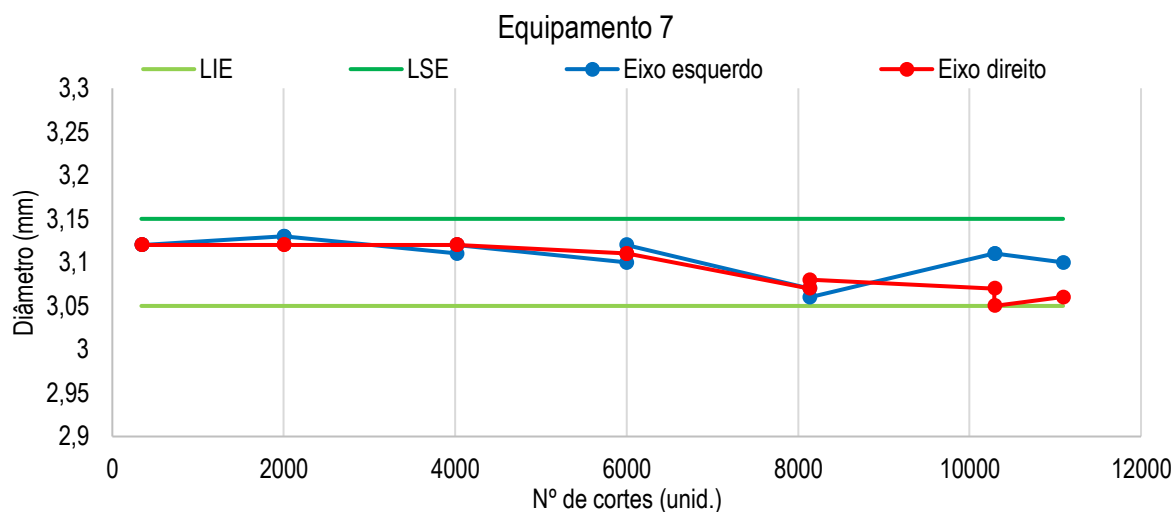


Gráfico 16 - Diagrama interquartil da linha de montagem 1 por equipamento

De modo a compreender o fenómeno ocorrido nos primeiros testes, foi realizada uma análise ao efeito da vibração provocado pelos eixos do equipamento, neste sentido, foi feita uma avaliação do diâmetro do fresado durante o desgaste da ferramenta, segundo o número de cortes realizados em função do eixo e de cada equipamento. Numa primeira fase, foram realizados de dois mil em dois mil cortes, duas medições do diâmetro do fresado com calibres cilíndricos ao mesmo código de fresado, deste modo, compreendendo qual o efeito da vibração no fresado da chave. Nos gráficos seguintes, podemos visualizar a variação existente nos diferentes equipamentos e eixos, atendendo a que a variação encontrada é da ordem centesimal.



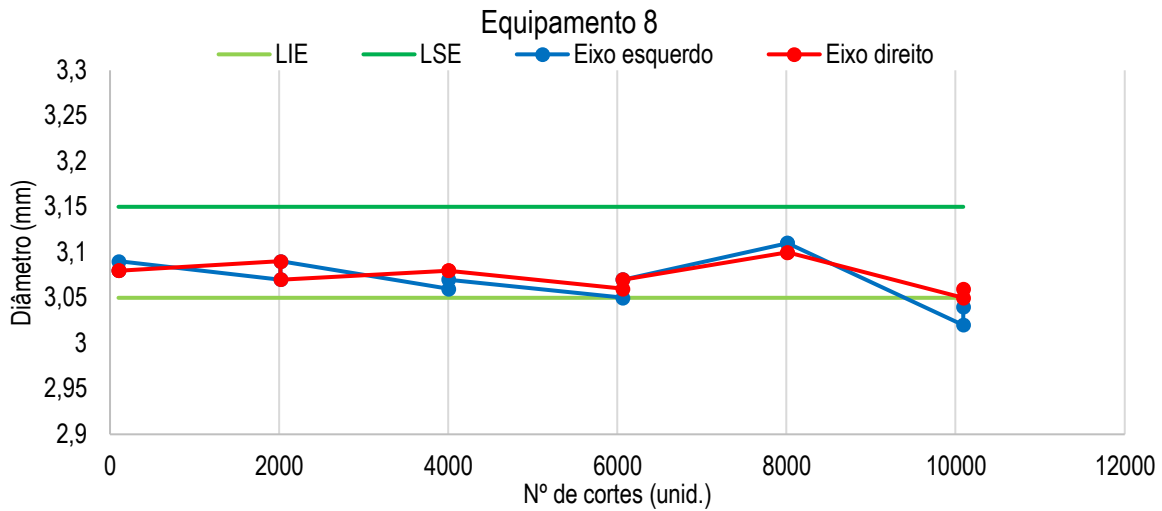
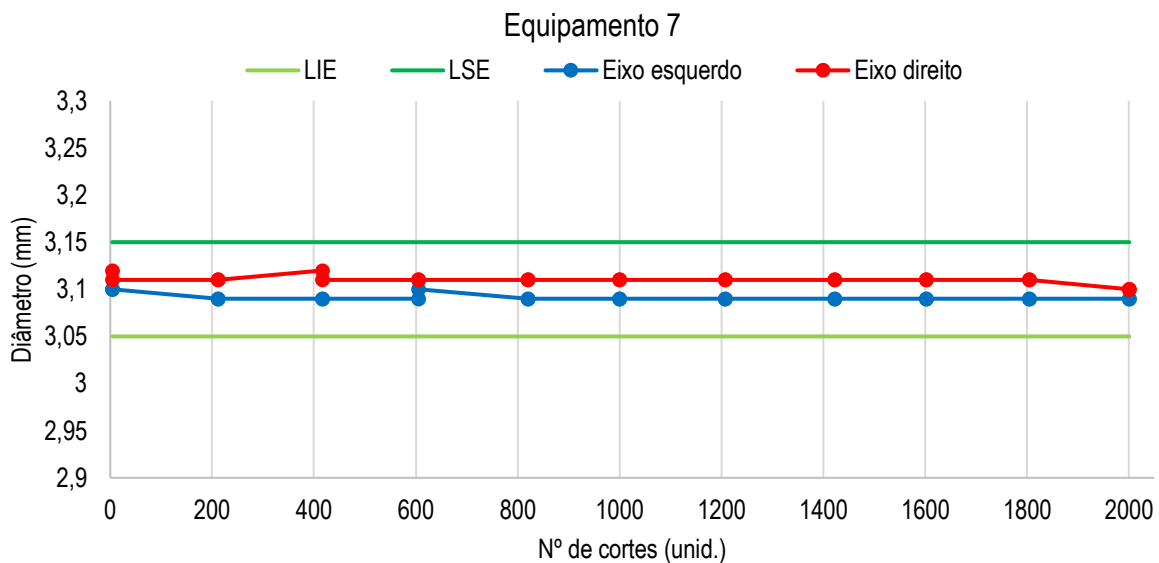


Gráfico 17 - Análise do diâmetro do fresado ao longo do tempo por equipamento.

Os resultados desta análise revelam a presença do problema da vibração e mostram após corte de 6000 espadins utilizando a mesma ferramenta que esta começa a apresentar alguma instabilidade nas medições do diâmetro do fresado nos espadins, afetado pela interação entre a ferramenta com algum desgaste na aresta de corte e a robustez/precisão do processo/equipamento de corte. Dado a este comportamento referido, foi decidido realizar uma análise a um intervalo de cortes mais reduzida, neste caso, de duzentos em duzentos cortes até um total de dois mil cortes, na medida de tentar verificar se a variação encontrada é normal ao processo de corte nestes equipamentos. Como se pode verificar nos gráficos seguintes, podemos verificar que o equipamento 7 apresenta uma maior estabilidade no início do ciclo de vida das fresas e quando comparado com o gráfico anterior (gráfico 17) é possível corroborar com o que tem sido afirmado.



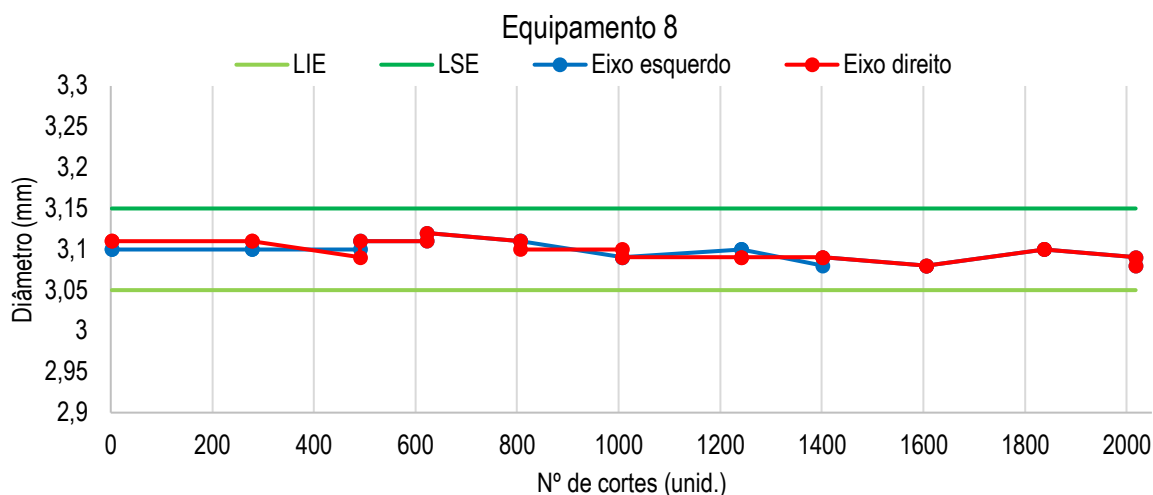


Gráfico 18 - Análise do diâmetro do fresado ao longo do tempo por equipamento.

A título de comparação foi realizada a mesma análise na linha de montagem 2, dado que, as ferramentas utilizadas são as mesmas, embora que, operem num equipamento muito mais robusto e recente, o resultado alcançado foi o apresentado no gráfico 19, como se pode observar a estabilidade apresentada no diâmetro do fresado é muito superior à dos equipamentos da linha de montagem 1. No gráfico 19 os eixos do equipamento encontra-se sobrepostos.

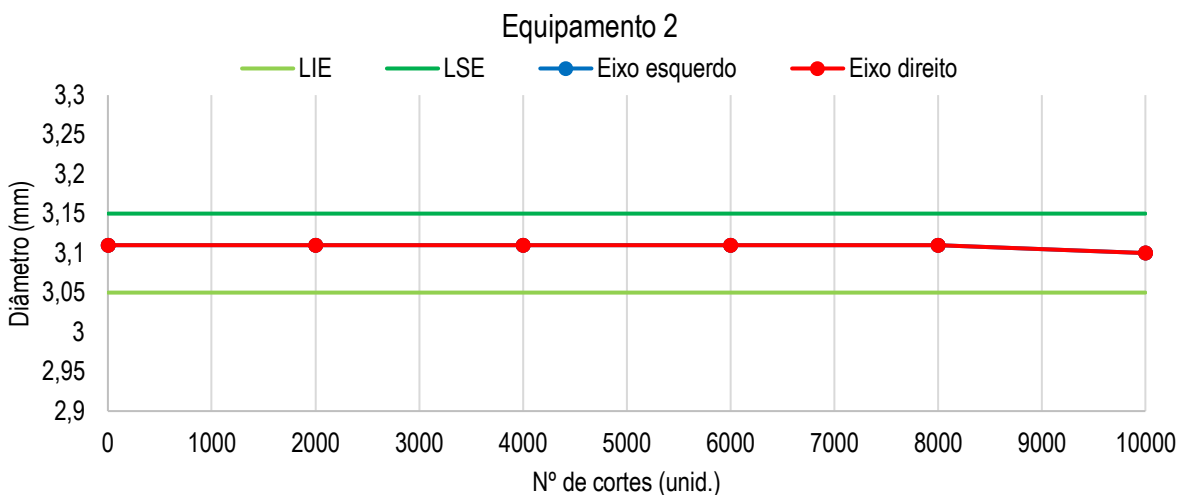


Gráfico 19 - Análise do diâmetro do fresado ao longo do tempo por equipamento na linha de montagem 2.

Em suma, considerou-se necessário, dada às diferenças encontradas entre as três fresadoras, que é preciso realizar uma manutenção corretiva aos eixos dos equipamentos 7 e 8. Contudo, dado o estado de degradação elevado dos equipamentos e o esforço necessário depender para a correção dos eixos em termos de mão de obra e custos de peças de reparação, optou-se por não realizar nenhuma intervenção. No entanto, foi proposta uma outra ação, com

vista à melhoria do processo de fresagem, neste sentido, foi pensado instalar na linha de montagem um novo equipamento, que se encontra parado e sem utilização na fábrica.

Com a impossibilidade de realizar uma ação de manutenção corretiva, foi pensado, como em processos similares da fábrica, utilizar as ferramentas rejeitadas na linha de montagem 1 na linha de montagem 2. Como o processo de fresagem da linha de montagem 2 é mais robusto, existe uma expectativa que as ferramentas consigam realizar mais cortes antes de atingirem o seu estado último. As ferramentas a aproveitar serão apenas aquelas rejeitadas por fresado queimado, visto que, as rejeitadas por diâmetro do fresado fora de especificação e excesso de rebarba encontram-se, normalmente, fraturadas nas arestas de corte, como se pode ver figura 84.

Apesar de o equipamento da linha de montagem 2 ser mais capaz, conclui-se que a utilização de fresas da linha de montagem 1 não confere vantagens relevantes, uma possível causa poderá estar associada à danificação da fresa por ter sido utilizada num processo de corte mais degradado.

Embora não tenha sido possível implementar alguma ação, relativamente, ao problema da vibração nos eixos das fresadoras, foi desenvolvido um sistema de colocação da ferramenta com encosto interno a batente, com o intuito de criar uma folga de um milímetro entre a fresa e o batente interno do eixo. Desta forma, uniformizando-se assim a colocação das fresas por parte dos operadores e reduzindo alguma da variação inerente ao operador, no processo de *set up* da ferramenta no equipamento (figura 97).



Figura 97 - Útil de colocação da ferramenta de corte.

De modo a complementar o estudo e a compreender se o desgaste na fresa segue um padrão normal, foi realizada uma análise à ferramenta e ao seu desgaste ao longo do tempo na linha de montagem 2, onde o efeito de vibração pode ser praticamente desprezado. Para isso, foi adotada uma metodologia de medição, com base na área representativa da fratura da aresta de corte, com o apoio do microscópio eletrónico. Na figura apresentada abaixo (figura 98) podemos verificar a metodologia aplicada, onde para as diversas ferramentas medidas, foi sempre utilizado o mesmo ponto de referência.

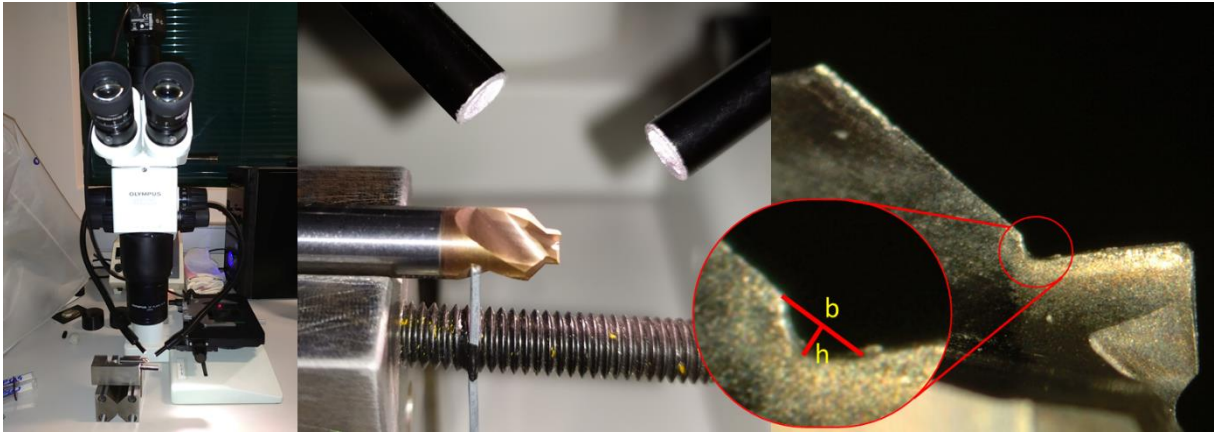


Figura 98 - Metodologia aplicada para medição da base e altura da fratura na fresa

Depois de realizada a análise podemos constatar que o desgaste ocorrido nas fresas segue um comportamento padrão, como se pode visualizar no gráfico apresentado em baixo, numa primeira fase, a fresa sofre um ligeiro desgaste, que evoluiu de forma reduzida e constante ao longo do tempo, sendo que, a dado instante sofre uma subida abrupta até ao instante de rutura. Em suma, podemos aferir que os processos são estáveis e que qualquer variação no critério de decisão dos operadores afeta, grandemente, o output do processo, isto é a capacidade do processo.

