



Impacto da qualidade na sustentabilidade de uma industria metalomecânica

VÍTOR EMANUEL SOUSA FERREIRA

dezembro de 2018

IMPACTO DA QUALIDADE NA SUSTENTABILIDADE DE UMA INDÚSTRIA METALOMECÂNICA

Vitor Emanuel Sousa Ferreira

2018

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica



IMPACTO DA QUALIDADE NA SUSTENTABILIDADE DE UMA INDÚSTRIA METALOMECÂNICA

Vitor Emanuel Sousa Ferreira

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Doutor Rui Pedro Cardoso da Silva Martinho e Coorientação do Doutor Francisco José Gomes da Silva, Professores Adjuntos do Departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

2018

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica



JÚRI

Presidente

Doutora Sandra Cristina de Faria Ramos

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

Orientador

Doutor Rui Pedro Cardoso da Silva Martinho

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

Coorientador

Doutor Francisco José Gomes da Silva

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

Arguente

Doutor José Duarte Ribeiro Marafona

Professor Auxiliar, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

AGRADECIMENTOS

Ao longo da nossa vida é essencial sabermos reconhecer as oportunidades, saber agarrá-las e dar o nosso melhor para sermos merecedores das mesmas.

Realizar o estágio curricular na empresa TSF foi uma experiência extremamente enriquecedora. A toda a equipa, obrigado por me receberem da melhor forma. Um agradecimento especial à administração, por confiar e acreditar nas minhas capacidades, e a cada elemento do departamento de controlo de qualidade, no qual estive integrado durante este período. Expresso a minha gratidão por todos os ensinamentos que me transmitiram, é para mim um grande orgulho poder fazer parte desta equipa.

Ao Instituto Superior de Engenharia do Porto e a todos os docentes que acompanharam o meu percurso académico obrigado por toda a dedicação. Nomeadamente, ao Doutor Rui Pedro Cardoso da Silva Martinho e Doutor Francisco José Gomes da Silva pelo acompanhamento na realização da tese de mestrado.

Tratando-se de uma etapa em que estagiei em *full-time* e, simultaneamente, elaborei a tese, tenho ainda a agradecer a todos os familiares e amigos e namorada, que compreensivamente me apoiaram nesta etapa.

PALAVRAS CHAVE

Maquinagem, qualidade, estatística, sustentabilidade, não conformidades.

RESUMO

Na indústria metalúrgica de precisão, o rigor e a eficiência são cruciais. Para que tais ideais sejam alcançados, os diferentes processos de maquinagem têm de ser pormenorizadamente analisados e exigem um controlo contínuo, desde o início do processo até à sua conclusão.

Este trabalho irá focar-se na análise dos processos de maquinagem, no controlo de qualidade e estudo de não conformidades, com o intuito de analisar o impacto na sustentabilidade da empresa.

Para análise dos processos de maquinagem, ter-se-á em consideração o toleranciamento e grau de acabamento em peças maquinadas, os sistemas de fixação de peças e ferramentas, bem como o desgaste das ferramentas.

Relativamente ao controlo de qualidade, será efetuada uma análise aos sistemas convencionais e avançados de controlo. Serão abordadas as vantagens dos sistemas avançados de controlo e de que forma podem influenciar a qualidade do produto final. Irá analisar-se as ferramentas da qualidade e a importância de elementos estatísticos para a análise de não conformidades. Depois de analisada a qualidade, é consequentemente fulcral avaliar os métodos práticos usados para garantir essa qualidade.

Em termos práticos, será abordada uma vertente empírica vivenciada na empresa de acolhimento. Depois da caracterização do fluxo produtivo, será efetuada a identificação e segmentação de problemas, sendo estes problemas de não qualidade ou de carência na classificação de fornecedores.

Com vista à consolidação das vertentes bibliográfica e prática, serão posteriormente indicadas as diferentes formas de resolução de problemas de não qualidade, o modelo de classificação de fornecedores, e também os fatores que podem ser influenciados pela não qualidade.

Pretende-se, deste modo, transmitir uma ideia do impacto da qualidade na sustentabilidade de uma indústria metalomecânica.

KEYWORDS

Machining, quality, statistics, sustainability, nonconformities

ABSTRACT

Accuracy and efficiency in the precision metallurgical industry are crucial. In order to achieve these ideals different machining processes have to be analyzed in detail and it is necessary a continuous control from the beginning of the process to its final.

This academic work will focus on the analysis of machining processes, quality control and nonconformity studies, in order to analyze the impact on company's sustainability.

For analysis of the machining processes, there will be taken into consideration the tolerance and level of finishing in machined parts, holding systems for parts and tools, as well as tool wear.

Regarding quality control, an analysis will be made of conventional and advanced control systems. The advantages of advanced control systems will be addressed and also how they can influence the quality of the final product. It will be analyzed the quality tools and the importance of statistical elements for analysis of nonconformities. Once the quality is analyzed, it is therefore crucial to evaluate the practical methods used to guarantee this quality.

In practice, an empirical case will be studied accordingly with the experience in the host company. After the explanation of the productive flow, the identification and segmentation of problems will be carried out, being these non-quality problems or lack of suppliers' classification problems.

In order to consolidate the theoretical and practical aspects, there will be explained the different ways of solving non-quality problems, a classification model of suppliers was created and also the factors that may be influenced by non-quality were identified and fixed.

The aim is to convey the impact of quality on sustainability in a metalworking industry.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

ASQ	<i>American Society for Quality</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CA	Custos de Avaliação
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CCD	<i>Charge Coupled Device</i>
CFE	Custos de Falhas Externas
CFI	Custos de Falhas Internas
CN	Controlo Numérico
CNC	Controlo Numérico Computorizado / <i>Computer Numeric Control</i>
CP	Custos de Prevenção
CTQ	Custo Total da Qualidade
EUA	Estados Unidos da América
FC	Fornecimento Completo
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
GPS	<i>Geometrical Product Specifications</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
IT	<i>International Tolerance</i> / Tolerância Internacional
LCL	<i>Lower Control Limit</i>
MCDM	<i>Multi-Criteria Decision-Making Method</i>
MMC	Máquina para Medir por Coordenadas
MO	Mão de Obra
MP	Matéria Prima
QFD	<i>Quality Function Deployment</i>
RGB	Red, Green, Blue
R&R	Repetibilidade e Reprodutibilidade
UCL	<i>Upper Control Limit</i>
VOC	<i>Voice Of the Customer</i>

Lista de Unidades

h	Hora
m/min	Metros por minuto
mm/min	Milímetros por minuto
rpm	Rotação por minuto
m ²	Metro quadrado

Lista de Símbolos

∅	Diâmetro
%	Porcentagem

Lista de Termos

Número de picagem	Número correspondente a cada gama de trabalho, que o operador introduz no sistema no início do serviço e termina a contagem no fim para apurar o tempo real de trabalho
-------------------	---

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – OPERAÇÕES DE MAQUINAGEM [4]	8
FIGURA 2 - DIMENSÕES LIMITE DO DIÂMETRO (AUTORIA PRÓPRIA)	10
FIGURA 3 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE DESVIOS EM COTAS INTERIORES [5]	11
FIGURA 4 - LOCALIZAÇÕES RELATIVAS DAS TOLERÂNCIAS E DESVIOS LINEARES FUNDAMENTAIS (ADAPTADO DE [64])	12
FIGURA 5 - CONJUNTO VEIO [6]	13
FIGURA 6 - CONTROLO DA EXTREMIDADE DO VEIO [6]	13
FIGURA 7- EXEMPLO DE AJUSTAMENTO COM FOLGA. DESLIZAMENTO DAS COLUNAS NOS CASQUILHOS [6]	14
FIGURA 8 - EXEMPLO DE AJUSTAMENTO COM APERTO: APERTO DOS CASQUILHOS NA BASE SUPERIOR [6]	14
FIGURA 9 - EXEMPLO DE AJUSTAMENTO INCERTO [6]	15
FIGURA 10 - DESVIO MÉDIO ARITMÉTICO [8]	21
FIGURA 11 - SÍMBOLO EXPANDIDO: ESPECIFICAÇÕES E SUAS POSIÇÕES [8]	21
FIGURA 12 - CAUSAS DE DESGASTE DAS FERRAMENTAS DE CORTE [11]	23
FIGURA 13 - INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE CORTE NA TEMPERATURA DE CORTE E DESGASTE DA FERRAMENTA [11]	23
FIGURA 14 - MÁQUINA DE MEDIÇÃO POR CONTACTO	31
FIGURA 15 - APALPADOR DE SISTEMA DE MEDIÇÃO POR CONTACTO [61]	31
FIGURA 16 - SCAN 3D [59]	33
FIGURA 17 - PROJETOR DE PERFIS	34
FIGURA 18 - SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO/PROJEÇÃO [22]	34
FIGURA 19 - RUGOSIMETRO [60]	35
FIGURA 20 - APALPADOR [23]	36
FIGURA 21 - MEDIÇÃO DURANTE O PROCESSO NUM CENTRO DE MAQUINAGEM VERTICAL [23]	36
FIGURA 22 - MEDIÇÃO DURANTE O PROCESSO NUM TORNO [23]	36
FIGURA 23 - SONDA DE TOQUE ZERO FERRAMENTA EM FRESADORA [23]	38
FIGURA 24 - BRAÇO DE ALTA PRECISÃO PARA ZERO FERRAMENTA EM TORNOS [23]	38