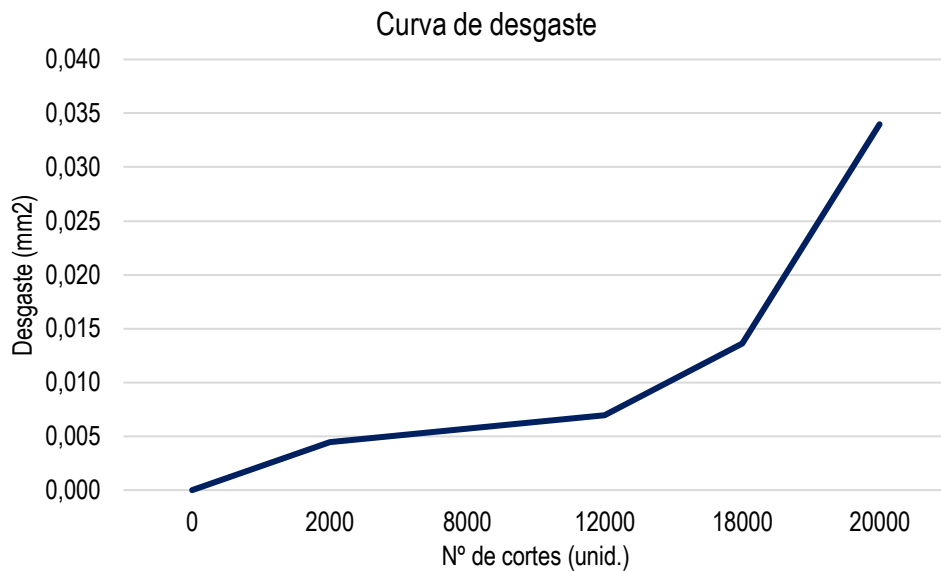


Gráfico 20 – Curva de desgaste da linha de montagem 2

Se formos avaliar a efetividade das diversas ações, podemos visualizar no gráfico seguinte a evolução ocorrida nas diversas fases, ambos os gráficos de controlo evidenciam uma melhoria significativa.

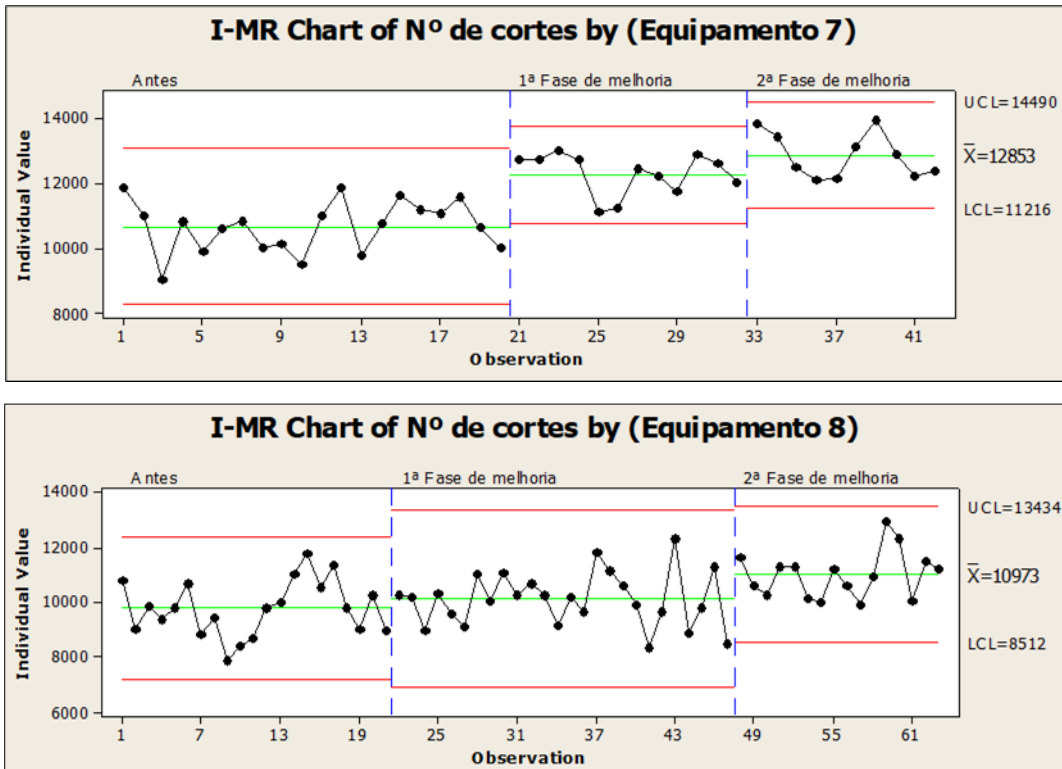


Gráfico 21 - Gráfico de controlo da linha de montagem 1 por equipamento.

Além dos gráficos de controlo, também podemos evidenciar a melhoria ocorrida na curva de distribuição normal, além de uma deslocação da curva para a direita, desde a primeira instância, também houve uma diminuição da variação, o que originou uma maior estabilidade no processo, com os seguintes factos podemos verificar a efetividade das soluções implementadas.

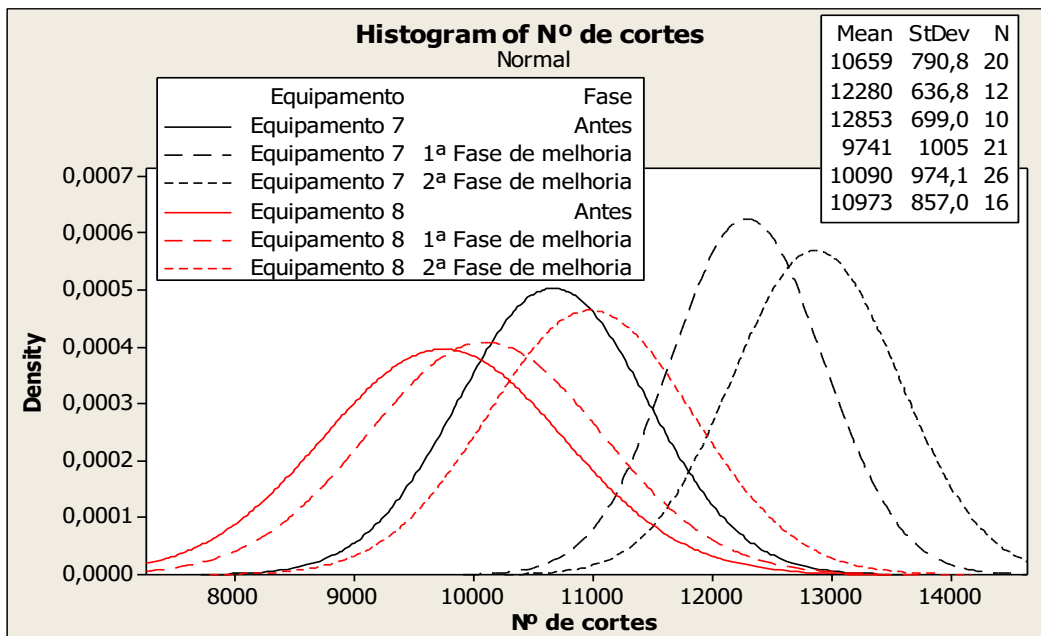


Gráfico 22 - Distribuição normal da linha de montagem 1 por equipamento.

De notar que, neste caso de estudo não é possível criar algum meio de controlo para as variáveis de entrada do processo, sendo que aqui é apenas possível monitorizar o processo e perceber qual o seu output e respetiva variação.

5.7 Encerramento do projeto

Depois de executadas todas as etapas do *six sigma* e apresentados os bons resultados evidentes do sucesso do projeto, deve-se avançar para o encerramento do projeto (figura 99), o fecho é uma tarefa importante, pois aqui deve-se registar os resultados alcançados, as decisões tomadas e as lições aprendidas ao longo do desenvolvimento do projeto.

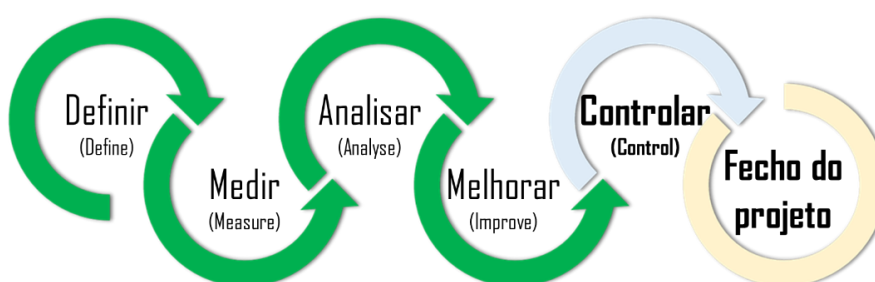


Figura 99 - Encerramento do projeto *six sigma*.

Os resultados alcançados devem ser positivos e perdurar ao longo do tempo, quando falamos em melhoria, importa sempre traduzir em valores de poupança. Quanto ao projeto em questão podemos evidenciar que até dezembro do ano N foi possível arrecadar uma poupança de 23 444 €. Na tabela seguinte (tabela 23) podemos observar diversas informações sobre a efetividade do projeto e qual a poupança conseguida ao longo do tempo.

Tabela 23 - Análise da evolução dos *savings* reais

Designação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
A COPQ Planeado Acumulado // Real	4 610 €	9 230 €	12 165 €	12 563 €	14 157 €	17 921 €
B COPQ // Real	1 995 €	1 348 €	1 333 €	156 €	1 160 €	1 955 €
C COPQ Acumulado // Real	1 995 €	3 343 €	4 676 €	4 833 €	5 993 €	7 948 €
D Savings Acumulados // Real	2 615 €	5 887 €	7 489 €	7 730 €	8 165 €	9 973 €
Designação	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
A COPQ Planeado Acumulado // Real	22 344 €	25 734 €	31 364 €	37 144 €	42 463 €	45 599 €
B COPQ // Real	1 743 €	2 365 €	3 581 €	2 775 €	2 794 €	949 €
C COPQ Acumulado // Real	9 691 €	12 055 €	15 637 €	18 412 €	21 206 €	22 155 €
D Savings Acumulados // Real	12 653 €	13 679 €	15 728 €	18 732 €	21 257 €	23 444 €

Na tabela 23, podemos verificar qual seria o custo em ferramentas de corte se não fosse implementado qualquer tipo de melhoria (A), neste caso, o cálculo é feito através da percentagem de custos em função das vendas no ano N-1 vezes o valor das vendas acumulado

de cada mês no ano N. O valor acumulado até dezembro do ano em questão seria de 45 599 €, se não fosse tomada nenhuma ação.

$$A = \frac{COPQ_A}{Vendas_A} \times Vendas_B \quad [10]$$

Sendo:

A = COPQ Planeado real [€/ mês]

$COPQ_A$ = Custos em ferramentas de corte em N-1 [€/ ano]

$Vendas_A$ = Vendas em N-1 [€/ ano]

$Vendas_B$ = Vendas em N [€/ mês]

Quanto aos custos reais no ano N, podemos verificar os valores no ponto B e C, sendo que até ao final do ano N foram gastos 22 155 € em ferramentas de corte.

Como é evidente, o mais importante é demonstrar a poupança (*cost savings*) conseguida ao longo do tempo. No ponto D, podemos observar a poupança real, respetivamente. Até dezembro do ano N, podemos aferir que a poupança real foi um pouco inferior em relação ao objetivo.

$$D = A - C \quad [11]$$

Sendo:

D = *Savings* acumulados em N [€]

A = COPQ acumulado em N sem melhorias [€]

C = COPQ acumulado em N [€]

Quanto aos indicadores a e b, podemos afirmar que, o objetivo proposto para o indicador a foi cumprido com sucesso, pois de facto este continuará abaixo dos 44 343 € do ano N-1. No que toca ao indicador b, se observarmos a tabela 24 (ver anexo 13 tabela completa), podemos aferir que a redução foi apenas de cerca de 34% para o mesmo peso percentual, pelo que, o objetivo proposto não foi alcançado, sendo que ainda existem ações por implementar nas linhas de montagem 2, 5, 6 e 7.

Tabela 24 - Indicador (b) em €/ 1000 cortes.

Situação melhorada					Ganho		
Linha	Ferramenta	Custo unitário da ferramenta (€)	Média de cortes (unid.)	(b) €/ 1000 cortes	A - Redução (%)	B - Peso (%)	A x B - Impacto (%)
Linha 1	Ferramenta 1	21,00 €	12 000	3,5 €	17%	37%	10%
Linha 2		21,00 €	22 500	1,9 €	11%		
Linha 3	Ferramenta 2	17,50 €	9 000	3,9 €	22%	15%	3%

Situação melhorada					Ganho		
Linha	Ferramenta	Custo unitário da ferramenta (€)	Média de cortes (unid.)	(b) €/ 1000 cortes	A - Redução (%)	B - Peso (%)	A x B - Impacto (%)
Linha 4	Ferramenta 4	27,10 €	13 000	4,2 €	100%	14%	14%
					26%	14%	4%
Linha 5	Ferramenta 5	36,23 €	16 000	4,5 €	6%	20%	3%
Linha 6		36,23 €	26 000	2,8 €	4%		
Linha 7		36,23 €	29 000	2,5 €	3%		
Total							34%

No entanto, importa evidenciar que a percentagem dos custos estimados com uma redução de 40% em relação às vendas orçamentadas é de 0,047%, e a relação dos custos em função das vendas reais no ano N é de 0,043%, pelo que, se pode aferir que a melhoria alcançada foi muito maior do que o estimado no início do projeto, isto é, se tivessem sido alcançadas umas vendas iguais às orçamentadas, neste caso, cerca de 57 milhões de euros e com base no rácio de custos atuais 0,043%, teríamos tido apenas uns custos de 24 737 € em fresas, o que seria uma redução de 2 046€ em relação à redução de 40% proposta, o descrito anteriormente pode-se verificar na tabela seguinte (tabela 25).

Tabela 25 – Custos em função das vendas orçamentadas e reais no ano N

Designação	Previsto N	Real N	Estimação N
Vendas (€)	57 514 115 €	51 510 486 €	57 514 115€
Custos reais (€)	26 784 €	22 155 €	24 737€
Custos/ Vendas (%)	0,047%	0,043%	0,043%
Custos reais - Previstos – Estimados (€)			2 046 €

Posto isto, podemos aferir, que apesar de não termos implementado todas as ações de melhoria propostas para a uma redução de 40% (indicador b), tivemos melhores resultados que o objetivo proposto, neste caso, houve uma influência positiva relacionada com as vendas e foco nos problemas prioritários, o que permite afirmar, que se nos focarmos naquele (s) cliente (s) que tem mais impacto na faturação e nos gastos estaremos a focalizar os nossos esforços para a fonte de maior desperdício e deste modo potenciando o nosso ganho.