FIGURA 25 - CALIBRADOR DE FERRAMENTA SEM CONTACTO (LASER) [27]	38
FIGURA 26 - DINAMÓMETRO DE FORÇA DE CORTE PARA FRESAGEM [62]	40
FIGURA 27 - DINAMÓMETROS ESTACIONÁRIOS PARA TORNEAMENTO [30]	40
FIGURA 28 - FLUXOGRAMA DE DIAGNÓSTICO [31]	41
FIGURA 29 - DIAGRAMA DE PARETO [31]	41
FIGURA 30 - EXEMPLO DE DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO [31]	42
FIGURA 31 - HISTOGRAMA [31]	42
FIGURA 32 - <i>CHECK-LISTS</i> [31]	42
FIGURA 33 - TRÊS POSSÍVEIS RELAÇÕES IDENTIFICADAS NOS DIAGRAMAS DE DISPERSÃO [31]	43
FIGURA 34 - GRÁFICO DE CONTROLO [31]	43
FIGURA 35 - DIAGRAMA DE <i>VENN</i> [33]	44
FIGURA 36 - REGRA 1-10-100 ADAPTADO DE [34]	44
FIGURA 37 - GRÁFICO DE CONTROLO DAS MÉDIAS [32]	46
FIGURA 38 - EXEMPLO QFD [31]	49
FIGURA 39 - FMEA (S - ÍNDICE DE SEVERIDADE; O - ÍNDICE DE PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA, D - ÍNDICE DE DETEÇÃO)	50
FIGURA 40 - TENDÊNCIA [38]	50
FIGURA 41 - ESTABILIDADE [38]	51
FIGURA 42 - LINEARIDADE [38]	51
FIGURA 43 - REPETIBILIDADE [38]	51
FIGURA 44 - REPRODUTIBILIDADE [38]	52
FIGURA 45 - GABARITO [63]	55
FIGURA 46 - MARCOS MAIS IMPORTANTES DE EVOLUÇÃO DA EMPRESA TSF, NO QUE TOCA À SUA ESTRUTURA FINANCEIRA	61
FIGURA 47 - PRINCIPAIS ÁREAS DE NEGÓCIO	62
FIGURA 48 - DEPARTAMENTOS DA EMPRESA TSF	62
FIGURA 49 - FLUXOGRAMA GERAL DE FUNCIONAMENTO DA EMPRESA	63
FIGURA 50 - CONSTITUIÇÃO DA ENCOMENDA	64
FIGURA 51 - FLUXOGRAMA DE PRODUÇÃO	66
FIGURA 52 - FLUXOGRAMA DE CONTROLO DE QUALIDADE	67
FIGURA 53 - FLUXOGRAMA DE CONTROLO DE NÃO CONFORMIDADES	68

FIGURA 54 - DADOS PRINCIPAIS DA GAMA DE PRODUÇÃO	69
FIGURA 55 - GAMA DE PRODUÇÃO (FASES 70 A 90)	70
FIGURA 56 - EVOLUÇÃO DE INDICADORES RELACIONADOS COM A ATIVIDADE DA EMPRESA (2016-2017)	71
FIGURA 57 - DISTRIBUIÇÃO DE LUCROS E CUSTOS, EM FUNÇÃO DA QUALIDADE [54]	73
FIGURA 58 - PROBLEMAS DE NÃO CONFORMIDADES EXTERNAS (JANEIRO 2016 - JUNHO 2018)	76
FIGURA 59 - TAXAS DE CRESCIMENTO E PERCENTAGEM DO CUSTO DE NÃO CONFORMIDADES NA FATURAÇÃO	78
FIGURA 60 - PROBLEMAS DE NÃO CONFORMIDADES INTERNAS (2016 - AGOSTO 2018)	80
FIGURA 61 - ATRASO NA ENTREGA DAS ENCOMENDAS (EM SEMANAS)	82
FIGURA 62 - DIAGRAMA DE ISHIKAWA (ATRASOS)	83
FIGURA 63 - FORMULÁRIO PARA REGISTO DE NÃO CONFORMIDADES PROVENIENTES DE FORNECEDORES	88
FIGURA 64 - PROPOSTA DE TIPOS DE <i>STOCK</i>	90
FIGURA 65 - MODELO "ICEBERG" DO IMPACTO DA NÃO QUALIDADE	95
FIGURA 66 - FATORES QUE SÃO INFLUENCIADOS PELA NÃO QUALIDADE	95
FIGURA 67 - ANÁLISE DE PARETO A FORNECEDORES	103
FIGURA 68 - GRÁFICO RADAR DOS 3 PRINCIPAIS INDICADORES	107
FIGURA 69 - LOCALIZAÇÃO DOS FORNECEDORES	108
FIGURA 70 - ESPESSURA DE APARA, PROFUNDIDADE DE CORTE E ÂNGULO DE POSIÇÃO [57]	128
FIGURA 71 - INCLINAÇÃO E ÂNGULO DE ATAQUE [57]	128
FIGURA 72 - PRINCIPAIS PARÂMETROS DE TORNEAMENTO [57]	128
FIGURA 73 - PRINCIPAIS OPERAÇÕES DE TORNEAMENTO	129
FIGURA 74 - EQUIPAMENTOS PARA TORNEAR	129
FIGURA 75 - ÂNGULO DE POSIÇÃO DA ARESTA DE CORTE [57]	130
FIGURA 76 - DIÂMETRO DA FRESA [57]	130
FIGURA 77 - LARGURA E PROFUNDIDADE DE CORTE [57]	130
FIGURA 78 - AVANÇO POR DENTE LARGURA E PROFUNDIDADE DE CORTE [57]	131
FIGURA 79 - PRINCIPAIS OPERAÇÕES DE FRESAGEM [58]	131
FIGURA 80 - EQUIPAMENTOS PARA FRESAGEM	132
FIGURA 81 - BROCA HELICOIDAL	133

FIGURA 82 - PRINCIPAIS PARÂMETROS DE FURAÇÃO [57]	133
FIGURA 83 - PRINCIPAIS OPERAÇÕES DA FURAÇÃO	133
FIGURA 84 - EQUIPAMENTOS DE FURAÇÃO	134
FIGURA 85 - PRINCIPAIS OPERAÇÕES DA RETIFICAÇÃO	135
FIGURA 86 - EQUIPAMENTOS PARA RETIFICAÇÃO	135
FIGURA 87 - ESCALA GRADUADA EM AMBOS OS BORDOS	139
FIGURA 88 - BLOCO PADRÃO	139
FIGURA 89 - PADRÃO CILÍNDRICO DE EXTREMOS PLANOS	140
FIGURA 90 - PADRÃO CILÍNDRICO - ANEL	140
FIGURA 91 - PADRÃO CILÍNDRICO - TAMPÃO	140
FIGURA 92 - SISTEMAS DE LEITURA NOS PAQUÍMETROS	141
FIGURA 93 - UTILIZAÇÕES DO PAQUÍMETRO	141
FIGURA 94 - TIPOS DE PAQUÍMETROS	142
FIGURA 95 - TIPOS DE GRAMINHOS	142
FIGURA 96 - MICRÓMETRO E COMPONENTES	143
FIGURA 97 - SISTEMAS DE LEITURA DE MICRÓMETROS	143
FIGURA 98 - TIPOS E UTILIZAÇÕES DOS MICRÓMETROS	144
FIGURA 99 - RELÓGIO COMPARADOR E COMPONENTES	144
FIGURA 100 - SISTEMAS DE LEITURA DE RELÓGIOS COMPARADORES	145
FIGURA 101 - TIPOS DE RELÓGIOS COMPARADORES	145
FIGURA 102 - SUTA E COMPONENTES	146
FIGURA 103 - SISTEMAS DE LEITURA DE SUTAS	146
FIGURA 104 - BLOCOS ANGULARES	147
FIGURA 105 - ESQUADRO	147
FIGURA 106 - TIPOS DE ESQUADROS	148
FIGURA 107 - TIPOS DE CALIBRES	149
FIGURA 108 - TIPOS DE ESCANTILHÕES	150

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - CÁLCULO DE DESVIOS (DIMENSÕES INTERIORES/EXTERIORES) [5]	10
TABELA 2 - GRAUS DE TOLERÂNCIA NORMALIZADOS [5]	12
TABELA 3 - FÓRMULAS PARA DETERMINAR AS FOLGAS [5]	14
TABELA 4 - FÓRMULA PARA CÁLCULO DE FOLGA [5]	15
TABELA 5 - SISTEMA DE AJUSTAMENTOS ISO DE FURO BÁSICO [5]	16
TABELA 6 - SISTEMA DE AJUSTAMENTOS ISO DE VEIO BÁSICO [5]	16
TABELA 7 - TOLERANCIAMENTO GEOMÉTRICO [6]	19
TABELA 8 - ASPETOS GEOMÉTRICOS DO ESTADO DA SUPERFÍCIE [8]	20
TABELA 9 - MAQUINAGEM [7]	22
TABELA 10 - FORMAS DE DESGASTE	24
TABELA 11 - FORMAS DE DESGASTE (CONTINUAÇÃO)	25
TABELA 12 - SISTEMAS DE FIXAÇÃO DE PEÇAS	26
TABELA 13 - SISTEMAS DE FIXAÇÃO DE PEÇAS (CONTINUAÇÃO)	27
TABELA 14- SISTEMAS DE FIXAÇÃO DE PEÇAS (CONTINUAÇÃO)	28
TABELA 15 - SISTEMAS DE FIXAÇÃO DE FERRAMENTAS [9]	28
TABELA 16 - SISTEMAS DE FIXAÇÃO DE FERRAMENTAS (CONTINUAÇÃO)	29
TABELA 17 - FERRAMENTAS CONVENCIONAIS DE CONTROLO	30
TABELA 18 - TIPOS DE APALPADORES [19]	32
TABELA 19 - PROCESSOS DE MEDIÇÃO [7]	33
TABELA 20 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DO SISTEMA POR CONTACTO [25]	38
TABELA 21 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DO SISTEMA SEM CONTACTO [27]	39
TABELA 22 - FORÇAS ATUANTES E RESULTADOS DA FRESAGEM E TORNEAMENTO [30]	40
TABELA 23 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DA AMOSTRAGEM	45
TABELA 24 - FÓRMULAS DOS GRÁFICOS DE CONTROLO POR VARIÁVEIS [39]	47
TABELA 25 - FÓRMULAS DOS GRÁFICOS DE CONTROLO POR ATRIBUTOS [39]	48
TABELA 26 - ÍNDICE DA CAPACIDADE DE PROCESSO [39]	53
TABELA 27 - ANÁLISE DA CAPACIDADE DE PROCESSO [39]	53