Entretanto, se fizermos uma análise comparativa entre o valor gasto em fresas e o valor percentual do custo em ferramentas de corte pelo valor das vendas, podemos verificar no gráfico 23 que no ano N, a melhoria foi bastante significativa comparativamente ao ano N-1.

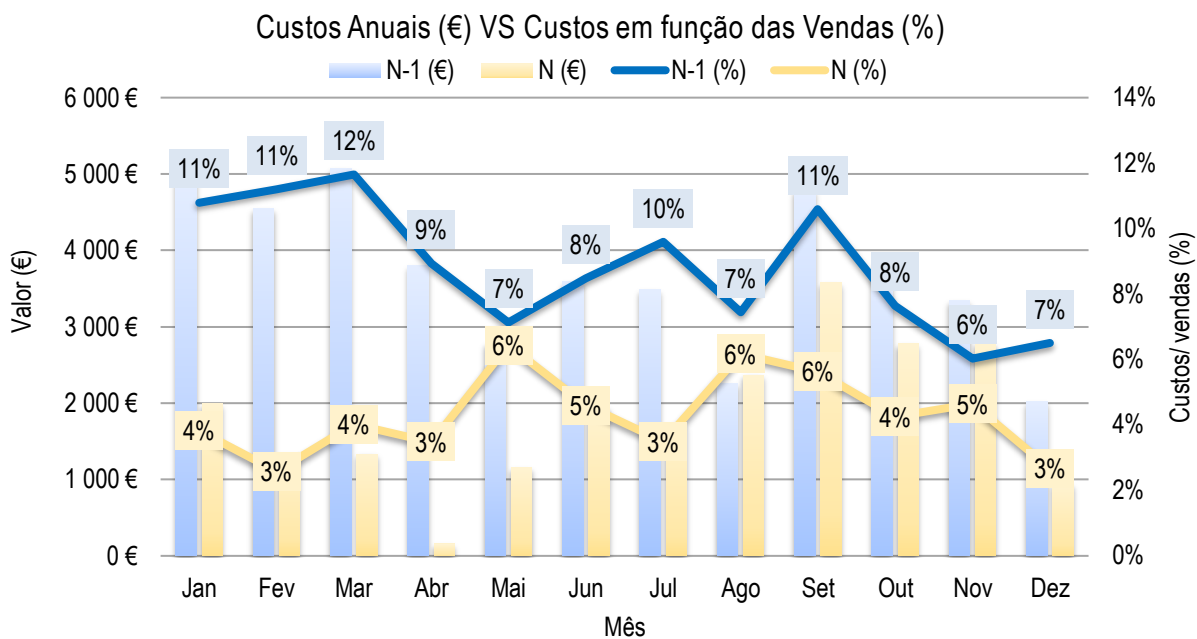


Gráfico 23 - Evolução dos custos e custos em função das vendas no ano N e N-1

Para finalizar, na figura 100 podemos visualizar o *project charter* devidamente preenchido, aqui pode-se encontrar toda a informação essencial ao projeto.

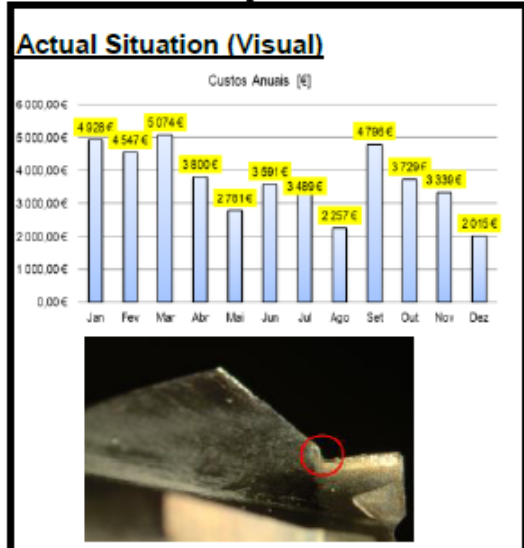


Huf Hulsbeck & Fürst

Project Name: Aumento do tempo de vida útil das ferramentas de corte Sponsor: D. Pinheiro
 Team: RF/DP/SP/JPR/CL/JCL Project No. PT-19-14
 Customer: Vários Product (family): Fechaduras Process Step: 100%

Project Leader R. Fernandes
 Phone: - Date: 20/1/20
 Email: - Updated: 5/1/21
 Closure: 23/12/20

Background / Actual Situation
 Até aos dias de hoje a empresa tem gasto imenso dinheiro em ferramentas de corte, custos esses que têm enorme representatividade nos custos de manutenção.



Problem Statement
 Elevados gastos com ferramentas de corte;
 Tempo desperdiçado na troca de ferramenta (setup);
 Perda de eficiência/ produtividade nos trabalhos manuais;

Goal Definition / Expected Improvement
 Uniformização dos critérios de decisão;
 Aumentar o tempo de vida das ferramentas de corte;
 Reduzir os custos com ferramentas de corte;
 Reduzir o nº de trocas de ferramentas;
 Reduzir a entropia na linha de montagem;

Process Start/Stop: Inicia quando o conjunto chega à fresadora e para após a raspagem/escovagem das chaves

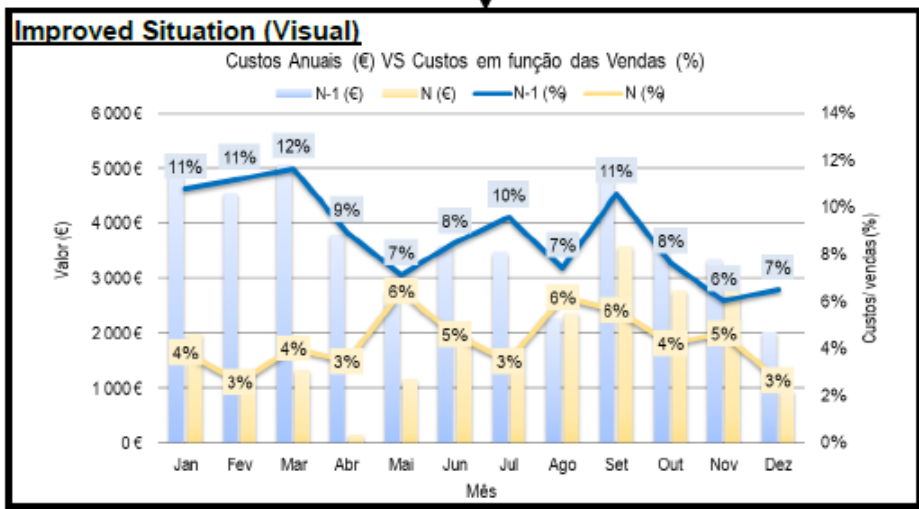
Project Excludes: O projeto exclui qualquer local de manipulação das chaves/espadas, exceto os mencionados acima

Project Indicators	Metric	N-1	N
Gastos anuais em fresas	€	44 344 €	21 206 €
Valor da fresa/ Nº total de cortes	€/ 1000 Cortes	4,1 €	3,3 €
Savings in € (when applicable) to N (Target):		24 130 €	
Savings in € (when applicable) to N (Real):		23 444 €	

Plan of Measures

What	Who	When
Novas fresas	DP	W46/ W46
Otimização das condições de corte	DP/ RF	W8/ W29
Desempenho do operadores	RF	W46/ W11
Otimização dos critérios de decisão	RF	W9

Summary of Main Changes/of Lessons Learned
 A nível de lições aprendidas, podemos evidenciar, que nem sempre o que vemos é a causa do problema. Por vezes, o problema encontra-se camuflado, isto devido à situação em que nos encontramos, mas também graças à conjuntura do meio envolvente. Neste caso em concreto o problema centra-se nos 3 elementos essenciais à produção, o homem, a máquina e o material. Sendo que, o homem, pelo facto de nem sempre nos providenciar a informação real dos factos, mas também por vezes não agir de acordo com as normas estabelecidas, a máquina, porque é o meio responsável pela operação de corte e esta ter características que nem sempre se podem corrigir ou alterar, e o material (fresas) devido ao facto de não existir um meio de controlo da sua conformidade com o contratado ao fornecedor.



Reference Documents

Figura 100 - Project charter.

6. Conclusão

Neste capítulo da dissertação serão apresentadas as conclusões do caso de estudo desenvolvido, e expostas algumas reflexões sobre a metodologia *six sigma* e a sua importância no meio industrial. Adicionalmente, serão ainda evidenciadas algumas *lesson's learned* do projeto de melhoria, algumas propostas para trabalhos futuros na empresa e umas considerações finais relativas a todo o projeto.

6.1 Principais conclusões

Inicialmente, e ainda antes de pormenorizar o estudo de caso, importa mencionar a relevância que a presente pesquisa bibliográfica tem não só para o projeto, mas também para enriquecimento pessoal do mestrando. O documento foi elaborado com base nas mais diversificadas fontes, sempre com a finalidade de seguir um raciocínio lógico e intuitivo. Além do referido, é possível aferir que o trabalho de pesquisa é essencial para um bom desempenho na componente prática do trabalho.

O presente estudo de caso permitiu compreender a importância da metodologia *six sigma* na melhoria dos processos industriais de uma organização. A procura constante pela melhoria dos processos e pela resolução dos problemas possibilita a empresa alcançar o sucesso empresarial, sendo que, quando aplicamos o *six sigma*, com pensamento de melhoria, podemos observar que os resultados operacionais da empresa evoluem positivamente ao longo do tempo.

Importa também salientar que, quando falamos de uma indústria como a de componentes para automóveis, as empresas para sobreviverem e serem competitivas no mercado, vêm-se obrigadas a aplicar os seus recursos na redução de gastos, pelo que a ferramenta mostrou-se ser bastante eficaz na redução de custos operacionais. De facto, a metodologia quando empregue de forma correta pode trazer grandes ganhos para a empresa, como foi evidenciado no trabalho, onde foi possível em doze meses obter uma poupança de 23 444 €.

Tabela 26 - Síntese dos resultados do projeto

Designação	Real N-1	Previsto N	Real N
Vendas (€)	50 092 100 €	57 514 115 €	51 510 486 €
Custos reais (€)	44 343 €	26 784 €	22 155 €
<i>Savings</i> (€)		24 129 €	23 444 €

6 – Conclusão

De notar que, os ganhos ao nível da Huf Portuguesa foram bastante positivos, no entanto, se extrapolarmos as medidas para todo o grupo Huf podemos estar a potenciar o proveito e a criar oportunidades de melhoria ainda maiores. O interessante é que se olharmos ao universo todo da Huf podemos ter benefícios de vários milhares de euros.

Ao longo do desenvolvimento do trabalho, a metodologia demonstrou a sua versatilidade quando munida das ferramentas e técnicas adequadas para cada etapa do ciclo DMAIC. A estrutura flexível e dinâmica do ciclo permitiu conduzir o projeto de uma forma coerente e encadeada, sendo que o ciclo revela a ideia de melhoria continua dos processos, ou seja, quando uma etapa e/ ou objetivo não for devidamente executada e/ ou atingida, será necessário recuar à etapa anterior ou ao início do ciclo, até que as metas propostas sejam alcançadas.

Como foi referido, ao longo do projeto foram empregues as mais diversificadas ferramentas nas diferentes etapas do ciclo DMAIC. Na fase de definição foi feita uma clara identificação do problema, a descrição dos objetivos, o mapeamento do processo e o sumário do projeto. Esta etapa torna-se importante pelo facto que é o ponto de partida para um correto arranque do projeto.

De seguida, na etapa de medição, foi feita a recolha e a validação dos dados provenientes do processo, assim como a medição da capacidade do mesmo. De notar que no *six sigma* este ponto é fundamental, pois a medição é o “*sine qua non* de qualquer ciência” (Pyzdek, 2003, p. 277). Neste ponto, como em todo o trabalho realizado, foi possível verificar que os dados são essenciais para a compreensão do processo.

Na análise a preocupação foi a investigação e a compreensão da causa raiz do problema prioritário. Deste modo, esta etapa torna-se relevante pelo facto de que, se na fase de melhoria atuarmos na real causa do problema, os ganhos serão potenciados. A máxima centra-se no facto de que se resolvermos 20% das causas que originam 80% dos problemas, o benefício será muito maior.

Para finalizar, a fase de controlo é a nossa garantia de que o problema foi erradicado e a melhoria perdurará ao longo do tempo. Importa referir que no processo em questão é impossível de controlar certas variáveis de entrada, como as fresas, os materiais (espaldas e chaves), entre outros, pelo que é difícil de implementar meios de controlo ou de monitorização das variáveis de entrada. De notar que, a fresagem é um processo onde apenas se podem monitorizar as variáveis de saída, neste caso o output do processo.

De um modo geral, o projeto de melhoria focou-se no aumento da vida útil das fresas, como refere Monkova et al. (2020), a “durabilidade da ferramenta (...) está diretamente

relacionada com o desgaste da ferramenta, que afeta significativamente a qualidade da peça”. No caso de estudo exposto pode-se verificar qual o impacto de uma ferramenta desgastada no corte do espadim, sendo que a precisão e fiabilidade necessárias são elevadas, pois falamos de tolerâncias muito pequenas e de mudanças de direção no fresado muito acentuadas.

Além da precisão necessária, foi possível observar que o método de decisão indireto é muito mais ambíguo do que aparenta. O método de monitorização indireto pode tornar-se mais complexo de controlar e aplicar devido à dificuldade que é a análise indireta, enquanto o método direto pode ser mais eficaz na tomada de decisão, pois encontramos a observar a ferramenta de corte. De acordo com Diniz (2008) o método indireto pode levar a uma troca prematura da fresa.

Em suma, podemos aferir que o projeto trouxe benefícios para a empresa, tanto tangíveis como intangíveis. Isto porque, para além dos ganhos monetários, também acresceu o sentido de responsabilidade e colaboração dos intervenientes no projeto, como os operários fabris, que se sentiram envolvidos e participativos na melhoria dos processos e resultados da empresa, como fonte de criação de riqueza do meio onde se insere.

6.2 *Lesson's Learned*

Numa empresa, uma das variáveis mais importantes presentes na equação da melhoria contínua, é o fator aprendizagem. Retirar o melhor de cada situação faz-nos crescer individualmente e organizacionalmente, porque só assim será possível resolver melhor e mais eficazmente problemas vindouros. Assim, desta forma, as *lesson's learned* de um projeto de melhoria tornam-se essenciais como parte da evolução, do sucesso e da transmissão de conhecimentos a toda a organização. Nos seguintes tópicos encontram-se as lições retiradas do presente caso de estudo.

- Importância do operador fabril nos resultados operacionais de uma empresa;

Ao longo do desenvolvimento prático do trabalho, foi possível denotar que os resultados de uma empresa podem ser potenciados ou alavancados, com o *empowerment*³⁶ dos trabalhadores. O desenrolar bem-sucedido do projeto acontece quando as partes intervenientes se sentem envolvidas e focadas na resolução do problema. De um modo geral, na fase inicial do projeto, os resultados do processo tendem a quebrar, mas à medida que os envolvidos se sentem incluídos e as ações de melhoria são implementadas, e mostram efetividade, os

³⁶Fortalecimento da autonomia e motivação dos trabalhadores

6 – Conclusão

resultados têm uma tendência de crescimento. Na figura 101, podemos observar o fenômeno enunciado em cima.