TABELA 28 - SÍNTESE DOS CUSTOS DE QUALIDADE	73
TABELA 29 - PROBLEMAS DE NÃO QUALIDADE EXTERNOS (JANEIRO 2016 - JUNHO 2018)	75
TABELA 30 - CUSTOS DA NÃO QUALIDADE EXTERNOS (JANEIRO 2016 - JUNHO 2018)	76
TABELA 31 - PROBLEMAS DE NÃO QUALIDADE INTERNOS (JANEIRO 2016 - JUNHO 2018)	78
TABELA 32 - CUSTOS DA NÃO QUALIDADE INTERNOS (JANEIRO 2016 - JUNHO 2018)	80
TABELA 33 - PERCENTAGEM DE PEÇAS CONFORMES NAS ENCOMENDAS COM FALHAS EXTERNAS	81
TABELA 34 - ATRASO MEDIO NAS ENTREGAS DAS ENCOMENDAS (DIAS)	82
TABELA 35 - ANÁLISE DOS TEMPOS PREVISTOS VS TEMPOS REALIZADOS	86
TABELA 36 - ATRASOS MÉDIOS DE FORNECEDORES	87
TABELA 37 - FATORES QUE SÃO INFLUENCIADOS PELA NÃO QUALIDADE	96
TABELA 38 - CLASSIFICAÇÃO DO INDICADOR R'_{PE}	97
TABELA 39 - CLASSIFICAÇÃO DO INDICADOR A'_{CM}	98
TABELA 40 - CLASSIFICAÇÃO DO INDICADOR R'_D	98
TABELA 41 - CLASSIFICAÇÃO DO INDICADOR L'_{FE}	99
TABELA 42 - VALORES DE S_{IF} E S_{EF}	99
TABELA 43 - CLASSIFICAÇÃO DO INDICADOR S'_P	100
TABELA 44 - CLASSIFICAÇÃO DO INDICADOR C'	100
TABELA 45 - CLASSIFICAÇÃO DO INDICADOR R'_{URG}	100
TABELA 46 - PARTICIPAÇÃO DOS INDICADORES NA AVALIAÇÃO FINAL DO FORNECEDOR	102
TABELA 47 - CLASSIFICAÇÃO FINAL DO FORNECEDOR	102
TABELA 48 - DISTRIBUIÇÃO DE OBRAS POR FORNECEDOR	103
TABELA 49 - CLASSIFICAÇÃO DO FORNECEDOR NO INDICADOR R'_{PE}	104
TABELA 50 - CLASSIFICAÇÃO DO FORNECEDOR NO INDICADOR A'_{CM}	104
TABELA 51 - CLASSIFICAÇÃO DO FORNECEDOR NO INDICADOR R'_D	104
TABELA 52 - CLASSIFICAÇÃO DO FORNECEDOR NO INDICADOR L'_{FE}	104
TABELA 53 - CLASSIFICAÇÃO DO FORNECEDOR NO INDICADOR S'_P	105
TABELA 54 - CLASSIFICAÇÃO DO FORNECEDOR NO INDICADOR C'	105
TABELA 55 - CLASSIFICAÇÃO DO FORNECEDOR NO INDICADOR R'_{URG}	105
TABELA 56 - AVALIAÇÃO FINAL DE FORNECEDORES	106
TABELA 57 - CLASSIFICAÇÃO FINAL DE CADA FORNECEDOR	106

TABELA 58 - OBJETIVOS VS RESULTADOS VS CHECK	111
TABELA 59 - OBJETIVOS VS RESULTADOS VS CHECK (CONTINUAÇÃO)	112
TABELA 60 - OBJETIVOS VS RESULTADOS VS CHECK (CONTINUAÇÃO)	113
TABELA 61 - TOLERANCIAMENTO GEOMÉTRICO	136
TABELA 62 - TOLERANCIAMENTO GEOMÉTRICO (CONTINUAÇÃO)	137
TABELA 63 - TOLERANCIAMENTO GEOMÉTRICO (CONTINUAÇÃO)	138

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO	3
1.1 Contextualização.....	3
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Metodologia utilizada na dissertação.....	4
1.4 Estrutura da dissertação.....	4
1.5 Empresa de acolhimento.....	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1 Maquinagem.....	7
2.1.1 Aspetos da maquinagem	8
2.1.2 Toleranciamento em peças maquinadas.....	9
2.1.3 Graus de acabamento em peças maquinadas.....	20
2.1.4 Desgaste das ferramentas	22
2.1.5 Sistemas de fixação de peças	25
2.1.6 Sistemas de fixação de ferramentas.....	28
2.2 Controlo de qualidade de peças maquinadas.....	29
2.2.1 Ferramentas convencionais de controlo	30
2.2.2 Sistemas avançados de controlo	31
2.2.3 Aplicação de sistemas avançados de controlo na maquinagem	35
2.2.4 Ferramentas da qualidade.....	41
2.2.5 Estatística ligada ao controlo de qualidade.....	44
2.3 Garantia de qualidade na maquinagem de peças.....	48
2.3.1 Ferramentas usadas na garantia da qualidade.....	48
2.3.2 Métodos práticos usados para garantir a qualidade.....	54
2.4 Modelo de avaliação de fornecedores.....	56
3 DESENVOLVIMENTO	61

3.1 Caracterização da Empresa.....	61
3.2 Caracterização do fluxo produtivo.....	62
3.3 Identificação e segmentação dos problemas.....	71
3.3.1 Problemas de não qualidade (Análise dos custos de não qualidade)	72
3.3.2 Análise dos atrasos na entrega das encomendas.....	82
3.4 Análise global da atividade.....	87
3.5 Tempestade de ideias.....	89
3.5.1 Resolução de problemas de não qualidade.....	89
3.5.2 Fatores que são influenciados pela não qualidade.....	94
3.6 Desenvolvimento de modelo para avaliação de fornecedores.....	97
3.7 Aplicação do modelo de classificação de fornecedores.....	103
4 CONCLUSÕES.....	111
4.1 CONCLUSÕES.....	111
5 BIBLIOGRAFIA.....	117
6 ANEXOS.....	127
6.1 ANEXO 1 – Aspetos e processos da maquinagem.....	127
6.1.1 Torneamento	127
6.1.2 Fresamento	130
6.1.3 Furação.....	132
6.1.4 Retificação.....	134
6.2 ANEXO 2 – Toleranciamento geométrico.....	136
6.3 ANEXO 3 – Ferramentas convencionais de controlo.....	139
6.4 ANEXO 4 – Gama de produção.....	152
6.5 ANEXO 5 – Ficha de não conformidade do controlo de qualidade.....	155
6.6 ANEXO 6 – Ficha de não-conformidade.....	156

INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

1.2 OBJETIVOS

1.3 METODOLOGIA UTILIZADA NA DISSERTAÇÃO

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

1.5 EMPRESA DE ACOLHIMENTO

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Com a evolução dos sistemas tecnológicos, as máquinas assumem, nos dias de hoje, um papel fundamental no contexto industrial. Reduzindo a margem de erro da mão humana, a produção maquinada exige, no entanto, um controlo rigoroso para analisar se a produção está de acordo com os critérios previamente estabelecidos.

Este controlo de qualidade é transversal a todas as indústrias, desde a metalúrgica, até à indústria nuclear. Revela-se de elevada importância aplicar diversos critérios ajustados a cada indústria, para que o controlo de qualidade surta efeito.

Para que os dados em análise sejam relevantes para as empresas, surge a necessidade de contabilizar todos os custos ou perdas associadas a processos deficientes, ou a produtos que não estão em conformidade. A dimensão destas perdas tem de ser rigorosamente avaliada, para verificar até que ponto coloca em causa a sustentabilidade económica da empresa.

Em termos contabilísticos e de gestão, a variável «custos» tem um impacto decisivo na dimensão dos resultados. Consequentemente, os custos da qualidade, por constituírem uma porção relevante dos custos totais, desempenham assim um papel que pode ser decisivo na sustentabilidade económica das organizações, visto operarem num cenário cada vez mais competitivo.

Assim, analisar e, sobretudo, assegurar a qualidade do produto final, será o meio para a diminuição de custos e aumento da eficiência económica.

1.2 Objetivos

A realização desta dissertação tem como principais objetivos:

- Medir o impacto da não qualidade na sustentabilidade, sendo utilizada como pilar para a análise da indústria metalomecânica;
- Identificar e analisar as não conformidades;
- Identificar qual a fonte e razão explicativa de tais falhas;
- Entender de que forma podemos otimizar os processos, evitando e tentando erradicar as não conformidades;
- Criar um modelo de avaliação e classificação de fornecedores;

- Avaliar os fornecedores, para verificar quais são os pontos em que erram, o motivo de uns errarem mais que outros, bem como contabilizar e detetar as falhas de cada um.

1.3 Metodologia utilizada na dissertação

Para elaboração deste trabalho, foi utilizada a metodologia seguidamente descrita:

- Estudo bibliográfico sobre os processos de maquinagem, para entender o processo e possíveis momentos de falha nos processos;
- Análise das metodologias utilizadas para controlo de qualidade;
- Análise das ferramentas de controlo de qualidade;
- Estudo dos métodos utilizados para garantir a qualidade;
- Demonstração do fluxo produtivo da empresa de acolhimento;
- Identificação e segmentação dos problemas;
- Desenvolver modelo de avaliação de fornecedores;
- Validar modelo de avaliação de fornecedores;
- Análise dos problemas em volume e origem;
- Contabilização dos custos inerentes aos problemas detetados;
- Estudo de possíveis soluções para minimização de custos;
- Redação da dissertação;

1.4 Estrutura da dissertação

A estrutura desta dissertação divide-se em quatro etapas fundamentais. A primeira delas é a introdução (1), de seguida a revisão bibliográfica (2), onde será transmitida ao leitor uma contextualização teórica sobre o tema, tendo por base diferentes autores e diferentes perspetivas. A terceira baseia-se numa vertente prática (3), no seguimento da experiência na empresa de acolhimento, cujos procedimentos habituais serão alvo de análise. Por último são apresentadas as conclusões (4) deste trabalho.

1.5 Empresa de acolhimento

Esta dissertação resulta de um estágio curricular levado a efeito na empresa TSF – Metalúrgica de Precisão, Lda., localizada em Ribeirão, V. N. Famalicão, durante o período de 17 de janeiro a 31 de julho de 2018, sob a orientação tutorial do Sr. Pedro Sousa.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MAQUINAGEM

2.2 CONTROLO DE QUALIDADE DE PEÇAS MAQUINADAS

2.3 GARANTIA DE QUALIDADE NA MAQUINAGEM DE PEÇAS

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Maquinagem

Segundo o Businessdictionary [1], maquinagem pode definir-se como *Process such as abrading, cutting, drilling, forming, grinding, and/or shaping of a piece of metal or other material performed by machine tools such as lathes, power saws, and presses.*

No seguimento da definição apresentada, existe ainda quem pretenda acrescentar o seu conhecimento e exponha a maquinagem como um termo amplo e com pouco significado para as pessoas comuns, mas que, na verdade, toma um papel essencial no quotidiano [2].

Desde muito cedo que subsiste uma relação Homem – máquina, que vem sendo fortalecida com o passar dos anos, chegando até à eficiência, precisão e avanços tecnológicos evidenciados nos dias que sucedem. Foi já nos finais do século XVII, com o início da revolução industrial, que as máquinas-ferramentas começaram a melhorar drasticamente. A acompanhar esta evolução surge a máquina a vapor e novos produtos a partir dos metais. Já no século XX chega a energia elétrica, que substitui a energia a vapor, aumentando conseqüentemente a complexidade das máquinas. Agora, as máquinas produzem mais e melhor, como um ciclo de melhoria constante, produzindo com mais qualidade. Após a segunda Guerra Mundial, o consumismo acelerou e, com a necessidade de aumentar o fluxo produtivo surge o controlo numérico (CN), que consistia numa linguagem de código de máquina que foi desenvolvida para guiar automaticamente o engenho, sem a necessidade de um operador. Mais tarde, na década de 1970, esta linguagem foi substituída por um controlo numérico computadorizado (CNC). Desta forma, em vez do código da máquina ser perfurado na fita ou no cartão, foi inserido num computador integrado.