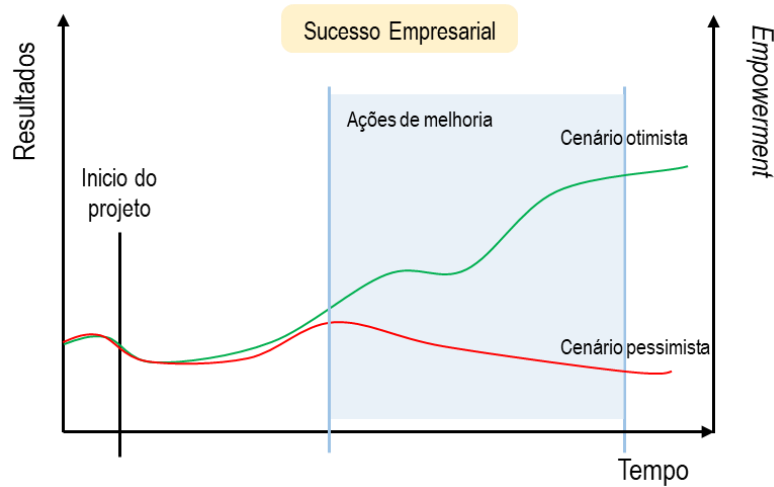


Figura 101 - Evolução representativa dos resultados em função dos envolvimento dos trabalhadores consoante a efetividade das ações de melhoria

- Importância da definição e uniformização dos critérios de decisão;

Através da uniformização e definição de parâmetros de análise mais assertivos e restritivos, foi possível fortalecer, aumentar e estabilizar o output do processo. O que se verificou foi o cumprimento rigoroso das normas estabelecidas, pois a disciplina foi um fator preponderante no seguimento rigoroso das diretrizes instituídas. Com o aprimorar dos critérios de análise foi factível alcançar um melhor desempenho do processo.

- Importância dos dados para uma correta tomada de decisão;

É evidente que um dos fatores mais importantes dos projetos *six sigma* são os dados. Sem eles estaríamos perdidos no processo, a tomada de decisão baseada em dados corretos terá uma maior probabilidade de sucesso, que uma decisão assente em dados errados. Só assim, é possível percebermos o estado atual do processo, pelo que também será possível compreendermos a efetividade das melhorias.

- Dificuldade de controlo das variáveis de entrada num processo de fresagem;

Um dos obstáculos do processo de fresagem é o controlo dos inputs do processo. Como foi observado ao longo do projeto de melhoria, existe uma dificuldade enorme na compreensão do nível de conformidade das diversas variáveis de entrada. Pelo que, no caso da fresagem não é realizado um método de controlo direto para por exemplo controlar a conformidade das ferramentas de corte, os desvios por vezes encontrados são detetados graças à experiência e o *know-how* dos operadores envolvidos no processo.

6 – Conclusão

Por exemplo, em relação às fresas não se encontra implementado um meio de controlo da sua conformidade com o especificado, pelo que o que se evidenciou a dada altura do projeto, foi que na linha de montagem 3, as ferramentas de corte, que aguentavam em média 7.850 cortes estavam apenas a realizar 20 cortes. Na figura seguinte (figura 102) é possível visualizar o espadim com uma enorme rebarba na zona do corte, isto apenas ao vigésimo corte.

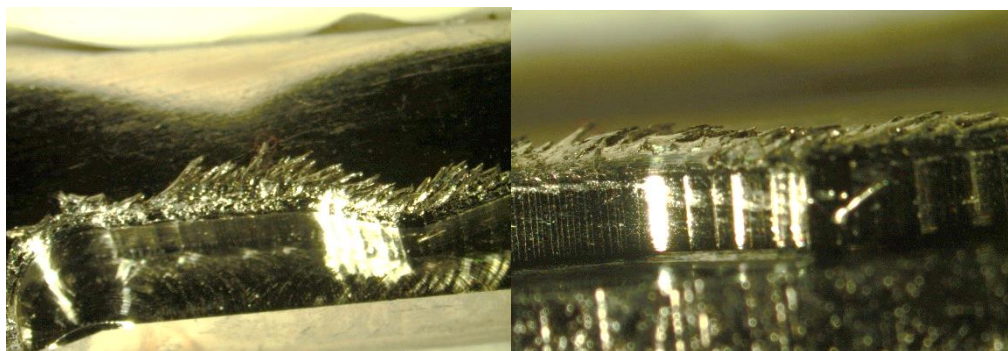


Figura 102 - Evidência do excesso de rebarba no fresado do espadim da linha 3

Nesta situação em específico a causa raiz do problema foi facilmente identificada, no entanto nada nos garante que parte da variação do processo de fresagem possa ocorrer devido à falta de garantia da conformidade de algumas variáveis de entrada do processo, uma vez que não as controlamos.

- Dificuldade de análise por métodos indiretos;

Outra dificuldade sentida neste tipo de caso de estudo derivou do facto de que os métodos indiretos de análise são muito mais difíceis de controlar e normalizar, que os diretos. Além do que, a variação inerente ao homem já é grande por si só, mais difícil se torna a estabilização do processo quando falamos da análise indireta. A melhor forma de reduzir a variação é através da criação de meios de uniformização da análise e padronização do *modus operandi*³⁷ dos trabalhadores.

6.3 Trabalhos futuros

Como em qualquer outro projeto de melhoria, o presente caso de estudo abriu inúmeras outras oportunidades de análise e possíveis melhorias do processo. O facto de a melhoria ser um processo inacabado leva a que o pensamento melhoria suscite sempre novas formas de repensar, alterar e atualizar os processos. Os tópicos seguintes apresentam alguns possíveis trabalhos futuros a aplicar na empresa em observação.

³⁷ Modo de operação

6 – Conclusão

- Finalizar as ações de melhoria em curso;

Dadas as circunstâncias, não foi possível terminar algumas ações em curso, o que importa frisar que se deve continuar com o trabalho já realizado, de modo a aumentar os ganhos e o *know-how* já adquirido.

- Implementar novas ações de melhoria;

Com o desenvolvimento do trabalho, pôde-se constatar que cada processo é único, pelo facto, de que utilizando equipamentos similares, com condições de corte idênticas, fresas e materiais iguais, temos resultados diferentes e comportamentos diferentes nos vários processos. Entre as diversas diferenças existentes denota-se que o estado de desgaste dos equipamentos utilizados potenciam a diferença no desempenho das ferramentas de corte, pelo que, função dos resultados apurados, tenha sido proposto a alteração de um equipamento de fresagem existente na fábrica, que de momento se encontra sem utilização, para ser colocado na linha de montagem 1, com o intuito de potenciar o processo para os níveis da linha de montagem 2.

Não obstante, devem-se pensar em outras soluções e/ ou ações para aumentar o output dos processos ou diminuir a sua variação, como por exemplo definir um bom plano de manutenção preventivo dos equipamentos.

- Utilizar outro tipo de análise estatística no processo;

No presente trabalho foram utilizadas algumas técnicas e ferramentas estatísticas, embora que, se possa aprofundar mais esta área utilizando outras técnicas, como a análise ou desenho experimental. No processo de fresagem, uma análise deste tipo pode trazer algumas mais-valias para os resultados do processo, pelo que seria deveras vantajoso perceber qual a influência das diversas variáveis no processo de corte.

- Otimizar os consumos dos restantes consumíveis de manutenção;

Ao longo do projeto, também foi denotado que, existe uma oportunidade de melhoria em outros materiais de manutenção. Deste modo, deve-se procurar identificar e erradicar as maiores fontes de custos em manutenção da empresa, sendo que, a otimização dos restantes consumíveis pode passar por alterações de processos, prática de ações de manutenção preventiva, melhoria de parâmetros de processo, entre outros. Existe uma grande panóplia de materiais ou consumíveis de manutenção a serem otimizados, como por exemplo brocas de furação, máscaras de apoio à soldadura de componentes, gelo seco para limpeza de moldes, entre outros.

- Comparar fresagem em série com fresagem em ambientes controlados;

Por último, seria importante fazer um comparativo entre fresagem em processos industriais e em laboratório. Compreender qual a diferença de comportamento entre fresas,

equipamentos ou materiais nos dois tipos de processos pode ser uma mais-valia, pelo que, se deve entender quais as melhores combinações entre as diversas variáveis.

- Novas ferramentas de corte

Criação de parecerias para desenvolvimento de ferramentas com maior resistência ao tipo de corte que efetuamos, considerando a otimização com inclusão de revestimentos apropriados. Um estudo em torno da geometria, material e revestimento da ferramenta aliado a um custo final vantajoso para ambas as partes, comprador e fornecedor.

6.4 Considerações

Ao longo de todo o trabalho foram desenvolvidas competências e aptidões cruciais ao bom desempenho dentro de uma organização. Em toda e qualquer empresa deve-se primar pela potencialização das capacidades dos trabalhadores, todo o esforço e trabalho realizado deve trazer valor acrescentado para a organização. O percurso realizado foi moroso e trabalhoso devido aos conhecimentos técnicos necessários adquirir, assim como o aperfeiçoamento das técnicas e ferramentas já conhecidas. Todo este trabalho foi de uma multidisciplinaridade elevada, sendo que foi necessário estar em contacto com as várias áreas dentro da organização, desenvolvendo assim as minhas capacidades profissionais e individuais. Contudo, com alguma resiliência e dedicação foi possível concretizar este trabalho, no qual foi necessário adquirir conhecimentos de uma área diferente da minha formação base, a Gestão Industrial.

6 – Conclusão

Referências Bibliográficas

- AFIA. 2019. «Indústria de Componentes para Automóveis». AFIA - Associação de fabricantes para a indústria automóvel. https://afia.pt/wp-content/uploads/2019/01/afia_indcompautomoveis.pdf.
- AIAG, e VDA. 2019. *Failure Mode and Effects Analysis. FMEA Handbook - Design and Process FMEA. Supplemental FMEA for Monitoring & System Response*. 1ª. Automotive Industry Action Group e Verband der Automobilindustrie.
- Aized, Tauseef, ed. 2012. *Total Quality Management and Six Sigma*. InTech. <https://doi.org/10.5772/2559>.
- Alhadeff, L., M. Marshall, e T. Slatter. 2019a. «The Influence of Tool Coating on the Length of the Normal Operating Region (Steady-State Wear) for Micro End Mills». *Precision Engineering* 60 (Novembro): 306–19. <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2019.07.018>.
- . 2019b. «The Influence of Tool Coating on the Length of the Normal Operating Region (Steady-State Wear) for Micro End Mills». *Precision Engineering* 60 (Novembro): 306–19. <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2019.07.018>.
- Allen, Theodore T. 2019. *Introduction to Engineering Statistics and Lean Six Sigma: Statistical Quality Control and Design of Experiments and Systems*. London: Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-7420-2>.
- An, Qinglong, Chongyan Cai, Fan Zou, Xu Liang, e Ming Chen. 2020. «Tool wear and machined surface characteristics in side milling Ti6Al4V under dry and supercritical CO₂ with MQL conditions». <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106511>.
- Andersen, Bjørn, e Tom Fagerhaug. 2013. *ASQ Pocket Guide to Root Cause Analysis*. Milwaukee, WI: ASQ Quality Press.
- «Andon Lights». sem data. Creative Safety Supply. Acedido 4 de Outubro de 2020. <https://www.creativesafetysupply.com/glossary/andon-lights/>.
- ASQ. sem data. «The Shainin System™ - Shainin Red X Method | ASQ». ASQ. Acedido 3 de Outubro de 2020a. <https://asq.org/quality-resources/shainin-system>.
- . sem data. «What is a Spaghetti Diagram, Chart or Map? | ASQ». ASQ. Acedido 16 de Julho de 2020b. <https://asq.org/quality-resources/spaghetti-diagram>.
- ASQ India. sem data. «Workshop on Structured Problem Solving Using DMAIC Methodology». India.

- Atkins, Antony. 2009. *The Science and Engineering of Cutting: The Mechanics and Processes of Separating, Scratching and Puncturing Biomaterials, Metals and Non-Metals*. 1. ed. Amsterdam: Elsevier/Butterworth-Heinemann.
- Atkinson, Sam, Steven Carton, Ben Ffrancon Davies, Sarah Edwards, Sarah MacLeod, Ben Morgan, Sophie Parkes, Laura Sandford, Pauline Savage, e Amanda Wyatt, eds. 2018. *Timelines of Everything*. 1ª. United States: The Smithsonian.
- «Bandeira do Japão». sem data. Acedido 3 de Agosto de 2020. https://www.google.com/search?q=bandeira+jap%C3%A3o&sxsrf=ALeKk00dCJ7l2pdpYQexvSjkrnd1pX_Wcw:1601148763285&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjUoJL6x4fsAhVGKBoKHXY1DHoQ_AUoAXoECBIQAw&biw=1536&bih=722#imgrc=t98Td_OVQ0oVdM.
- Bjurka, Emelie. 2011. «Analyze of Insert Geometries, Wear Types and Insert Life in Milling». Suécia: Chalmers university of technology. Department of applied mechanics - Division of material and computanional mechanics. <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/160325.pdf>.
- Boiser, Lena. 2020. «What Is a Yamazumi Chart and Why You Should Use It». *Kanban Zone* (blog). 14 de Janeiro de 2020. <https://kanbanzone.com/2020/yamazumi-chart-why-use-it/>.
- Bona, Fabiano Dalla, e Adriana Iozzi Klein. 2016. «XVI Congresso da ABPI, XVI Encontro Internacional de Estudos Italianos e V Jornada de Italianística da América Latina e III Seminário Internacional de Estudos Camillerianos». *Revista de Italianística XXXI*. <https://www.revistas.usp.br/italianistica/article/download/124985/122105>.
- Brook, Quentin. 2014. *Lean Six Sigma & Minitab: The Complete Toolbox Guide for Business Improvement*. 4ª. OPEX Resources Ltd.
- Brue, Greg. 2006. *Six sigma for small business*. Irvine, Calif: Entrepreneur Press.
- Daniel. 2017. «A Brief History of the Internal Combustion Engine». <https://www.dailyinfographic.com/a-brief-history-of-the-internal-combustion-engine>.
- Deming, William Edwards. 2000. *Out of the Crisis*. 1. MIT Press ed. Cambridge, Mass.: The MIT Press.
- Diniz, Anselmo Eduardo. 2008. *Tecnologia da usinagem dos materiais*. Editado por Marcondes Marcondes e Nivaldo Lemos Coppini. 6ª. São Paulo: Artliber Editora. <https://omundodausinagem.com.br/?p=4791>.

REFERÊNCIAS

- Dolinšek, S, e J Kopač. 2006. «Mechanism and Types of Tool Wear; Particularities in Advanced Cutting Materials». *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 19 (1): 9.
- Duszyński, Maciej. 2020. «Pareto Principle—All You Need to Know About the 80/20 Rule», Abril, 11.
- Eckes, George. 2003. *El Six Sigma para todos*. Grupo editorial norma.
- Ede, Jaap van. sem data. «Every Conflict Can Be Solved». Acedido 1 de Agosto de 2020. https://www.business-improvement.eu/toc/Eliyahu_Goldratt_in_memoriam.php.
- Eletric, General. sem data. «General Eletric». Acedido 2 de Agosto de 2020. <https://www.ge.com/pt/>.
- Evans, Jenny. 2018. *Six Sigma Revealed Training Book*. 2ª. International six sigma institute.
- Ford. sem data. «Ford Portugal». Acedido 3 de Agosto de 2020. <https://www.ford.pt/>.
- Franceschini, Fiorenzo, Maurizio Galetto, e Domenico Maisano. 2019. *Designing Performance Measurement Systems: Theory and Practice of Key Performance Indicators*. Management for Professionals. Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-01192-5>.
- Galsworth, Gwendolyn D. 2017. *Visual Workplace Visual Thinking - Creanting Enterprise Excellence through the Techonologies of the Visual Workplace*. 2ª. CRC Press - Taylor & Francis Group.
- George, Mark O. 2010. *The Lean Six Sigma Guide to Doing More with Less. Cut Costs, Reduce Waste and Lower Yout Overhead*. 1ª. John Wiley & Sons, Ltd.
- George, Michael L. 2002. *Lean Six Sigma*. The McGraw-Hill Companies, Inc.
- . 2003. *Lean Six Sigma for Service*. The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Gestão, Portal. 2010. «O que são objectivos SMART? - Portal Gestão». 9 de Julho de 2010. <https://www.portal-gestao.com/artigos/6197-o-que-s%c3%a3o-objectivos-smart.html>.
- Gitlow, Howard S. 2009. *A Guide to Lean Six Sigma Management Skills*. CRC Press - Taylor & Francis Group.
- Groover, Mikell P. 2013. *Fundamentals of Modern Manufacturing. Materials, Processes, and Systems*. 5ª. John Wiley & Sons, Ltd.
- Gygi, Craig, Bruce Williams, Neil DeCarlo, e Stephen R Covey. 2005. *Six Sigma For Dummies*. 2nd Edition. Indianapolis: Wiley Publishing, Inc.
- Harold. 2018. «Internal Customers vs. External Customers: What Is The Difference?» *Diffzi* (blog). 21 de Novembro de 2018. <https://diffzi.com/internal-customers-vs-external-customers/>.