Tendo em consideração todo este desenvolvimento, podemos afirmar que a maquinagem tem a capacidade de transformar/convertir peças de fundição, forjagem ou até mesmo um bloco de metal, num produto final, com as especificações finais desejadas, removendo material indesejado. Na maior parte das vezes, a remoção ocorre por arranque de aparas, podendo chegar a métodos por abrasão, como é o caso da retificação. É importante referir que a maioria dos projetos necessitam de maquinagem, mesmo que, por vezes, tenham sido anteriormente submetidos a outros processos convencionais.

Segundo Vicente Chiaverini [3], com a maquinagem, podemos atingir, resumidamente, os seguintes objetivos:

- Acabamento de superfícies de peças fundidas ou conformadas mecanicamente, de modo a obter-se melhor aspeto superficial e dimensões mais precisas, de acordo com as especificações de fabricação e com a sua utilização;
- Obtenção de peculiaridades, impossíveis de conseguir pelos processos convencionais;
- Fabricação seriada de peças, a um custo baixo;
- Fabricação de uma ou poucas peças, praticamente de qualquer forma, a partir de um bloco de material metálico.

2.1.1 Aspetos da maquinagem

Na Figura 1 estão combinadas quatro imagens de diferentes operações de maquinagem, por arranque de apara, entre as quais o torneamento, fresagem, rosqueamento e furação.

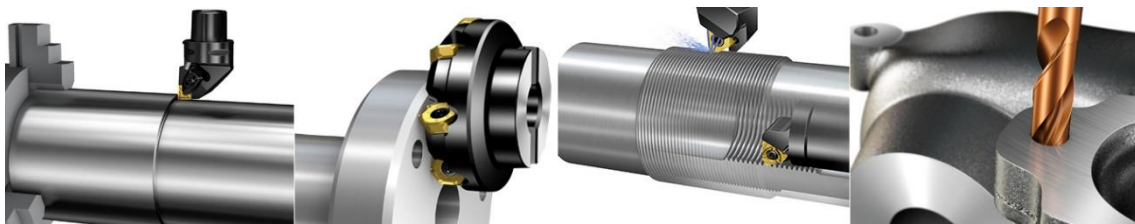


Figura 1 – Operações de maquinagem [4]

A definição de torneamento é aquela que diz que a ferramenta é estacionária e a peça gira. Geralmente associado a perfis arredondados e cilíndricos, o torneamento pode ser dividido em diversas aplicações tais como: torneamento longitudinal, facejamento ou perfilagem. Este tipo de operação é um processo muito comum na maquinagem por arranque de apara e pode ser altamente otimizado. Atualmente, os tornos já estão capacitados para realizar qualquer perfil, até mesmo quadrados ou canais [4].

Por sua vez, a fresagem é definida para que a peça esteja fixa à mesa e se mova solidária com esta, enquanto a ferramenta tem rotação. Tem contado com uma evolução que a habilita para realizar uma ampla variedade de operações, tais como fazer furos, roscas, cavidades ou superfícies. Os atuais centros de torneamento oferecem capacidades de fresagem, devido às ferramentas motorizadas e os centros de fresagem geralmente possuem capacidade para torneamento [4].

A rosca define a geometria de um conjunto de filetes em torno de uma superfície cilíndrica e inclui os diâmetros da peça (diâmetro principal, primitivo e secundário), ângulo do perfil da rosca, passo, raio e ângulo de hélice. As roscas podem ser produzidas usando diferentes métodos. Como já foi referido, podem ser maquinadas através do torneamento ou fresagem de roscas, ou então rosqueamento com macho ou

esmagamento. Antes de optar por qualquer um destes métodos convém analisar as dimensões e as exigências de qualidade de rosca a produzir [4].

O furo tem três parâmetros básicos que são necessários analisar antes de se iniciar o processo de furação: diâmetro, profundidade e acabamento. O processo de furação pode ser dividido em furação e mandrilamento, maquinagem de furos escalonados ou então fresagem por interpolação helicoidal. Em função dos parâmetros acima enunciados, seleciona-se o processo mais adequado para a realização do furo [4].

No anexo 1 é aprofundado o tema dos aspetos e processos da maquinagem, assim como os equipamentos utilizados referentes ao torneamento, fresagem, furação e retificação.

2.1.2 Toleranciamento em peças maquinadas

“A geometria e o tamanho dos objetos técnicos são sempre, direta ou indiretamente, tolerânciados nos desenhos que os definem” [5].

Os processos de fabrico, como é o caso do corte por arranque de avara, estão sujeitos a imprecisões, maiores ou menores, que comprometem o fabrico de qualquer peça de forma rigorosa, não sendo por isso possível produzir geometrias e dimensões exatas capazes de cumprir na integra as cotas nominais (as cotas nominais são as dimensões indicadas no desenho de fabrico pelo projetista/desenhador). Estas imprecisões podem resultar de vários fatores do processo de produção, tais como imperfeições das ferramentas, dilatações e contrações térmicas, deformações do material e falhas do operador.

Assim sendo, as peças maquinadas, para serem aprovadas, necessitam somente que as cotas finais fiquem compreendidas dentro de um intervalo de valores definido por um valor máximo e mínimo, ou desvios máximo e mínimo em relação à cota nominal presente no desenho técnico. Estes valores são criteriosamente definidos pelo projetista/desenhador, tendo em conta a funcionalidade da peça. Ou seja, dado que geralmente as peças trabalham associadas a outras peças, formando conjuntos mecânicos, e que elas se ajustam entre si desempenhando funções específicas, torna-se necessária a compreensão do mecanismo e conhecimento dos tipos possíveis de ajustamentos, para que não se comprometa a funcionalidade nem a qualidade do produto. Chamamos então tolerância dimensional a estes desvios aceitáveis nas medidas reais das peças. De acrescentar que as tolerâncias podem ser expressas através de normas e símbolos para qualquer cota, de forma individual ou geral, sendo certo que todas as cotas têm de ser afetadas por uma tolerância.

2.1.2.1 Dimensões limite

Seguindo o exemplo da Figura 2, onde consta um conjunto veio - furo, existem ainda as dimensões limite do diâmetro dos respectivos componentes. Estas cotas surgem com base na funcionalidade do conjunto mecânico, recorrendo ao estudo em laboratório mecânico, ou a partir de soluções já adotadas na indústria mecânica para guiamentos com características idênticas. Assim, foram atribuídas as seguintes dimensões limites:

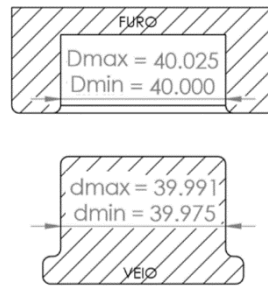


Figura 2 - Dimensões limite do diâmetro (Autoria própria)

2.1.2.2 Dimensões médias

As dimensões médias surgem através do cálculo da média entre as dimensões mínima e máxima (Tabela 1) e podem interessar para efeitos de produção, controlo, etc. [5]. Caso a dimensão média faça referência a uma dimensão interior, é designada por D_{med} , sendo que para uma dimensão exterior é descrita como d_{med} .

Tabela 1 - Cálculo de desvios (dimensões interiores/exteriores) [5]

	Desvio	Tolerância	Distancia média
Tolerâncias de dimensões exteriores	$ei = d_{min} - D_n$ $es = d_{min} - D_n$	$t = es - ei$ $t = d_{max} - d_{min}$	$d_{med} = (d_{max} + d_{min})/2$
Tolerâncias de dimensões interiores	$EI = D_{min} - D_n$ $ES = D_{max} - D_n$	$T = ES - EI$ $T = D_{max} - D_{min}$	$D_{med} = (D_{max} + D_{min})/2$

2.1.2.3 Tolerâncias de dimensões

Como já foi referido, os **desvios** são as diferenças algébricas entre as dimensões reais, em qualquer local, e a dimensão nominal [5]. Os desvios são então designados como:

- Desvio Superior (ES/es) – Diferença algébrica entre a dimensão limite máxima e a dimensão nominal;
- Desvio Inferior (EI/ei) - Diferença algébrica entre a dimensão limite mínima e a dimensão nominal;

No que respeita à **tolerância**, tem valor absoluto e, também, pode ser definida pela diferença entre o desvio limite superior e o desvio limite inferior, ou então através das dimensões máxima e mínima admissíveis (Tabela 1) [5].

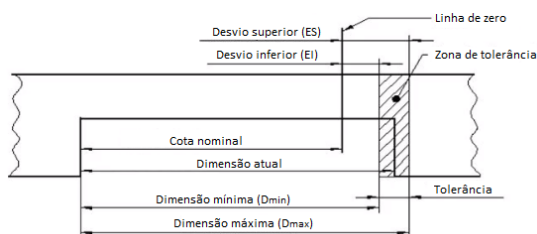


Figura 3 - Representação gráfica de desvios em cotas interiores [5]

Os desvios podem ser representados conforme é exposto na Figura 3. Na representação gráfica de uma dimensão toleranciada, a linha de zero faz referência à cota nominal. Desta forma, os desvios positivos estão posicionados à direita de linha zero, enquanto os negativos se colocam à esquerda. Neste caso, existem dois desvios positivos criando a zona de tolerância (a tracejado) e, conseqüentemente, a dimensão mínima (D_{\min}) e máxima (D_{\max}).

2.1.2.4 Graus de tolerância normais

No sistema ISO - *International Organization for Standardization* de tolerâncias, é estabelecido um escalonamento criterioso dos valores das tolerâncias a adotar na construção mecânica, diferenciando em vinte graus diferentes. Este sistema consiste num conjunto de princípios, regras e tabelas que possibilita a escolha racional das tolerâncias, de forma a economizar a produção. Esta norma estabelece uma série de tolerâncias fundamentais que determinam a precisão da peça, ou seja, a qualidade de trabalho, uma exigência que varia de peça para peça.

A Tabela 2 apresenta as vinte diferentes qualidades de fabrico. Os graus de tolerância normais são designados por IT (tolerância internacional), seguido de um número que ordena desde o grau de maior exatidão (01 – Construção muito fina) até ao (18 – Construção grosseira).

Tabela 2 - Graus de tolerância normalizados [5]

	IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
Exatidão	Alta exatidão						Const. Mecânica-ajustamentos						Const. Corrente: fina, média, grosseira, muito grosseira							
Verif.	Medição - aferição						Controlo - calibres						Medição (micrómetro, paquímetro, etc)							
Maquinag.	Super acabamento						Máquinas ferramentas correntes						Laminagem, trefilagem, forjagem, etc							
Função	Estanque; Movimento preciso						Centrag; Contact. móveis			Contactos fixos			Superfícies brutas sem contacto							
Aplicação	Aparelhos de medida						Ajustamentos – dimensões funcionais						Dimensões não funcionais							

Geralmente, na construção mecânica corrente, devem ser escolhidos graus de tolerâncias elevados (pouca qualidade), mas que garantam os requisitos e o correto funcionamento do conjunto de peças.

2.1.2.5 Posições das tolerâncias

No sistema ISO, existe um total de 28 posições das tolerâncias dos furos e, de igual forma, 28 posições dos veios (Figura 4). Estas posições estão normalizadas e são indicadas por letras maiúsculas ou minúsculas, caso se trate de um furo (A, B, C, ..., ZC) ou de um veio (a, b, c, ..., zc), respetivamente. É importante salientar que a linha de zero (0) está subentendida como a dimensão nominal da peça. Assim, podemos observar na Figura 4, abaixo apresentada, as posições das tolerâncias face à cota nominal.

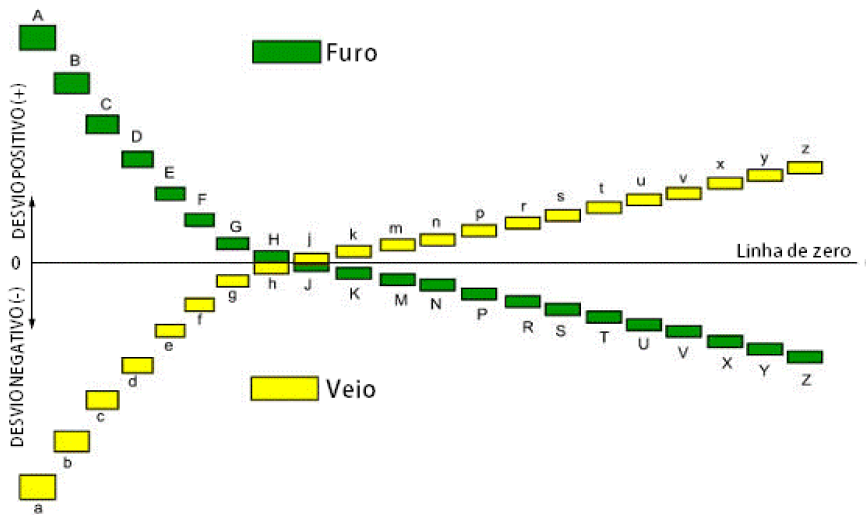


Figura 4 - Localizações relativas das tolerâncias e desvios lineares fundamentais (Adaptado de [64])

2.1.2.6 Ajustamentos

Um ajustamento mecânico consiste na ligação de um veio com um furo de uma peça (Figura 5), em que se produz o contacto dos seus elementos conjugados [5]. Desta forma, quando falamos em ajustamentos, veio é o nome genérico dado a qualquer peça, ou parte de peça, que funciona alojada em uma outra.

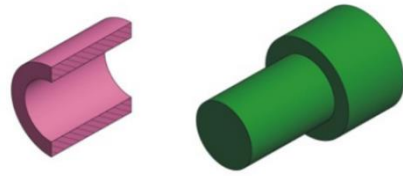


Figura 5 - Conjunto veio [6]

Os furos, elementos interiores das peças, caracterizam-se funcionalmente pelas suas dimensões interiores enquanto os veios, elementos exteriores, são caracterizados pelas dimensões antes de serem acoplados. Pelo mesmo meio, a dimensão exterior de um veio e interior de um furo, que vão ser acoplados, têm a mesma cota nominal. Assim, de acordo com o ajustamento pretendido, serão associadas tolerâncias às dimensões nominais dos elementos em contacto.

Posto isto, para complementar os toleranciamentos dimensionais, é necessário usar o princípio da envolvente.

Requisito da envolvente (Princípio de Taylor): O princípio da envolvente é necessário para complementar os toleranciamentos dimensionais. No caso de um conjunto veio - furo ajustados, o princípio da envolvente garante que:

- O veio deve entrar num furo cilíndrico, teoricamente exato, com diâmetro igual ao diâmetro máximo do veio (Figura 6);
- O furo, da mesma forma, deve permitir a entrada, em toda a sua extensão, de um veio cilíndrico, teoricamente exato, com diâmetro igual ao diâmetro máximo do furo [5].



Figura 6 - Controle da extremidade do veio [6]

Os conjuntos mecânicos constituídos por veios e furos, podem funcionar ajustados entre si de diversas formas. Com base na função do veio, existem as seguintes classes de ajustamentos:

- **Ajustamento com folga**

No caso do ajustamento com folga, representado na Figura 7, o afastamento superior do veio é menor ao afastamento inferior do furo, ou seja, acontece quando a dimensão mínima real do furo é superior à máxima do veio. Para determinar as folgas máxima e mínima e a tolerância do ajustamento, podem ser utilizadas as fórmulas presentes na Tabela 3.

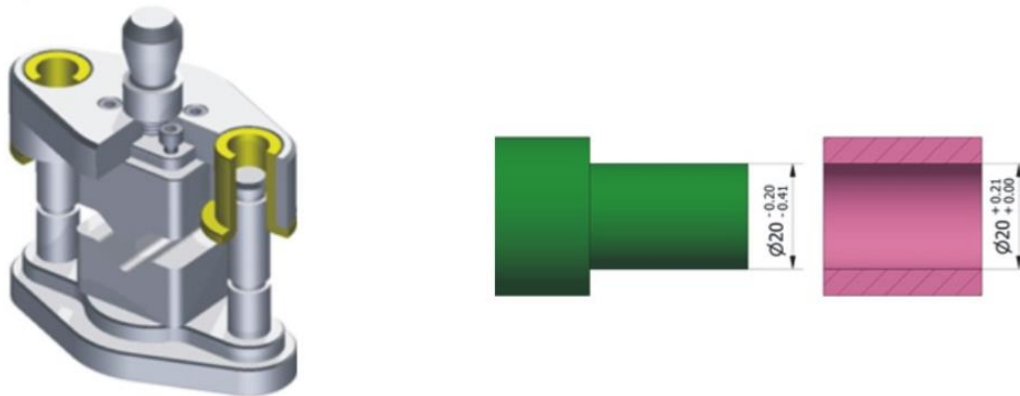


Figura 7- Exemplo de ajustamento com folga. Deslizamento das colunas nos casquilhos [6]

Tabela 3 - Fórmulas para determinar as folgas [5]

Folga máxima (F_{max})	$F_{max} = D_{max} - d_{min}$	$F_{max} = ES - ei$
Folga mínima (F_{min})	$F_{min} = D_{min} - d_{max}$	$F_{min} = EI - es$
Tolerância do ajustamento (T_{aj})	$T_{aj} = F_{max} - F_{min}$	

• Ajustamento com aperto

Contrariamente ao ajustamento com folga, num ajustamento com aperto ou interferência (Figura 8), a dimensão do furo é sempre menor do que a do veio. Assim, o afastamento superior do furo é menor do que o afastamento inferior do veio. O aperto é o valor absoluto da diferença entre as dimensões do furo e do veio. Na Tabela 4 são apresentadas as fórmulas para o cálculo dos apertos.

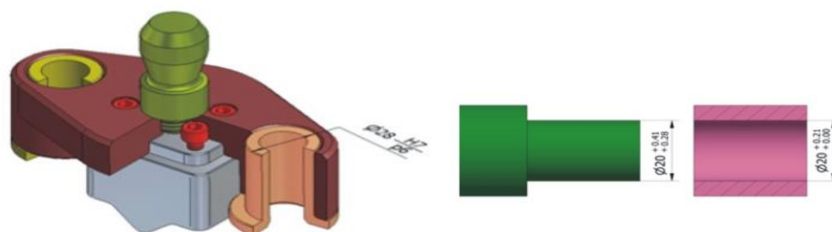


Figura 8 - Exemplo de ajustamento com aperto: Aperto dos casquilhos na base superior [6]

Tabela 4 - Fórmula para cálculo de folga [5]

Folga máxima negativa= Aperto mínimo (A_{\min})	$A_{\min} = d_{\min} - D_{\max}$	$A_{\min} = ei - ES$
Folga mínima negativa= Aperto máximo (A_{\max})	$A_{\max} = d_{\max} - D_{\min}$	$A_{\max} = es - EI$
Tolerância do ajustamento (T_{aj})	$T_{aj} = A_{\max} - A_{\min}$	

• Ajustamento incerto ou de transição

Um ajustamento incerto acontece quando a dimensão real do furo é, umas vezes maior e outras vezes menor do que a dimensão real do veio. Desta forma, num ajustamento de transição podem resultar pequenas folgas ou apertos [5].

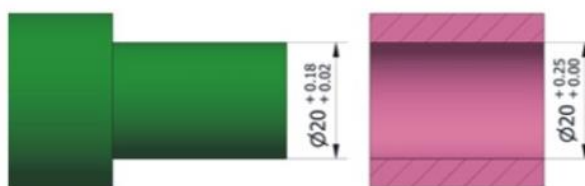


Figura 9 - Exemplo de ajustamento incerto [6]

Neste caso da Figura 9, o afastamento superior do veio (+0.18 mm) é maior do que o afastamento inferior do furo (0.00 mm) e o afastamento superior do furo (+0.25 mm) é maior do que o afastamento inferior do veio (+0.02 mm). Logo, estamos a tratar de um ajustamento incerto, uma vez que não sabemos, de antemão, se as peças acopladas vão ser ajustadas com folga ou aperto.

A variedade de ajustamentos, a usar na construção mecânica corrente, deve ser reduzido, pelo que devem ser adotados:

- Dimensão nominal;
- Tolerâncias dimensionais normais ISO (Tabela 2, Pag.12);
- Um número limitado de posições nas zonas tolerânciadas normais ISO; que vão, nos furos de **A** a **ZC** e nos veios de **a** a **zc**;
- Tolerâncias preferíveis (uso corrente);
- Um dos sistemas de ajustamentos:
 - Sistema de furo básico (Tabela 5);
 - Sistema de veio básico (Tabela 6);

No sistema ISO de furo básico (Tabela 5), todos os furos são H e o que varia é o veio. Então, com os furos H, os veios podem ser ajustados, em que as tolerâncias tem posições que vão de [5]:

- **a ... h** - Ajustamento com folga;
- **j ... m** - Ajustamento incerto;
- **p ... zc** - Ajustamento com aperto.