- «Het Andon Process». 2013. MudaMasters. 8 de Janeiro de 2013. <https://www.mudamasters.com/nl/lean-productie/het-andon-proces>.
- Hirano, Hiroyuki. 1995. *5 Pillars of the Visual Workplace - The Sourcebook for 5S Implementation*. JIT Management Laboratory Company, Ltd. Tokyo, Japan: Productivity Press.
- . 2009. *The Complete Guide to Just-In-Time Manufacturing - Waste and the 5S's*. 2^a. Vol. JIT Implementation Manual. Volume 2 vols. JIT Management Laboratory Company, Ltd. Tokyo, Japan: CRC Press - Taylor & Francis Group.
- Huang, Xianghui, Fan Zou, Weiwei Ming, Jinyang Xu, Yun Chen, e Ming Chen. 2020. «Wear Mechanisms and Effects of Monolithic Sialon Ceramic Tools in Side Milling of Superalloy FGH96». *Ceramics International* 46 (17): 26813–22. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.07.157>.
- Hubert, Chris, e Phuong Pham. 2003. «Traditional Machining». Department of Mechanical Engineering. The Ohio State University.
- Huf Group. 2019. «Huf Hülsbeck & Fürst GmbH & Co». Huf Group. 2019. <https://www.huf-group.com>.
- Huf Portuguesa. 2017. «Communication on Progress 2016». Huf Portuguesa. https://s3-us-west-2.amazonaws.com/ungc-production/attachments/cop_2017/395331/original/COP_2016_PT.pdf?1498055445.
- . sem data. «Documentação interna da Huf Portuguesa». Acedido 26 de Dezembro de 2019.
- IHS MARKIT, OICA. 2019. «World Motor Vehicle Production | ACEA - European Automobile Manufacturers' Association». European Automobile Manufacturers Association. 21 de Junho de 2019. <https://www.acea.be/statistics/tag/category/world-production>.
- isixsigma. sem data. «Hard and Soft Savings: What Counts Can Be Counted». isixsigma. Acedido 30 de Maio de 2020. <https://www.isixsigma.com/implementation/financial-analysis/hard-and-soft-savings-what-counts-can-be-counted/>.
- iSixSigma, ed. sem data. «The History of Six Sigma». iSixSigma-Editorial. <https://www.isixsigma.com/new-to-six-sigma/history/history-six-sigma/>.
- ISO 3685. 1993. «Tool-Life Testing with Single-Point Turning Tools». ISO.
- ISO 8688. 2016. *Tool life testing in milling*. ISO.
- ISO 13053-1. 2011. «Quantitative methods in process improvement — Six Sigma — Part 1: DMAIC methodology (Méthodes quantitatives dans l'amélioration de processus — Six Sigma — Partie 1: Méthodologie DMAIC)». ISO.
- Jesus, Abílio. 2019. *Fundamentos do corte: Teoria e Exercícios*.

REFERÊNCIAS

- Juran, J. M., e A. Blanton Godfrey, eds. 1999. *Juran's quality handbook*. 5th ed. New York: McGraw Hill.
- «Kaizen». sem data. 5S Today. Acedido 13 de Julho de 2020. <https://www.5stoday.com/kaizen/>.
- Kanbanize. sem data. «5 Porquês: A Melhor Ferramenta para a Análise de Causa Raiz». Kanban Software for Agile Project Management. Acedido 3 de Outubro de 2020a. <https://kanbanize.com/pt/gestao-lean/melhoria/5-porques-ferramenta-de-analise>.
- . sem data. «O que é o kaizen?» Acedido 29 de Julho de 2020b. <https://kanbanize.com/pt/gestao-lean/melhoria/o-que-e-kaizen>.
- Klocke, Fritz. 2011. *Manufacturing Processes I: Cutting*. RWTHedition. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-11979-8>.
- Kosina, Jan. 2015. «Shainin Methodology: An Alternative or an Effective Complement to Six Sigma?» *Quality Innovation Prosperity* 19 (2): 18. <https://doi.org/10.12776/qip.v19i2.580>.
- Kubiak, T. M. 2012. *The Certified Six Sigma Master Black Belt Handbook*. Milwaukee, Wisconsin: ASQ Quality Press.
- . 2014. *The ASQ pocket guide for the certified six sigma black belt*. Milwaukee, Wisconsin: ASQ Quality Press.
- Kumar, U. Dinesh, John Crocker, T. Chitra, e Haritha Saranga, eds. 2006. *Reliability and Six Sigma*. New York, NY: Springer.
- Liker, Jeffrey. 2003. *Toyota Way*. Blacklick, USA: McGraw-Hill Professional Publishing. <https://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=4656215>.
- Machado, Álisson Rocha, Reginaldo Teixeira Coelho, Alexandre Mendes Abrão, e Márcio Bacci Silva. 2009. *Teoria da usinagem dos materiais*. 1ª. São Paulo: Editora Blucher.
- McClusky, R. 2000. *The Rise, fall, and revival of six sigma*. Measuring Business Excellence.
- McRaven, William H. 2017. *Arrume a sua cama*. Academia.
- Minitab. 2019. «O que é um intervalo de confiança?» Mtbconcept. Minitab. 2019. <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/19/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/basics/what-is-a-confidence-interval/>.
- Monkova, Katarina, Shufeng Sun, Peter Pavol Monka, Sergej Hloch, e Miroslav Belan. 2020a. «Durability and Tool Wear Investigation of HSSE-PM Milling Cutters within Long-Term Tests». *Engineering Failure Analysis* 108 (Janeiro): 104348. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.104348>.

- . 2020b. «Durability and Tool Wear Investigation of HSSE-PM Milling Cutters within Long-Term Tests». *Engineering Failure Analysis* 108 (Janeiro): 104348. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.104348>.
- Montgomery, Douglas C. 2013. *Introduction to statistical quality control*. 7^a. Arizona State University: John Wiley & Sons, Ltd.
- Morgan, John, e Martin B. Jones. 2016. *Lean Six Sigma For Dummies*. 3.^a ed. John Wiley & Sons, Ltd.
- Motorola. sem data. «Motorola Mobility». Acedido 1 de Agosto de 2020. <https://www.motorola.com/us/>.
- Oakland, John S. 2003. *Statistical Process Control*. 5th ed. Oxford ; Boston: Butterworth-Heinemann.
- Ohno, Taiichi. 1988. *Toyota Production System - Beyond Large-Scale Production*. Portland, Oregon: Productivity Press.
- Ortiz, Chris A., e Murry R. Park. 2011. *Visual Controls: Applying Visual Management to the Factory*. 1^a. CRC Press - Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.4324/9781466503267>.
- Pomorski, Thomas R, e Brooks Automation. 2004. «Total Productive Maintenance (TPM) Concepts and Literature Review». *Total Productive Maintenance*, Abril, 110.
- Pouspourika, Katerina. 2019. «The 4 Industrial Revolutions», Junho, 6.
- Pyzdek, Thomas. 2003. *The Six Sigma Handbook*. The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Roser, Christoph. 2016. *Faster, Better, Cheaper in the History of Manufacturing: From the Stone Age to Lean Manufacturing and Beyond*. 1.^a ed. 1 Edition. | Boca Raton : CRC Press, 2016.: Productivity Press. <https://doi.org/10.1201/9781315367941>.
- . 2018a. «Toyota Standard Work – Part 2: Standard Work Combination Table». 26 de Junho de 2018. <https://www.allaboutlean.com/toyota-standard-work-part-2/>.
- . 2018b. «Toyota Standard Work – Part 3: Standard Work Layout». 3 de Julho de 2018. <https://www.allaboutlean.com/toyota-standard-work-part-3/>.
- Roush, Robert, Andy Kucharski, Michael A. Mazur, Roderick A. Munro, R. Dan Reid, David L. Kraush, Paul Anglin, et al. 1994. *Advanced product quality planning (APQP) and control plan*. Chrysler Corporation, Ford Motor Company, and General Motors Corporation.
- S. Krishnamoorthi, K., V. R. Krishnamoorthi, e Arunkumar Pennathur. 2018. *A First Course in Quality Engineering: Integrating Statistical and Management Methods of Quality*. Third edition. Boca Raton: Taylor & Francis, CRC Press.
- Sandvik. 2017. «Treinamento Catálogo - Tecnologia em usinagem». Sandvik Coromat. <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/pages/default.aspx>.

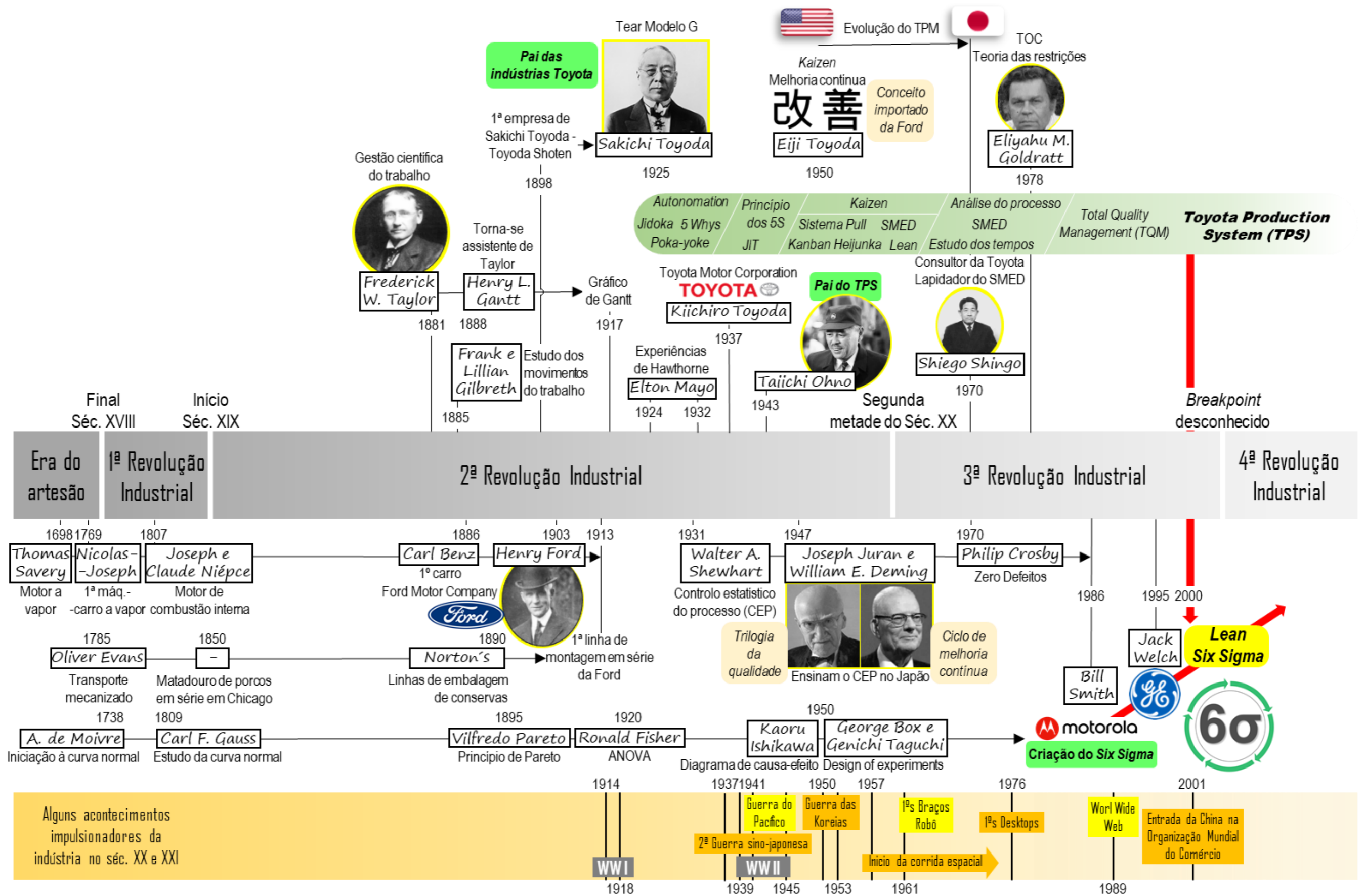
REFERÊNCIAS

- Schneider, George. 2002. *Cutting Tool Applications*. www.toolingandproduction.com.
- Sheldrake, John. 2003. *Management Theory*. 2^a. Londres: Thomson.
- Shingo Institute. sem data. «Shigeo Shingo». Acedido 2 de Agosto de 2020. <https://shingo.org/>.
- Six Sigma: A Complete Step by Step Guide. A Complete Training & Reference Guide for White Belts, Yellow Belts, Green Belts, and Black Belts*. 2018. The Council for Six Sigma Certification.
- Smith, Graham T. 2008. *Cutting Tool Technology*. London: Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-1-84800-205-0>.
- Snee, Ronald D., e Roger W. Hoerl. 2003. *Leading Six Sigma: A Step-by-Step Guide Based on Experience With GE and Other Six Sigma Companies*. PEARSON EDUCATION, INC.
- Stamatis, D.H. 2002. *Six Sigma and Beyond Foundation of Excellent Performance*. United States: St. Lucie Press. <https://www.scribd.com/document/165151300/Six-Sigma-DH-Stamatis>.
- Stephenson, David A., e John S. Agapiou. 2016. *Metal Cutting Theory and Practice*. 3^a. CRC Press - Taylor & Francis Group.
- Tang, Loon Ching, Thong Ngee Goh, Hong See Yam, e Timothy Yoap, eds. 2006. *Six Sigma: Advanced Tools for Black Belts and Master Black Belts*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/0470062002>.
- «The 8 Wastes of Lean Poster (White)». sem data. Creative Safety Supply. Acedido 27 de Junho de 2020. <https://www.creativesafetysupply.com/the-8-wastes-of-lean-poster-white/>.
- Timelines of History: The Ultimate Visual Guide To The Events That Shaped The World*. 2011. 1^a. Grã-Bretanha: Smithsonian.
- Toyota. sem data. «Toyota Portugal». Acedido 25 de Julho de 2020. <https://www.toyota.pt/>.
- Trent, E. M., e Paul Kenneth Wright. 2000. *Metal Cutting*. 4th ed. Boston: Butterworth-Heinemann.
- UCL. 2018. «Confidence Intervals». UCL Great Ormond Street Institute of Child Health. 1 de Junho de 2018. <https://www.ucl.ac.uk/child-health/short-courses-events/about-statistical-courses/research-methods-and-statistics/chapter-5-content-1>.
- Vardeman, Stephen B., e J. Marcus Jobe. 2016. *Statistical Methods for Quality Assurance*. Springer Texts in Statistics. New York, NY: Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-79106-7>.
- Voehl, Frank, H. James Harrington, Chuck Mignosa, e Rich Charron. 2013. *The Lean Six Sigma Black Belt Handbook: Tools and Methods for Process Acceleration*. 1^a. Productivity Press. <https://doi.org/10.1201/b15163>.