Tabela 5 - Sistema de ajustamentos ISO de furo básico [5]

CLASSE	AJUSTAMENTO LIVRE		ROTATIVO	DESIZANTE	DESIZANTE	LIGEIRAMENTE		FORTEMENTE	APERTADO	APERTADO
					JUSTO	PRESO	PRESO	A FRIO	FORTE	
EXATIDÃO		H6/e7	H6/f6	H6/g5	H6/j5	H6/j5	H6/k5	H6/m5	H6/p5	H6/s5
CUIDADA		H7/e8	H7/f7	H7/g6	H7/j6	H7/j6	H7/k6	H7/m6	H7/p6	H7/s6
CORRENTE		H8/e9	H8/f8	H8/h8	H8/j7	H8/j7	H8/k7	H8/m7	H8/p7	H8/x7
GROSSEIRA	H11/d11	H10/d10								

Por outro lado, existe o sistema ISO de veio básico, pelo que todos os veios têm tolerância com posição (Tabela 6).

Tabela 6 - Sistema de ajustamentos ISO de veio básico [5]

CLASSE	AJUSTAMENTO LIVRE		ROTATIVO	DESIZANTE	DESIZANTE	LIGEIRAMENTE		FORTEMENTE	APERTADO	APERTADO
					JUSTO	PRESO	PRESO	A FRIO	FORTE	
EXATIDÃO		E6/h7	F6/h6	G6/h5	H6/h5	J6/h5	K6/h5	M6/h5	P6/h5	S6/h5
CUIDADA		E7/h8	F7/h7	G7/h6	H7/h6	J7/h6	K7/h6	M7/h6	P7/h6	S7/h6
CORRENTE		E8/h9	F8/h8	H8/h8	H8/h7	J8/h7	K8/h7	M8/h7	P8/h7	X8/h7
GROSSEIRA	D11/h11	D10/h10								

2.1.2.7 Tolerâncias gerais

Nem todas as dimensões das peças são funcionais, nem necessitam de ter tolerâncias individuais. Assim, quando não é exigida elevada exatidão, essas cotas são escritas apenas com os seus valores nominais e ficam sujeitas ao toleranciamento geral expresso na legenda do desenho. Nas oficinas de construção mecânica, de produção corrente, a classe deve estar bem definida e não deve propor-se a executar trabalhos que exijam uma classe de toleranciamento geral melhor do que a classe de exatidão corrente, para não agravar apreciavelmente os custos.

No que respeita às **tolerâncias dimensionais**, e com base na norma ISO 2768:1989, podemos classificar a produção como:

- Fina f (Produção com $\pm IT10$);
- Média m (Produção com $\pm IT12$);
- Grosseiros c (Produção com $\pm IT14$);
- Muito grosseiros v (Produção com $\pm IT15$ a $IT16$);

Existem então tabelas que relacionam a classe de produção com as cotas nominais, e fornecem os valores das tolerâncias dimensionais. Para o efeito, são apresentados três tipos de tolerâncias dimensionais para peças maquinadas:

- Tolerâncias gerais de dimensão lineares;
- Tolerâncias gerais de arestas abatidas;
- Tolerâncias gerais de dimensões angulares.

Por outro lado, existem também as **tolerâncias gerais para elementos geométricos**. Desta, existem apenas três classes que se dividem como:

- Fina H
- Média K
- Grosseira L

Relativamente às tolerâncias geométricas gerais, existem também tabelas que dão valores em função da classe de exatidão pretendida para os seguintes elementos:

- Tolerâncias gerais de retitude e planeza;
- Tolerâncias gerais de circularidade;
- Tolerâncias gerais de cilindricidade;
- Tolerâncias gerais de paralelismo;
- Tolerâncias gerais de perpendicularidade;
- Tolerâncias gerais de coaxialidade;
- Tolerâncias gerais de simetria;
- Tolerâncias gerais de batimento circular.

2.1.2.8 Toleranciamento geométrico

Este capítulo baseia-se na explicação das várias especificações geométricas e zonas de tolerância. Informação mais detalhada sobre este assunto poderá ser analisada no anexo 2.

Segundo Simões Morais [5], a peça real só pode ser fabricada com faces mais ou menos planas, ou mais ou menos cilíndricas, etc., e com tamanho mais ou menos exato. O exato é inatingível. Assim, e visto que as tolerâncias dimensionais não garantem correção geométrica necessária ao funcionamento, existem as tolerâncias geométricas. As tolerâncias geométricas definem uma zona de tolerância, ou seja, um espaço geométrico no interior do qual deve ficar compreendido integralmente esse elemento

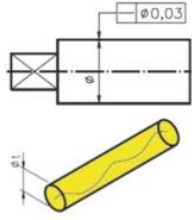
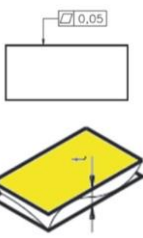
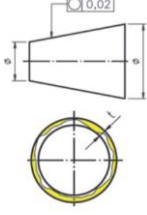
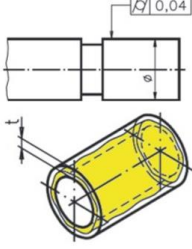
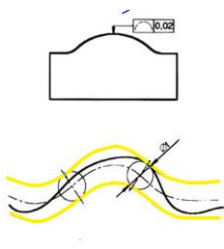
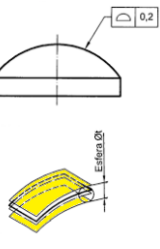
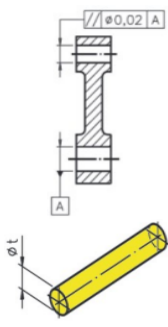
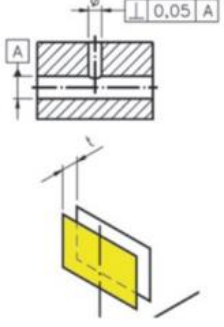
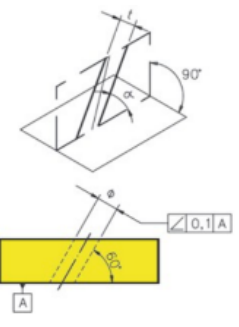
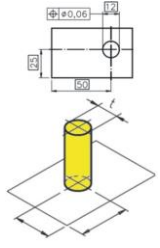
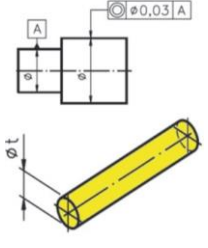
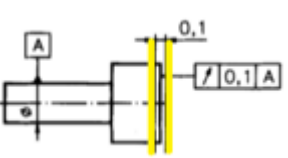
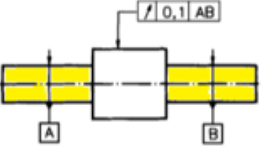
da peça real. A zona de tolerância especificada é um espaço limitado por linhas ou superfícies com formas geométricas ideais (formas teoricamente exatas) [5].

As tolerâncias geométricas podem ser aplicadas como (Tabela 7):

- **Tolerâncias de forma** - As tolerâncias de forma são tolerâncias de elementos isolados, que dizem respeito a toda a extensão do elemento tolerenciado, independentemente do resto da peça;
- **Tolerâncias de orientação** - É dado a um elemento em relação a um outro elemento teoricamente exato, tomado como valor de referência¹;
- **Tolerância de posição** - É dada a um elemento em relação a um outro elemento teoricamente exato, tomado como valor de referência;
- **Tolerância de batimento** - Tolerância relativa a elementos com movimento de rotação relativamente a um outro elemento, teoricamente exato.

¹ Elemento de referência "*datum feature*" é um elemento real de uma peça que é utilizado para estabelecer a posição de uma referência especificada [65]. Por norma, estes elementos são trabalhados com boa exatidão.

Tabela 7 - Toleranciamento geométrico [6]

			
Forma	Retitude	Planeza	Circularidade
			
	Cilindricidade	Perfil de uma linha	Perfil de uma superfície
Orientação			
	Paralelismo	Perpendicularidade	Angularidade
	Posição		
Localização		Concentricidade	Simetria
Batimento			
	Batimento circular	Batimento total	

2.1.3 Graus de acabamento em peças maquinadas

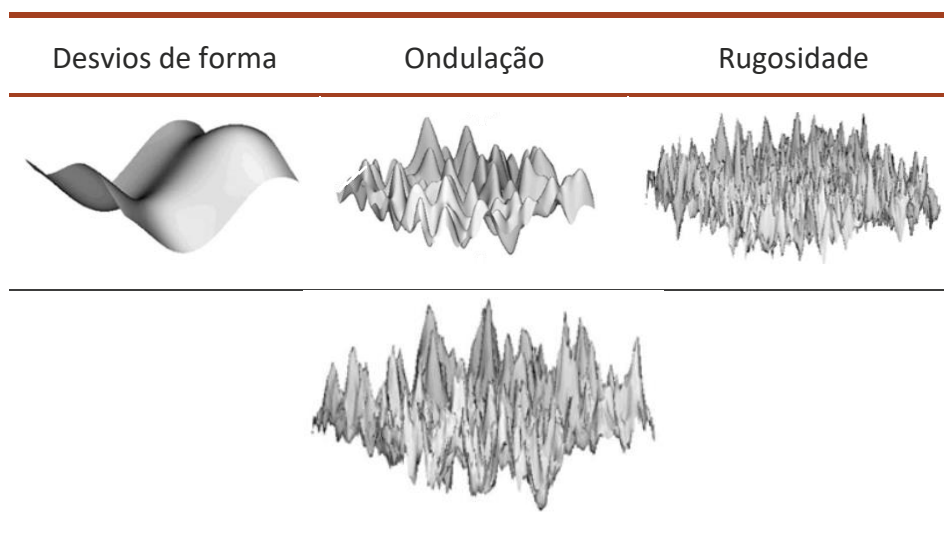
“Os estados das superfícies e das arestas reais das peças de um mecanismo têm grande importância no seu funcionamento quando contactam entre si, contacto esse que pode ser estático ou dinâmico.” [5].

A importância do estado de acabamento da superfície (Tabela 8) de um elemento mecânico está diretamente relacionada com a importância da função desse elemento em qualquer aplicação. A garantia de precisão dimensional e geométrica, nem sempre é suficiente para assegurar a funcionalidade de um par cinemático e, por isso, o estado das superfícies dos elementos mecânicos deve ser adequado ao tipo de função. Assim, o grau do estado de acabamento da superfície pode influenciar aspetos como a vida útil do elemento mecânico, desgaste, comportamento cinemático, lubrificação, resistência à fadiga ou resistência à corrosão [7]. Pedro Guedes [7] acrescenta ainda que, quanto mais exigente for o acabamento da superfície do elemento mecânico, mais elevado será o seu custo e, por outro lado, importa não esquecer a relação do estado de superfície com a tolerância dimensional e/ou geométrica.

O estado de superfície de um dado elemento de uma peça deve ser analisado sob os seguintes aspetos [5]:

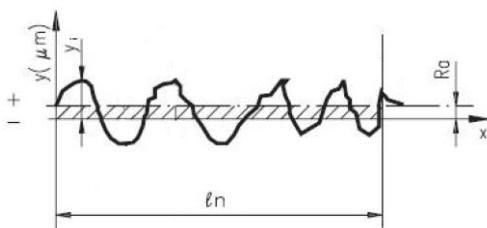
- Físico-químico, em que são consideradas as diferentes características da camada superficial (composição química, dureza, etc.);
- Geométrico (Tabela 8), em que são essencialmente considerados os desvios macrogeométricos (desvios de forma e ondulação) e irregularidades microgeométricas (rugosidades).

Tabela 8 - Aspetos geométricos do estado da superfície [8]



A superfície real de qualquer elemento de uma peça apresenta, inevitavelmente, desvios geométricos. Então, para analisar o estado de superfície, são definidos (Figura 10) [5]:

- **Superfície de referência** - Superfície nominal;
- **R-perfil** - Resulta da interseção da superfície real da peça com um plano normal à superfície de referência, e perpendicular à direção das irregularidades;
- **Comprimento de avaliação (ln)** – É o comprimento medido segundo a direção geral do perfil onde é feita a análise;
- **Passo médio da rugosidade (Sm)** – Valor médio dos passos das irregularidades periódicas do perfil.



$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (2.1)$$

Figura 10 - Desvio médio aritmético [8]

O desvio médio aritmético do perfil (R_a), é conseguido através da equação (2.1).

Assim, a rugosidade corresponde ao conjunto de irregularidades superficiais microgeométricas, isto é, pequenas saliências e reentrâncias que caracterizam uma superfície. No que respeita ao grau de acabamento, é tanto maior quanto menor for a dimensão do conjunto de irregularidades superficiais.

O símbolo gráfico da Figura 11 auxilia na caracterização do estado da superfície em desenho. A inscrição desta simbologia nos desenhos técnicos é fundamental para garantir o estado final da superfície após o fabrico [7].

Assim, quando se pretende indicar várias características do estado de superfície, e não apenas o valor da rugosidade, recorre-se a uma simbologia mais completa e com regras próprias de preenchimento como indicado na Figura 11.

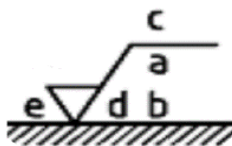





Figura 11 - Símbolo expandido: especificações e suas posições [8]

- a** – Estado da superfície R
- b** – Dois ou mais estados de superfícies
- c** – Método de fabricação e tratamento
- d** – Orientação das estrias
- e** – Sobre espessura para maquinagem

Atualmente, principalmente na Europa, a Norma ISO 1302:2002. *Geometrical Product Specifications (GPS) – Indication of surface texture in technical product documentation* é a mais utilizada para indicação dos estados de superfícies em desenhos técnicos [7]. Os símbolos de acabamento são inscritos nos desenhos de definição, em desenhos de fabricação e, só excepcionalmente, em desenhos de conjuntos. Na Tabela 9 estão revelados os símbolos gráficos e respectivos requisitos de cada uma das diferentes representações [5].

Tabela 9 - Maquinagem [7]

Símbolo	Significado
	Permite qualquer processo de fabricação
	Não permite a remoção de material
	Indica que a remoção de material é obrigatória

De realçar que os graus de exatidão dimensional inscritos no desenho para os elementos da peça a produzir, não caracterizam a rugosidade das superfícies desses elementos. No entanto, um grau de exatidão elevado não é conciliável com superfícies grosseiramente maquinadas, ou seja, superfícies com grande rugosidade.

2.1.4 Desgaste das ferramentas

O conhecimento básico dos materiais das ferramentas de corte e seu desempenho, são um fator importante para o planeamento de um processo de maquinagem. Para o efeito, torna-se também necessário as considerações que incluem o material a ser maquinado, as condições de maquinagem e os requisitos ao nível da qualidade superficial das operações. Com isto, a seleção do material e da classe da ferramenta, constituem um fator importante para o sucesso das operações e baixo desgaste das ferramentas.

O desgaste das ferramentas de corte é causado por cargas mecânicas e térmicas simultâneas na aresta de corte (Figura 12), entre as quais se destacam [9]:

- **Abrasão** – Surgem riscos, quase sempre provocados por partículas de desgaste que se libertam da pastilha ou de fases duras da peça;
- **Adesão** – Porções de material soldam-se à ferramenta, na face de saída ou formando aresta postiza;
- **Oxidação** – Consiste na formação de óxidos superficiais, que facilmente se desgastam quando solicitados mecanicamente;
- **Difusão** – Quando a temperatura se eleva, promove a passagem de micropartículas (elementos químicos) entre a peça e a pastilha.

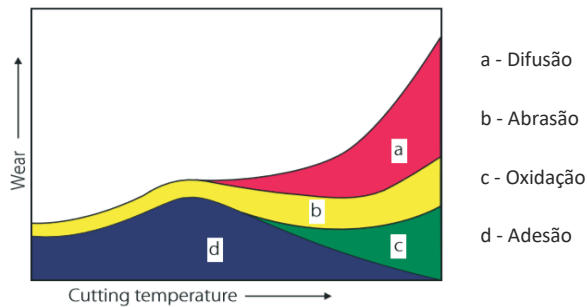


Figura 12 - Causas de desgaste das ferramentas de corte [11]

No caso de baixas velocidades de corte e materiais fáceis de cortar, o desgaste mecânico (abrasivo) é o mais influente, no caso de velocidades mais altas e materiais mais complexos de cortar, as causas de desgaste relacionam-se com o calor (oxidação e difusão) [10].

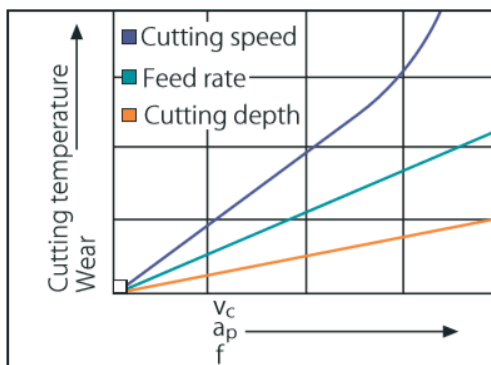


Figura 13 - Influência dos parâmetros de corte na temperatura de corte e desgaste da ferramenta [11]

O gráfico da Figura 13 apresenta a influência dos parâmetros de corte (Velocidade de corte, profundidade e avanço) em relação à temperatura de corte e desgaste da ferramenta. Assim, com a análise a esse gráfico, é possível concluir que o aumento de qualquer um destes parâmetros tem um efeito diretamente proporcional na temperatura de corte e no desgaste.

A vida útil de uma ferramenta é o tempo que ela trabalha efetivamente, ou seja, o período no qual uma ferramenta pode ser mantida a maquinar de forma eficaz, ou até que atinja o critério de fim de vida. Dentro dos critérios de fim de vida, podem ser destacados os seguintes [10]:

- Tempo total de trabalho;
- Percurso de corte;
- Volume de material removido;
- Número de peças produzidas.

Assim, segundo a lei de Taylor, é estabelecida uma equação que permite criar uma relação entre a velocidade de corte (m/min) e o tempo de vida (min) de uma ferramenta de corte:

$$T = v_c^{-x} \cdot k \quad (2.2)$$

Em que:

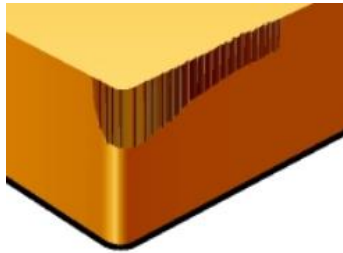
k – Vida útil da ferramenta para $v_c = 1$ m/min (constante)

x – Coeficiente de desgaste da ferramenta (coeficiente)

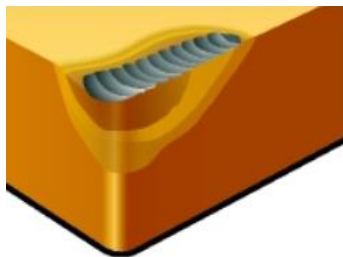
2.1.4.1 Formas de desgaste

No que respeita às formas de desgaste (Tabela 10 e Tabela 11), pode-se atribuir um tipo de desgaste específico para cada uma das áreas.

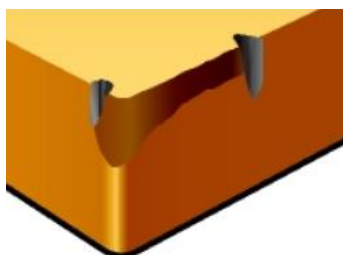
Tabela 10 - Formas de desgaste



Desgaste de flanco referente ao material removido da ferramenta de forma mais ou menos uniforme no flanco da ferramenta. O aumento da velocidade de corte é uma causa deste tipo de desgaste e deve-se a fenômenos de desgaste por abrasão. Desta forma, com o desgaste do flanco, aumentam a força de corte, as vibrações e a temperatura, verificando-se, também, uma deterioração na qualidade da superfície [10]. Este tipo de desgaste pode ser corrigido com a redução da velocidade de corte ou com a troca por pastilhas com maior resistência ao desgaste [11].

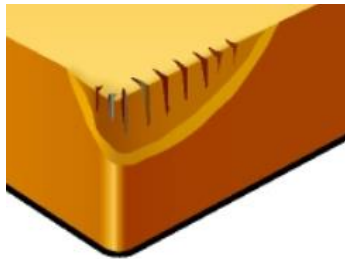


Desgaste de cratera refere-se à remoção do material da ferramenta na sua face de corte. Acontece por fenômenos de difusão e abrasão. Este tipo de desgaste, se for excessivo, leva a um enfraquecimento da aresta de corte e, conseqüentemente, a maiores deformações e a um risco acrescido de quebra da ferramenta. A este desgaste está inerente um aumento da força de corte. No que respeita às causas do desgaste de cratera, aponta-se a velocidade de corte e/ou avanços excessivos, material da ferramenta pouco robusto, refrigeração incorreta, ou então, um ângulo de corte efetivo muito pequeno [10]. As correções para este problema passam por reduzir a velocidade de corte e o avanço, selecionar uma pastilha mais resistente, ou então passar a utilizar fluido de corte [11].