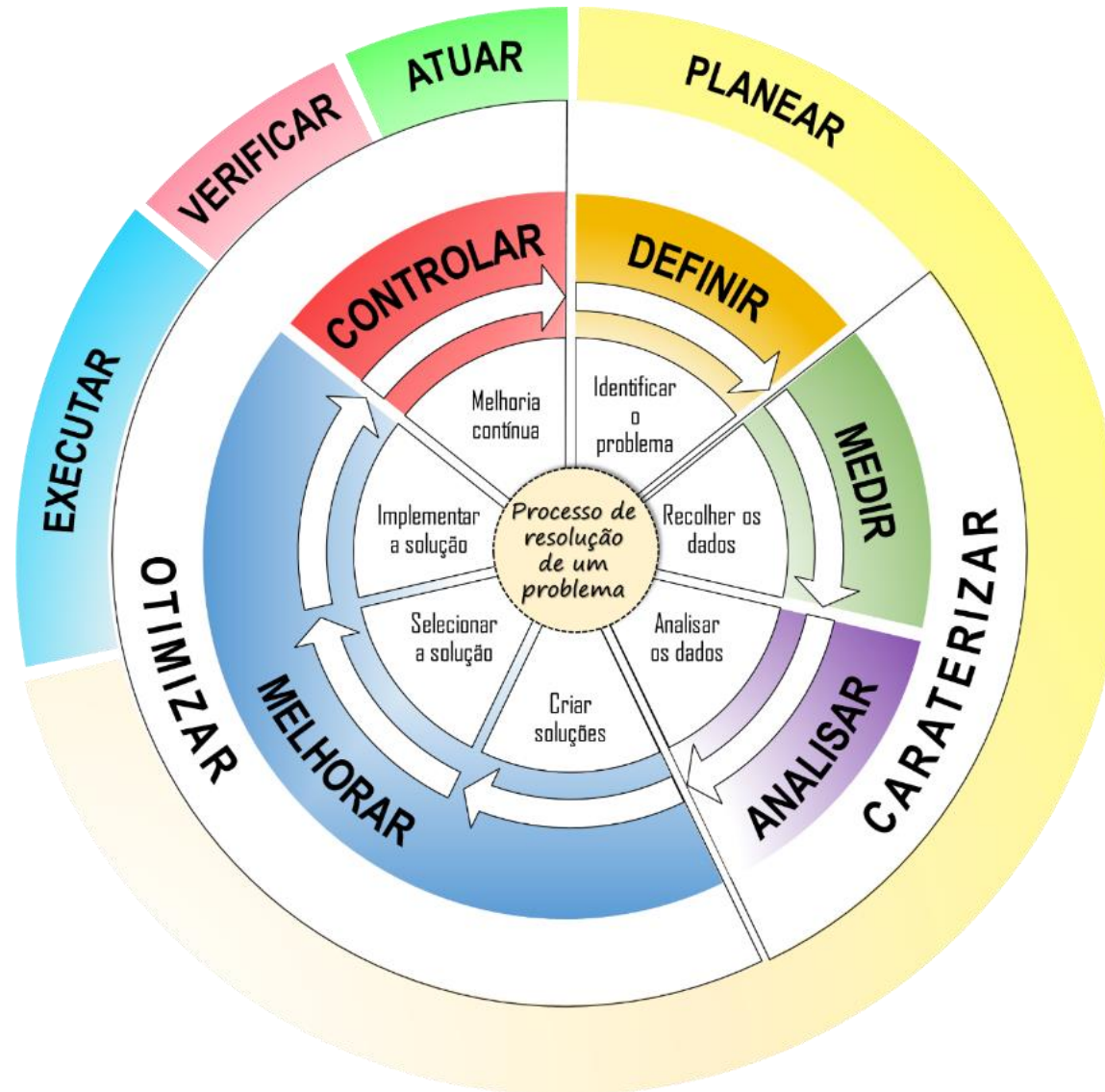
- Wagner, I. 2019. «Car production: Number of cars produced worldwide 2019». Statista. 1 de Abril de 2019. <https://www.statista.com/statistics/262747/worldwide-automobile-production-since-2000/>.
- Werkema, Cristina. 2012. *Criando a Cultura Lean Seis Sigma*. 3.^a ed. Série Werkema de Excelência Empresarial. Elsevier Editora Ltda.
- Willis, Drew. 2016. *Process Implementation Through 5S - Laying the Foundation for Lean*. CRC Press - Taylor & Francis Group.

ANEXOS

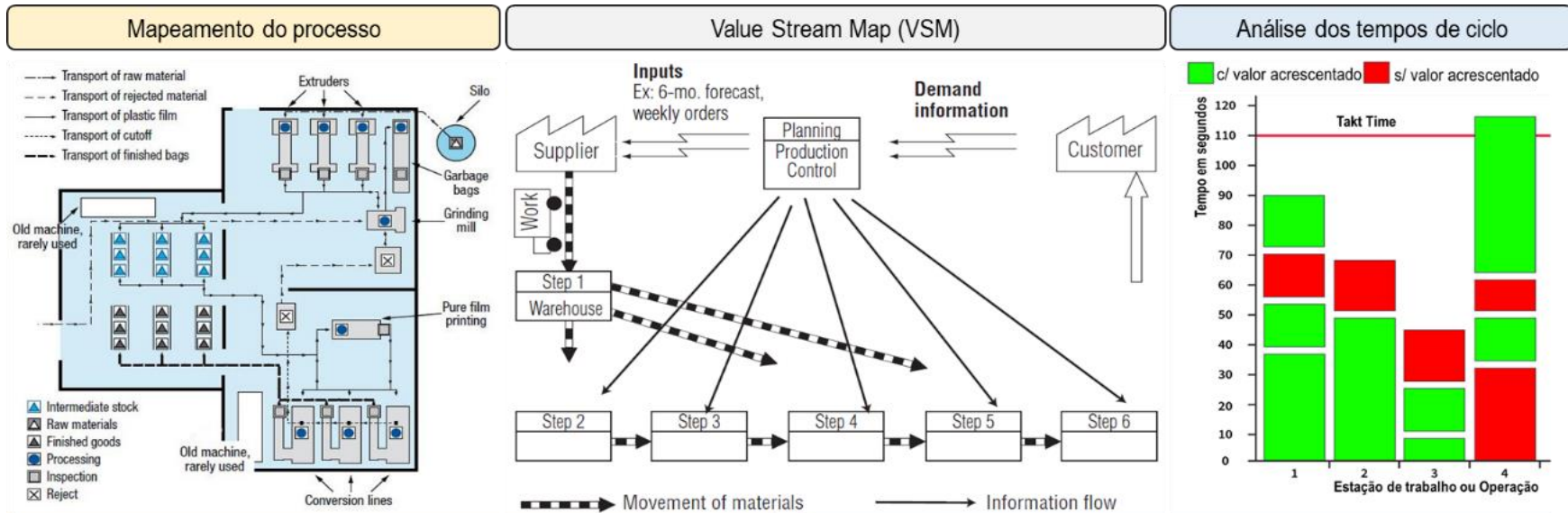
ANEXO 1



ANEXO 2



ANEXO 3



Fluxo do processo

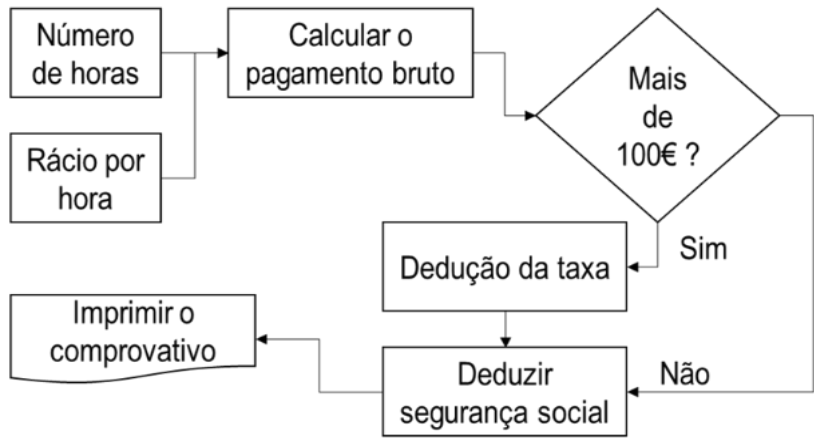
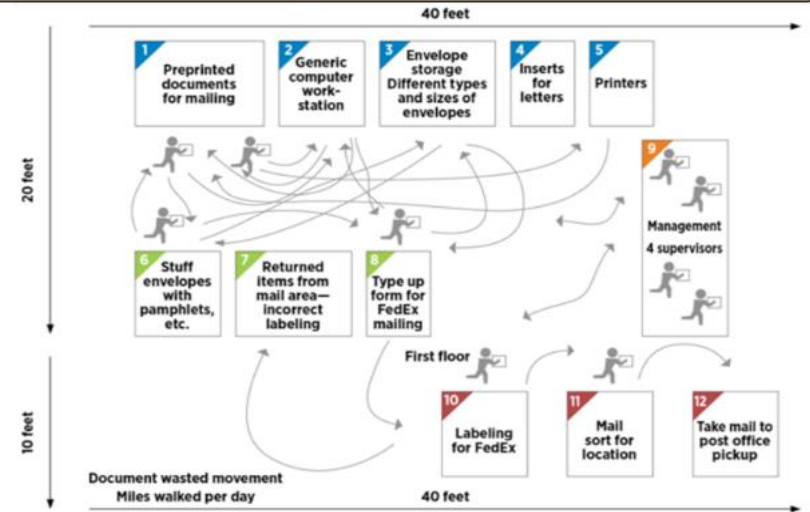


Diagrama de spaghetti



ANEXO 4

Process Failure Mode and Effects Analysis (Process FMEA)

PLANNING and PREPARATION (STEP 1)	
Company Name:	
Plant Location:	
Customer Name:	
Model Year / Platform:	

Subject:	
PFMEA Start Date:	
PFMEA Revision Date:	
Cross-Functional Team:	

PFMEA ID Number:	
Process Responsibility:	
Confidentiality Level:	

CONTINUOUS IMPROVEMENT	STRUCTURE ANALYSIS (STEP 2)	FUNCTION ANALYSIS (STEP 3)			FAILURE ANALYSIS (STEP 4)			
	1. Process Item System, Subsystem, Part Element or Name of Process		1. Function of the Process Item Function of System, Subsystem, Part Element or Process	<u>Your Plant:</u> <u>Ship to Plant:</u> <u>End User:</u>				
Issue #	2. Process Step Station No. and Name of Focus Element	3. Process Work Element 4M Type	2. Function of the Process Step and Product Characteristic (Quantitative value is optional)	3. Function of the Process Work Element and Process Characteristic	1. Failure Effects (FE)	Severity (S) of FE	2. Failure Mode (FM) of the Process Step	3. Failure Cause (FC) of the Work Element

RISK ANALYSIS (STEP 5)						OPTIMIZATION (STEP 6)														
Current Prevention Control (PC) of FC	Occurrence (O) of FC	Current Detection Controls (DC) of FC or FM	Detection (D) of FC/FM	PFMEA AP	Special Characteristics	Filter Code (Optional)	Prevention Action	Detection Action	Responsible Person's Name	Target Completion Date	Status	Action Taken with Pointer to Evidence	Completion Date	Severity (S)	Occurrence (O)	Detection (D)	PFMEA AP	Special Characteristics	Remarks	

ANEXO 5

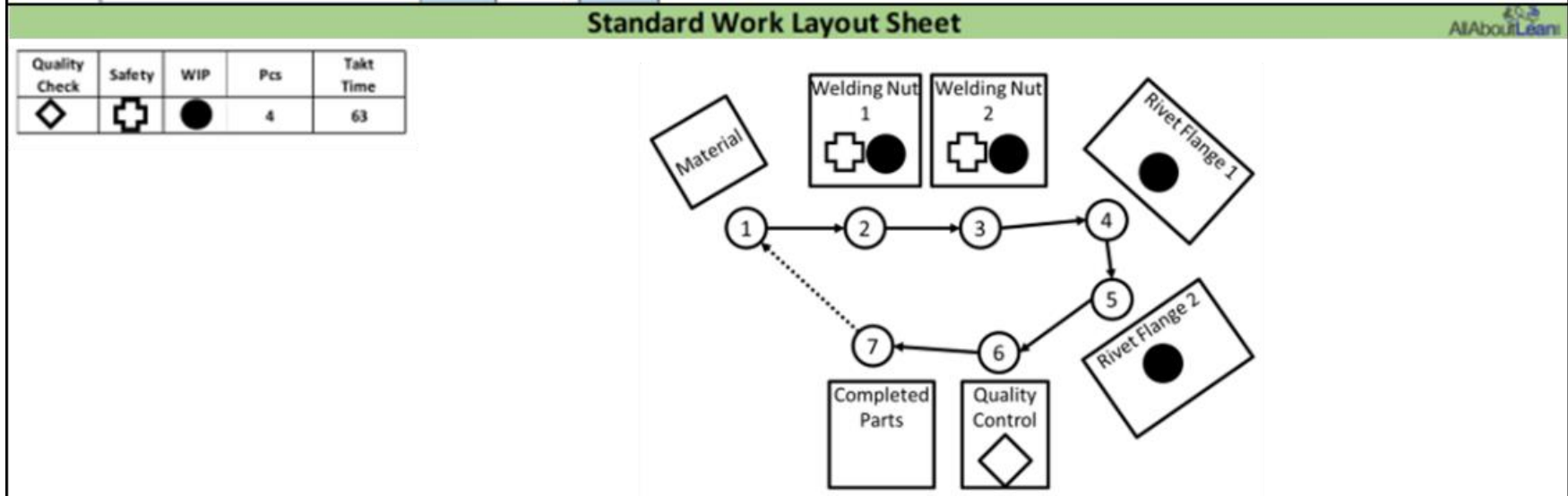
CONTROL PLAN

Page ___ of ___

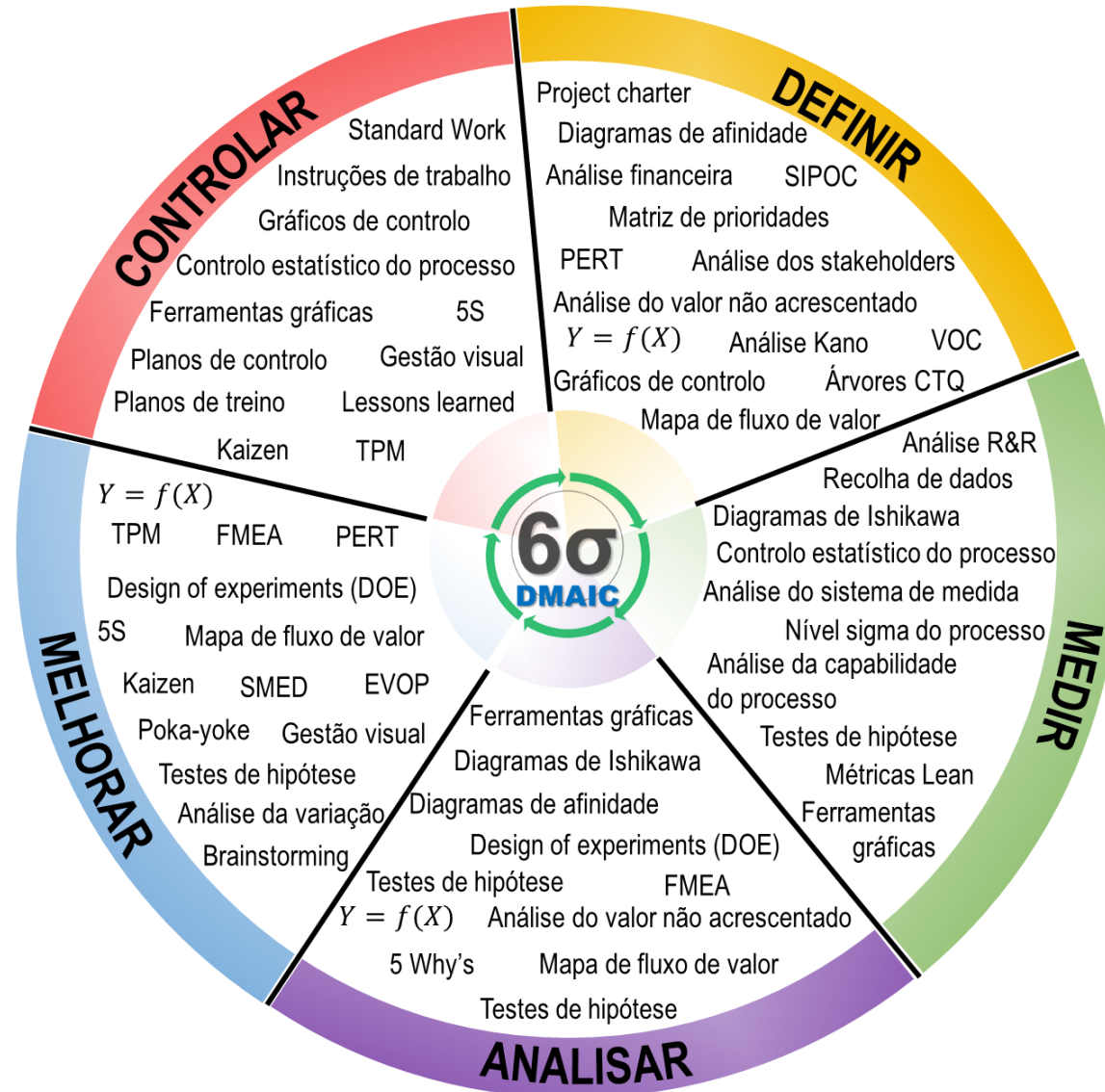
<input type="checkbox"/> Prototype <input type="checkbox"/> Pre-launch <input type="checkbox"/> Production			Key Contact/Phone				Date (Orig.)		Date (Rev.)			
Control Plan Number			Core Team				Customer Engineering Approval/Date (If Req'd)					
Part Number/Latest Change Level			Supplier/Plant Approval/Date				Customer Quality Approval/Date (If Req'd)					
Part Name/Description			Supplier/Plant				Other Approval/Date (If Req'd)					
Supplier/Plant			Supplier Code		Other Approval/Date (If Req'd)				Other Approval/Date (If Req'd)			
Part/ Process Number	Process Name/ Operation Description	Machine, Device, Jig, Tools For Mfg.	Characteristics			Special Char. Class.	Methods				Reaction Plan	
			No.	Product	Process		Product/Process Specification/ Tolerance	Evaluation/ Measurement Technique	Sample			Control Method
									Size	Freq.		

ANEXO 6

Standard Work Combination Table																			
Part Name		Corner Body Assembly		Part Nr.	224-08/15	Date	03.02.2018	Process	Corner Body Cell	Takt Time	63	Demand/Shift	400						
Sequence	Work Content	Time			Operation Time														
		Manual	Machine	Walking	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
1	Pick up material	2	0	2															
2	Load into Welding Nut 1 Machine	3	25	2															
3	Load into Welding Nut 2 Machine	5	21	2															
4	Load into Rivet Flange 1	7	27	2															
5	Load into Rivet Flange 2	6	36	2															
6	Quality Control	20	0	2															
7	Place Material in container	2	0	3															
8																			
9																			
Total		45		15															
			Waiting	3															

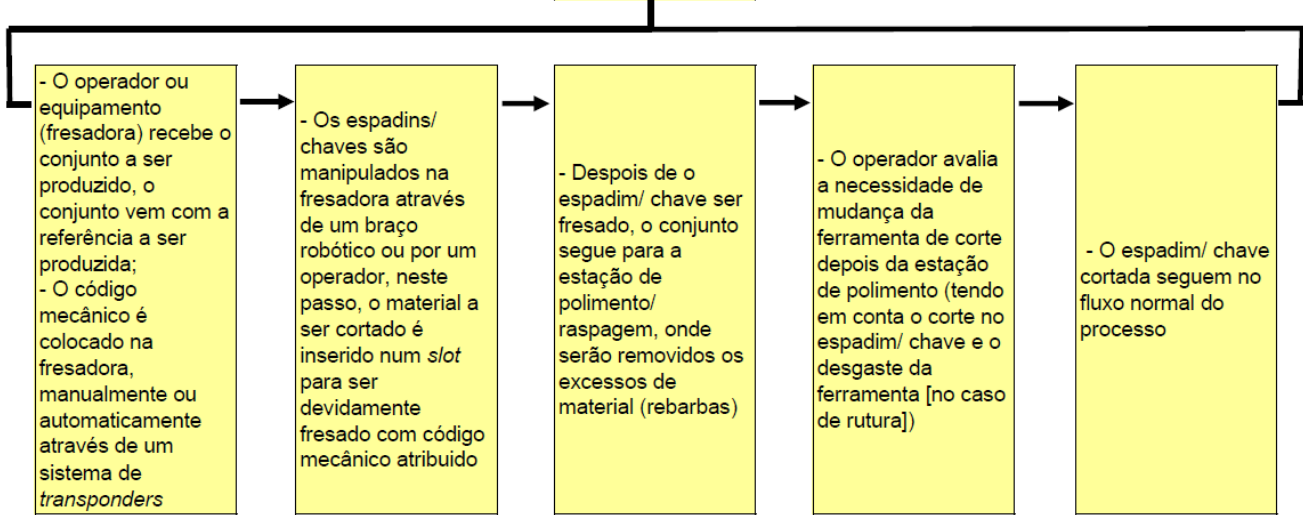


ANEXO 7



ANEXO 8

Suppliers	Inputs	Process	Outputs	Customers
Fornecedores de ferramentas de corte	Condições de corte (Velocidade de corte, velocidade de avanço, tempo de ciclo, etc...)	Fresagem + Polimento/ Raspagem	Número de cortes realizados (por ferramenta, por equipamento, por ano, etc...)	Internos (Operadores, chefias, gestores, etc...)
Fornecedores de equipamentos	Desempenho do operador		Qualidade do corte no espadim/ chave	Externos (OEM's/ acionistas)
Fornecedores da matéria prima	Ferramenta de corte (ângulos, nº de dentes de corte, material base, revestimento, etc...)		<i>Cost savings</i> nas ferramentas de corte	
	Código posicional de corte do espadim (código mecânico)		Tempo desperdiçado no <i>set up</i> das ferramentas de corte	
	Condições do equipamento (manutenção, desgaste, etc...)		Perda de eficiência/ produtividade em postos manuais na linha de montagem (os espadins com rebarbas são particularmente difíceis de retirar fora da fechadura, devido à interação espadim e fechadura)	



ANEXO 9

Huf Portuguesa



Line: _____

Appraiser	Part	OK/ NOK		Appraiser	Part	OK/ NOK	
		First Shot	Second Shot			First Shot	Second Shot
	1				31		
	2				32		
	3				33		
	4				34		
	5				35		
	6				36		
	7				37		
	8				38		
	9				39		
	10				40		
	11				41		
	12				42		
	13				43		
	14				44		
	15				45		
	16				46		
	17				47		
	18				48		
	19				49		
	20				50		
	21				51		
	22				52		
	23				53		
	24				54		
	25				55		
	26				56		
	27				57		
	28				58		
	29				59		
	30				60		

ANEXO 10

Attribute Agreement Analysis for Shift1; Shift1_1; Shift2; Shift2_1; ...

Within Appraisers

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
T1	60	57	95,00	(86,08; 98,96)
T2	60	51	85,00	(73,43; 92,90)
T3	60	53	88,33	(77,43; 95,18)

Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.

Fleiss' Kappa Statistics

Appraiser	Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
T1	NOK	0,898620	0,129099	6,96068	0,0000
	OK	0,898620	0,129099	6,96068	0,0000
T2	NOK	0,636975	0,129099	4,93399	0,0000
	OK	0,636975	0,129099	4,93399	0,0000
T3	NOK	0,761296	0,129099	5,89697	0,0000
	OK	0,761296	0,129099	5,89697	0,0000

Each Appraiser vs Standard

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
T1	60	57	95,00	(86,08; 98,96)
T2	60	44	73,33	(60,34; 83,93)
T3	60	53	88,33	(77,43; 95,18)

Matched: Appraiser's assessment across trials agrees with the known standard.

Assessment Disagreement

Appraiser	# OK / NOK	Percent	# NOK / OK	Percent	# Mixed	Percent
T1	0	0,00	0	0,00	3	5,00
T2	7	25,00	0	0,00	9	15,00
T3	0	0,00	0	0,00	7	11,67

OK / NOK: Assessments across trials = OK / standard = NOK.

NOK / OK: Assessments across trials = NOK / standard = OK.

Mixed: Assessments across trials are not identical.

Fleiss' Kappa Statistics

Appraiser	Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
T1	NOK	0,949547	0,0912871	10,4018	0,0000
	OK	0,949547	0,0912871	10,4018	0,0000
T2	NOK	0,590811	0,0912871	6,4720	0,0000
	OK	0,590811	0,0912871	6,4720	0,0000
T3	NOK	0,881777	0,0912871	9,6594	0,0000
	OK	0,881777	0,0912871	9,6594	0,0000

Between Appraisers

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
60	42	70,00	(56,79; 81,15)

Matched: All appraisers' assessments agree with each other.

Fleiss' Kappa Statistics

Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
NOK	0,711709	0,0333333	21,3513	0,0000
OK	0,711709	0,0333333	21,3513	0,0000

All Appraisers vs Standard

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
60	42	70,00	(56,79; 81,15)

Matched: All appraisers' assessments agree with the known standard.

Fleiss' Kappa Statistics

Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
NOK	0,807378	0,0527046	15,3189	0,0000
OK	0,807378	0,0527046	15,3189	0,0000

Summary of Assessment Disagreement with Standard

Appraiser Sample	Standard	T1		T2		T3	
		Count	Percent	Count	Percent	Count	Percent
1	NOK	1	50,00	0	0,00	0	0,00
2	OK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
3	OK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
4	OK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
5	OK	0	0,00	1	50,00	0	0,00
6	NOK	1	50,00	1	50,00	1	50,00
7	NOK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
8	NOK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
9	OK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
10	OK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
11	NOK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
12	OK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
13	NOK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
14	NOK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
15	NOK	0	0,00	1	50,00	0	0,00
16	OK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
17	NOK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
18	OK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
19	OK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
20	NOK	0	0,00	0	0,00	0	0,00

21	OK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
22	NOK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
23	OK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
24	NOK	0	0,00	1	50,00	1	50,00
25	NOK	0	0,00	2	100,00	0	0,00
26	NOK	0	0,00	2	100,00	1	50,00
27	OK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
28	OK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
29	NOK	0	0,00	1	50,00	1	50,00
30	NOK	0	0,00	1	50,00	0	0,00
31	OK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
32	OK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
33	NOK	0	0,00	2	100,00	1	50,00
34	OK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
35	NOK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
36	OK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
37	NOK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
38	OK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
39	OK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
40	NOK	0	0,00	1	50,00	0	0,00
41	OK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
42	OK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
43	OK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
44	OK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
45	NOK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
46	NOK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
47	OK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
48	NOK	0	0,00	2	100,00	0	0,00
49	OK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
50	NOK	0	0,00	1	50,00	0	0,00
51	OK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
52	NOK	1	50,00	2	100,00	1	50,00
53	OK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
54	OK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
55	NOK	0	0,00	2	100,00	0	0,00
56	OK	0	0,00	0	0,00	1	50,00
57	OK	0	0,00	0	0,00	0	0,00
58	NOK	0	0,00	2	100,00	0	0,00
59	NOK	0	0,00	1	50,00	0	0,00
60	OK	0	0,00	0	0,00	0	0,00

ANEXO 11

Activities completed Problem impedes deadline



Huf Portuguesa

OPEN POINTS LIST (OP-List)

Problem No.		8D No.	Category	Description of the problem	Date problem 1st occurs	Resp. Team-member	Action / Solution	Resp. Team-member	Deadline for compl. (WW.YY)	Date close (WW.YY)	Priority	Status
Customer: Vários				Project No.: PT-19-14			Drawn up by: Rafael Fernandes					
Vehicle type: Vários							Complete for the first time: 02/02/2020					
Project descr.: Aumento do tempo de vida útil das ferramentas de corte							Updated: 09/10/2020 by: R. Fernandes					
1			T	A avaliação sobre o estado das ferramentas de corte não é uniforme. Assim, deste modo podem estar a ser rejeitadas ferramentas em boas condições na linha de montagem 1	29/02/2020	R.F.	=> Foram realizados dois testes c/ cada um dos operadores c/ 10 espadins cada um (4 OK/ 6 NOK), os resultados não foram conclusivos devido à presença de rebarbas/ limalhas no interior do fresado impossibilitando a correta análise ao diâmetro do fresado; => Foi realizado outro teste novamente c/ 60 espadins (30 OK/ 10 NOK diâmetro/ 10 NOK Queimado/ 10 NOK Rebarba), nos espadins NOK pelo diâmetro foram retiradas as limalhas c/ um pincel e foi analisado somente o diâmetro do fresado. Os testes foram realizados 2 vezes com os 3 turnos (mesmo operador), mas em 2 análises distintas - 1 análise manual (10 OK/ 10 NOK Diâmetro) e 1 análise visual (20 OK/ 10 NOK Queimado/ 10 NOK Rebarba);	R.F.	15/03/2020	14/03/2020	3	1
2			T	Na linha de montagem 4 a relação custo/ nº de cortes da ferramenta 3 é elevada, comparativamente, com a ferramenta 4	02/03/2020	R.F.	Começar apenas a adquirir ferramentas de corte ao fornecedor da ferramenta 4.	S.R.	02/03/2020	18/02/2020	3	1

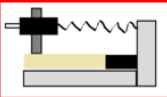
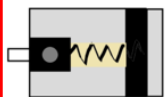

Activities completed

Problem impedes deadline



Huf Portuguesa

OPEN POINTS LIST (OP-List)

Problem No.		8D No.	Category	Description of the problem	Date problem 1st occurs	Resp. Team-member	Action / Solution	Resp. Team-member	Deadline for compl. (WW:YY)	Date close (WW:YY)	Priority	Status
Customer: Vários				Project No.: PT-19-14			Drawn up by: Rafael Fernandes					
Vehicle type: Vários							Complete for the first time: 02/02/2020					
Project descr.: Aumento do tempo de vida útil das ferramentas de corte							Updated: 09/10/2020 by: R. Fernandes					
3			T	O sistema de medida da linha 1 é aceitável (=70%) segundo o estudo realizado no ponto 1 do OPL, contudo a robustez do processo de análise pode ser melhorada; A decisão humana é difícil de controlar, assim deste modo quanto mais robusto for o processo de decisão melhor será para o aumento de vida das ferramentas;	07/03/2020	R.F. D.P.	<p>É necessário melhorar o sistema de análise do estado das ferramentas de corte, desta forma estão definidas as seguintes ações:</p> <p>=> Calibres NOK – Arranjar um sistema com calibre que trabalhe pela resistência de uma mola, o espadim deve estar isento de rebarba para verificar o verdadeiro diâmetro do fresado;</p>   <p>=> Rebarba – arranjar um útil à semelhança da linha 3 em que o espadim caia pela força da gravidade com a rebarba que é admissível depois de polir, é preciso definir a rebarba admissível ao processo. (exemplo linha 3)</p>  <p>=> Queimado - Arranjar um boundary book com o limite do queimado aceitável; É preciso decidir qual o limite máximo aceitável;</p>	D.P. R.F.	16/03/2020	15/03/2020	3	5
4			T	No seguimento do Ponto 1 e perante os resultados serão tomadas as ações seguintes;	09/03/2020	R.F. D.P. F.R. I.R.	<p>Recolher 3 espadins com códigos distintos (Código - Complexo/ 4 Passos/ plano) ao início de vida de uma ferramenta e no final de vida da ferramenta</p> <p>=> Início do critério de selecção com código 1785 (código complexo);</p> <p>=> Início da regra, só é retirado a fresa do eixo que têm problemas;</p>	R.F.	16/03/2020	17/03/2020	3	1

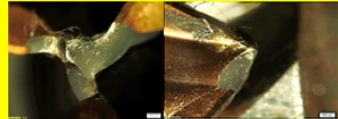



Huf Portuguesa

OPEN POINTS LIST (OP-List)

Customer: Vários		Project No.: PT-19-14		Drawn up by: Rafael Fernandes							
Vehicle type: Vários		Complete for the first time: 02/02/2020				Updated: 09/10/2020 by: R. Fernandes					
Project descr.: Aumento do tempo de vida útil das ferramentas de corte											
Problem No.	BD No.	Category	Description of the problem	Date problem 1st occurs	Resp. Team-member	Action / Solution	Resp. Team-member	Deadline for compl. (WW.YY)	Date close (WW.YY)	Priority	Status
5		T	Na linha de montagem 3, o polidor encontra-se parado, pois o mesmo não se encontra preparado para trabalhar com o espadim grande e referências de 4 espadins devido à posição dos mesmos na caixa de linha, assim como o tempo de ciclo elevado que iria levar a fazer esta operação;	19/03/2020	R.F. D.P.	=> Foi pedido o orçamento ao fornecedor do equipamento para fazer a alteração do polidor - alteração da pinça e do programa do equipamento; => Depois de ter sido confirmado que o polidor consegue trabalhar com o espadim grande, mas que por vezes não consegue agarrá-lo convenientemente, vamos proceder ao ajuste (retrabalho) das pinças para que estejam aptas para todos os espadins. Se, por ventura, não resultar então teremos que contactar a empresa fornecedora do equipamento ou tentar corrigir o equipamento internamente; => O equipamento esteve a ser intervenido pela manutenção, as pinças retrabalhadas foram colocadas; *As escovas do polidor aparentam estar em boas condições, a raspagem realizada no polidor não atinge na zona da quina do espadim, existem algumas folgas na raspagem do espadim; => Foi testado o equipamento c/ a referência em causa, o retrabalho da pinça não teve bom resultado; A solução segue para a correção do equipamento; => É necessário a intervenção da manutenção na 2ª estação de raspagem do equipamento e alteração do programa da maq. pelo P.C.; => Vai ficar em standby devido à baixa de volume.	R.F. S.P.	19/04/2020 13/07/2020	10/07/2020	3	5
6		T	Os parâmetros de corte atuais nas fresadoras da linha 1 são muito agressivos, o que leva ao desgaste rápido das ferramentas de corte e desgaste acentuado no equipamento. Parâmetros atuais Avanço = 2200 [mm/dia] / N° de rotações = 22000 [rpm] / Override = 80%	19/06/2020	D.P. R.F.	=> Recolha dos tempos de ciclo e takt time da linha; => Avaliar novos parâmetros - reduzir avanço ao máximo possível, mas mantendo rotação por dente igual e mantendo a rotação por dente igual - Parâmetros utilizados - Avanço = 700 [mm/dia] / N° de rotações = 7000 [rpm] / Override = 80% => Parâmetros foram alterados de novo devido ao tempo de ciclo teórico não corresponder ao tempo de ciclo real - Parâmetros utilizados - Avanço = 900 [mm/dia] / N° de rotações = 12000 [rpm] / Override = 80% => Parâmetros foram alterados de novo devido ao ruído provocado pela fresadora - Parâmetros utilizados - Avanço = 900 [mm/dia] / N° de rotações = 16000 [rpm] / Override = 80% => Parâmetros do equipamento foram repostos devido aos problemas de ruído e capacidade do processo	D.P.	19/04/2020 12/07/2020	17/07/2020	2	1

OPEN POINTS LIST (OP-List)

Problem No.		BD No.	Category	Description of the problem	Date problem first occurs	Resp. Team-member	Action / Solution	Resp. Team-member	Deadline for compl. (WW.YY)	Date close (WW.YY)	Priority	Status
Customer: Vários				Project No.: PT-19-14		Drawn up by: Rafael Fernandes						
Vehicle type: Vários						Complete for the first time: 02/02/2020						
Project descr.: Aumento do tempo de vida útil das ferramentas de corte						Updated: 09/10/2020 by: R. Fernandes						
7			T	Na linha de montagem 4 estão a ser rejeitadas muitas fresas devido ao facto de se partirem/fraturarem;	25/06/2020	D.P. R.F.	<p>Observando a superfície lateral de corte é possível constatar a presença de material não devidamente cortado na superfície, a rotura dos dentes das fresas indica um esforço de corte acentuado, ou a presença de vibrações no equipamento que possam comprometer o seu respectivo desempenho</p> <p>=> Alterar os parâmetros de corte, nomeadamente, aumentar a velocidade de rotação ou, caso seja possível, reduzir a velocidade de avanço (esta alteração não pode comprometer o tempo de ciclo de produção)</p>  <p>=> Os tempos da linha já foram tirados é necessário analisar o que se poderá alterar nos parâmetros de máquina</p> <p>=> Quantificar novamente os tempos de ciclo e se existe oportunidade de ter um processo de corte mais lento para proporcionar menos quebra da ferramenta e desgaste.</p>	R.F. D.P.	30/04/2020 24/07/2020		3	3
8			T	A estação 2 de raspagem do polidor da linha da linha de montagem 3 não está afinado para retirar a rebarba da quina do espadim. 	27/06/2020	R.F. D.P.	<p>Na impossibilidade da resolução do problema 3 para a questão da afinação da estação 2 deve-se podenrar a seguinte solução -</p> <p>1ª Ação - A fresadora têm duas escovas rotativas em aço, que possibilita a remoção da rebarba em causa, para isso é necessário:</p> <p>=> Alterar o movimento da junta 6 do robô a 90 graus depois de pegar no espadim fresado, no sentido de passar com o espadim na posição favorável junto das escovas, assim deste modo removendo a rebarba;</p> <p>*Nota: O processo de escovagem contamina as caixas de linha (é preciso confirmar e arranjar um meio para que possam trabalhar e que estejam devidamente protegidas das limalhas);</p> <p>2ª Ação - Avaliar o custo de retirar este material na fresadora utilizando uma base com raspador – Esta ação só será analisada, se a ação 1 não for bem sucedida;</p>	S.P.	48/04/2020 12/07/2020	17/07/2020	2	5



OPEN POINTS LIST (OP-List)

Problem No.		BD No.	Category	Description of the problem	Date problem 1st occurs	Resp. Team-member	Action / Solution	Resp. Team-member	Deadline for compl. (WW:YY)	Date close (WW:YY)	Priority	Status
Customer: Vários				Project No.: PT-19-14			Drawn up by: Rafael Fernandes					
Vehicle type: Vários							Complete for the first time: 02/02/2020					
Project descr.: Aumento do tempo de vida útil das ferramentas de corte							Updated: 09/10/2020 by: R. Fernandes					
9			T	Na linha 1 as fresas sujeitas à vibração dos spindles têm diferentes comportamentos, que variam com os equipamentos e eixos, a durabilidade das ferramentas está condicionada em relação às vibrações do equipamento;	04/07/2020	R.F.	Para provar a seguinte situação será realizado o seguinte teste: Avaliação do diâmetro de desgaste da fresa segundo o número de espadins cortados, função do spindle (ESQ ou DIR) e fresadora. => Fazer o teste do seguinte modo: ao fim de 2000 cortes deve ser fresado um código idêntico para a avaliação, por exemplo o código 4 Dado que os dados aparentam ter um comportamento irregular será feito outro teste; => Fazer a mesma análise mas de 200 em 200 cortes até aos 2000 Os teste já foram mais conclusivos onde se pode ver uma diferença entre as fresadoras, a vibração na fresadora 8 aparenta ter um comportamento muito propício à rejeição das fresas pelos calibres NOK; => A título de comparação foi realizada a mesma análise na linha 2. Nota: ao fim de 2000 cortes deve ser fresado um código idêntico para a avaliação, por exemplo o código 4 até aos 10000 cortes.	R.F.	30/04/2020 24/07/2020	28/07/2020	3	1
10			T	Na linha 1 as fresas sujeitas à vibração dos spindles têm diferentes comportamentos, que variam com a posição das fresas no spindle, a correta colocação da fresa varia consoante os operadores;	08/07/2020	D.P.	=> Irá ser utilizado um guia de colocação de fresas na fresadora, as fresas devem ser colocadas dentro do spindle com o encosto interno a batente, assim criando a folga de 1 mm entre a ferramenta e o batente interno do spindle; Deste modo as fresas serão presas única e exclusivamente pelas buchas; => É necessário confirmar os resultados, os dados ainda não foram devidamente comprovados devido às variações nos critérios de rejeição da ferramenta	S.P. D.P.	30/04/2020 24/07/2020	24/07/2020	2	1





OPEN POINTS LIST (OP-List)

Customer: Vários		Project No.: PT-19-14		Drawn up by: Rafael Fernandes							
Vehicle type: Vários				Complete for the first time: 02/02/2020							
Project descr.: Aumento do tempo de vida útil das ferramentas de corte				Updated: 09/10/2020 by: R. Fernandes							
Problem No.	8D No.	Category	Description of the problem	Date problem 1st occurs	Resp. Team-member	Action / Solution	Resp. Team-member	Deadline for compl. (WW.YY)	Date close (WW.YY)	Priority	Status
11		T	Na linha 4/5/6 as fresas estão a ser rejeitadas pelo excesso de rebarba;	10/07/2020	D.P.	<p>Actual:</p> <p>36,23€ / unidade => para uma vida aproximada de 22000 espadins (~média 3 linhas) (NOTA - RF: esta contabilização inclui o total de uma fresa a cortar, ou seja, inclui o corte com os dois lados da fresa reversível => cada lado corta 11000 espadins) ((valor(€)/unidade) x 2 fresas) / quantidade cortada de espadins = 0,0033€/unidade espadim cortado</p> <p>Nova</p> <p>400 - Ferramenta 7: € 49,32 / unidade => para uma vida de 22000 espadins => ((valor(€)/unidade)) x 2 fresas) / quantidade cortada de espadins = 0,0045€/unidade espadim cortado (NOTA: comparativamente com as fresas actuais estas não implicam paragens para troca do lado da fresa) => Rever os desenhos e propor um acerto nos desvios das mesmas e pedir para que façam uma marca de reconhecimento fácil das fresas para evitar trocas entre linhas; => Apresentação foi feita e enviada para a maquiagem que se encontra em negociação com o produtor das fresas;=> Dado o custo apresentado pelas fresas testadas, foram requisitadas ao fornecedor novas fresas de outro fabricante com similaridades das testadas e a um custo menor. Já temos as fresas, só falta testar.</p>	D.P.	04/06/2020 28/08/2020		3	3
12		T	Na linha 2 as fresas estão a ser rejeitadas pelo Passa/ Não Passa.	14/07/2020	D.P.	<p>Actual:</p> <p>21€ / unidade => para uma vida de 20000 espadins => ((valor(€)/unidade) x 2 fresas) / quantidade cortada de espadins = 0,0021€/unidade espadim cortado</p> <p>Nova</p> <p>700 anuais - Ferramenta 6: € 48,40 /unidade => para uma vida de 52500 espadins => ((valor(€)/unidade)) x 2 fresas) / quantidade cortada de espadins = 0,00184€/unidade espadim cortado NOTA: Nos testes que fizemos temos fresas em que obtivemos uma a vida de 55000 espadins => 0,00176€/unidade espadim cortado => Rever os desenhos e propor um acerto nos desvios das mesmas e pedir para que façam uma marca de reconhecimento fácil das fresas para evitar trocas entre linhas; => Foi pedido uma revisão da cotação com base na alteração da geometria da fresa e na quantidade necessária; => Apresentação foi feita e enviada para a maquiagem que se encontra em negociação com o produtor das fresas; => Dado o custo apresentado pelas fresas testadas, foram requisitadas ao fornecedor novas fresas de outro fabricante com similaridades das testadas e a um custo menor.</p>	D.P.	28/05/2020 21/08/2020		2	3

Activities completed

Problem impedes deadline



Huf Portuguesa

OPEN POINTS LIST (OP-List)

Problem No.		8D No.	Category	Description of the problem	Date problem 1st occurs	Resp. Team-member	Action / Solution	Resp. Team-member	Deadline for compl. (WW:YY)	Date close (WW:YY)2	Priority	Status
Customer: Vários				Project No.: PT-19-14			Drawn up by: Rafael Fernandes					
Vehicle type: Vários							Complete for the first time: 02/02/2020					
Project descr.: Aumento do tempo de vida útil das ferramentas de corte							Updated: 09/10/2020 by: R. Fernandes					
13			T	Na linha 2 o critério de rejeição da ferramenta não é o mesmo; Está em falta o calibre Não Passa	14/07/2020	R.F.	Foi pedido um calibre com o diâmetro em causa ao laboratório;	T.C.	04/06/2020 28/07/2020	27/07/2020	3	1
14			T	Na fresadora da linha 3, a apara causada pelo corte lateral no espadim é elevada, assim a sua remoção torna-se mais difícil no polidor;	18/07/2020	D.P.	Avaliar a possibilidade de alterar as condições de corte por forma a minimizar este problema; => É necessário recolher os tempos de ciclo da linha para sabermos quanto podemos aumentar o tempo de ciclo na fresadora para que seja possível utilizar condições de corte menos agressivas	R.F.	02/06/2020 26/07/2020	23/07/2020	1	3

ANEXO 12

Situação Atual					Situação Futura				Ganho		
Linha	Ferramenta	Custo unitário da ferramenta (€)	Média de cortes (unid.)	(b) €/1000 cortes	Ferramenta	Custo unitário da ferramenta (€)	Média de cortes (unid.)	(b) €/1000 cortes	A - Redução (%)	B - Peso (%)	A x B - Impacto (%)
Linha 1	Ferramenta 1	21,00 €	10 000	4,20 €	Ferramenta 1	21,00 €	13 000	3,20 €	23%	37%	13%
Linha 2		21,00 €	20 000	2,10 €	Ferramenta 6	48,40 €	52 500	1,80 €	12%		
Linha 3	Ferramenta 2	17,50 €	7 000	5,00 €	Ferramenta 2	17,50 €	12 000	2,90 €	42%	15%	6%
Linha 4	Ferramenta 3	53,74 €	15 000	7,20 €	Ferramenta 4	27,10 €	15 000	3,60 €	100%	14%	14%
	Ferramenta 4	27,10 €	13 000	4,20 €					13%	14%	2%
Linha 5	Ferramenta 5	36,23 €	15 000	4,80 €	Ferramenta 7	49,32 €	22 000	4,50 €	7%	20%	4%
Linha 6		36,23 €	25 000	2,90 €		49,32 €	35 000	2,80 €	3%		
Linha 7		36,23 €	28 000	2,60 €		49,32 €	42 000	2,30 €	9%		
											40%

ANEXO 13

Situação Atual					Situação Melhorada				Ganho		
Linha	Ferramenta	Custo unitário da ferramenta (€)	Média de cortes (unid.)	(b) €/1000 cortes	Ferramenta	Custo unitário da ferramenta (€)	Média de cortes (unid.)	(b) €/1000 cortes	A - Redução (%)	B - Peso (%)	A x B - Impacto (%)
Linha 1	Ferramenta 1	21,00 €	10 000	4,20 €	Ferramenta 1	21,00 €	12 000	3,50 €	17%	37%	10%
Linha 2		21,00 €	20 000	2,10 €		21,00 €	22 500	1,90 €	11%		
Linha 3	Ferramenta 2	17,50 €	7 000	5,00 €	Ferramenta 2	17,50 €	9 000	3,90 €	22%	15%	3%
Linha 4	Ferramenta 3	53,74 €	15 000	7,20 €	Ferramenta 4	27,10 €	13 000	4,20 €	100%	14%	14%
	Ferramenta 4	27,10 €	13 000	4,20 €					26%	14%	4%
Linha 5	Ferramenta 5	36,23 €	15 000	4,80 €	Ferramenta 5	36,23 €	16 000	4,50 €	6%	20%	3%
Linha 6		36,23 €	25 000	2,90 €		36,23 €	26 000	2,80 €	4%		
Linha 7		36,23 €	28 000	2,60 €		36,23 €	29 000	2,50 €	3%		
											34%