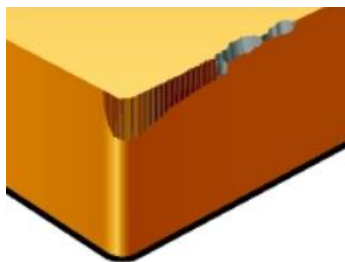


Desgaste de entalhe consiste no desgaste da pastilha, localizado em profundidade na face de saída e no flanco da pastilha da profundidade de corte. É causado por fenômenos de adesão [12]. Este desgaste é provocado pela constante variação de carga sobre a ferramenta, não sendo esta, no entanto, suficiente para promover a sua fratura direta. O início do corte e as variações de força de corte sobre a ferramenta, poderão ser demasiado elevadas para a resistência e tenacidade da pastilha [11].

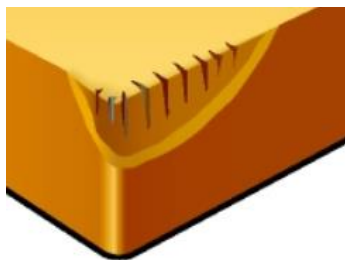
Tabela 11 - Formas de desgaste (Continuação)



Desgaste por fissura térmica ocorre geralmente como desgaste por fadiga [10]. Como resultado da mudança brusca da temperatura de quente para frio na aresta de corte, surgem várias fissuras térmicas perpendiculares à aresta de corte [12]. Acontece principalmente na fresagem descontínua e a utilização de fluido de corte poderá ampliar estes problemas de fadiga térmica. Para corrigir este desgaste, a velocidade de corte e o avanço devem ser reduzidos e, por outro lado, aumentar o caudal do fluido de corte [11].



Desgaste por fratura da ferramenta é considerado um desgaste que resulta de uma sobrecarga de tensões de tração mecânica. Com estes picos mecânicos de sobrecarga, existe formação de fraturas na ferramenta. Como causa possível para este tipo de desgaste, existe a temperatura, a velocidade de corte e a falta de dureza da ferramenta de corte [13]. Com isto, a força necessária para o corte aumenta consideravelmente, a temperatura e vibrações, sendo ainda notável a alteração da geometria de corte [10].



Desgaste por deformação plástica acontece quando é aplicada uma pressão na ferramenta e a temperatura de corte está muito alta para uma determinada classe [12]. Estes valores de temperaturas altas acontecem quando existem materiais bastante duros e velocidades de cortes e avanços excessivos. Isto resultará numa deformação na aresta de corte, que irá gerar maiores temperaturas e deficiências geométricas. A geometria da ferramenta e um possível reforço do gume, são essenciais para minimizar este tipo de desgaste [11].

2.1.5 Sistemas de fixação de peças

Os sistemas de fixação (Tabela 12, Tabela 13 e Tabela 14), tanto das ferramentas como das peças, são um aspeto que carece de muito rigor. Tendo em conta as tolerâncias dimensionais e geométricas das peças maquinadas atualmente, as posições relativas das ferramentas e das peças, têm que garantir segurança suficiente para evitar vibrações, flexão e movimentos indesejados, que podem resultar em problemas para as operações realizadas pela máquina CNC. Uma vez que os sistemas de fixação têm influência humana na sua utilização, a possibilidade de erro aumenta significativamente. O tamanho e a geometria das peças podem, por vezes, dificultar a sua fixação à mesa da máquina.

Tabela 12 - Sistemas de fixação de peças

<p data-bbox="252 501 352 528">Grampos</p> 	<p data-bbox="699 331 1353 696">Os grampos, universalmente utilizados para a fixação de peças, apresentam como principal inconveniente o facto de não garantirem, caso se troque de peça, o mesmo posicionamento. A cada troca terá de se efetuar a devida localização e alinhamento. Por outro lado, existem métodos para contornar este problema, como por exemplo, a utilização de pinos que garantam o mesmo alinhamento entre as peças. No caso dos grampos, estes podem ser: manuais, pneumáticos, magnéticos ou hidráulicos.</p>
<p data-bbox="252 1055 352 1122">Prensa de maxilas</p> 	<p data-bbox="699 775 1353 1267">Também conhecida como torno de mordentes ou torno de bancada, a prensa de maxilas é um dispositivo que pode ser facilmente preso à mesa da máquina. Estes dispositivos podem ser encontrados com acionamento manual, pneumático ou hidráulico, com diversas formas para se adaptarem a diferentes geometrias de peças. Quanto ao seu aperto, podem ser distinguidas três classes: linear, angular e de luneta. De salientar que este tipo de equipamentos pode, caso o aperto seja forte, criar marcas na superfície da peça. Por outro lado, conseguem garantir forças de aperto controladas, são rápidos e muitos têm capacidades auto-centradoras [9].</p> <p data-bbox="699 1301 1353 1413">Algumas prensas de mordentes têm eixos auxiliares de movimento, sendo muito usadas as que rodam sobre a própria base ou as que se podem inclinar [2].</p>
<p data-bbox="268 1653 336 1680">Bucha</p> 	<p data-bbox="699 1442 1353 1895">As buchas são um sistema de fixação que garante apertos de peças ou geometrias cilíndricas e têm uma grande aplicação nos tornos, embora também sejam utilizadas nas mesas das máquinas. Geralmente, são constituídas por um cilindro onde deslizam radialmente três ou mais grampos. Existe ainda a bucha autocentrante, na qual os grampos se movem em simultâneo quando a bucha abre ou fecha, garantindo assim o centramento da peça. A bucha ilustrada na figura representa, de igual forma, uma bucha de três grampos numa mesa de máquina. O número de grampos utilizados irá depender da geometria da peça ou forma requerida [9].</p>

Tabela 13 - Sistemas de fixação de peças (Continuação)

<p>Mesa de vácuo</p>		<p>As mesas de vácuo são uma ferramenta com um padrão de portas de vácuo, através das quais o vácuo é aplicado. A peça é colocada sobre a mesa, e fixada através da força de sucção da bomba de vácuo. Este método de fixação não é o ideal para maquinagem pesada, mas apresenta vantagens quanto ao nivelamento ao maquinar peças finas e flexíveis [2]. Este sistema é utilizado acima de tudo na indústria da madeira, plásticos e metais não ferrosos [14]. A desvantagem na utilização deste sistema é a impossibilidade de maquinar abaixo da face inferior. Como principal vantagem, garante menos vibração das peças e um aumento na velocidade da operação.</p>
<p>Mesa magnética</p>		<p>A tecnologia de mesa magnética baseia-se na força do campo magnético e é utilizada amplamente em máquinas como retificadoras, tornos, máquinas de eletroerosão e CNCs. É capaz de fixar peças de grande e pequena dimensão, com formatos bastante distintos [2]. Estas placas têm características que permitem que sejam desmagnetizados para troca de peças e magnetizados para maquinagem. Permite uma troca rápida das peças sem ser necessário outros sistemas de aperto [15].</p>
<p>Sistemas ponto zero</p>		<p>O sistema ponto zero, ou então "zero-point", cumpre principalmente a exigência de grande reprodutibilidade entre peças e rapidez no processo de aperto das peças na mesa das máquinas. Este sistema consiste na utilização de um sistema móvel, que contém cavidades para os pinos que estão alocados nas peças. Assim, quando esses pinos estão encaixados na base, a peça está imediatamente posicionada em relação aos eixos da máquina CNC (X, Y e Z). Os encaixes podem ser apenas mecânicos, mas há vários sistemas hidráulicos, para casos em que é necessário garantir grandes forças de aperto. O sistema de ponto zero otimiza o equipamento e a troca de peça de trabalho na produção, reduzindo assim os tempos de <i>set-up</i>.</p>

Tabela 14- Sistemas de fixação de peças (Continuação)

Sistemas ponto zero

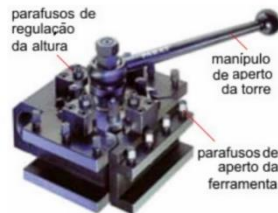
Para complementar os benefícios desta tecnologia [16]:

- Aumento do tempo útil de trabalho da máquina;
- Redução do tempo de *set-up*;
- Alta repetibilidade;
- Interface uniforme para todas as máquinas;
- Posicionamento e fixação em um único passo.

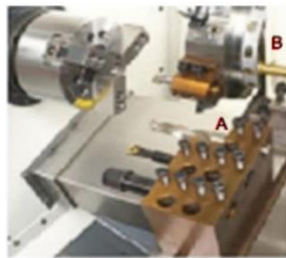
2.1.6 Sistemas de fixação de ferramentas

Como foi referido anteriormente, os métodos de fixação das ferramentas (Tabela 15 e Tabela 16) têm de ser capazes de garantir o posicionamento quando se muda de ferramenta. Com os métodos de fixação mais antigos, ocorriam muitos erros que prejudicavam as operações de maquinagem.

Tabela 15 - Sistemas de fixação de ferramentas [9]

Porta ferramentas de um torno

Através do **porta-ferramentas de um torno**, as ferramentas são apertadas manualmente em suportes e é necessário relocar as arestas de corte da ferramenta com os eixos do trabalhador, com o auxílio de aparelhos de medida [9].

Porta ferramentas automático

O **porta-ferramentas automático** é um porta-ferramentas múltiplo, criado em sistemas computadorizados, nos quais as coordenadas da ferramenta apenas são introduzidas uma vez no sistema informático. Estas coordenadas são analisadas por um apalpador do próprio sistema, e quando a ferramenta é novamente selecionada, o programa consegue facilmente posicioná-la relativamente às faces a maquinar na peça. A imagem ao lado apresenta um torno com dois porta-ferramentas automáticos [9]

Porta ferramentas motorizado

Os **porta-ferramentas motorizados** têm a particularidade de que as ferramentas são independentes do motor principal, ou seja, neste caso existe a possibilidade de fazer diferentes operações em simultâneo, independentemente dos eixos principais de trabalho. Estas ferramentas trazem motores individuais para cada uma delas.

Tabela 16 - Sistemas de fixação de ferramentas (Continuação)

Adaptador		<p>Os fabricantes fornecem uma série de adaptadores diferentes para instalar e remover as ferramentas do porta-ferramentas. Tendo em conta que a troca de ferramenta, para além de garantir o posicionamento, tem de ser feita com rapidez, é necessário que o adaptador seja compatível com o porta-ferramentas. A figura apresenta um adaptador, onde a parte cónica entra no porta-ferramentas e na parte oposta entra a ferramenta.</p>
Cone morse		<p>O cone Morse é uma geometria cónica, de baixo ângulo, que é feita numa peça exterior (macho) e uma inferior (fêmea). Quando estes elementos estão encaixados, criam um atrito muito grande, ficando cada vez mais presos quanto maior é a força que se faz. Isto funciona bem em adaptadores para ferramentas, uma vez que funcionam de uma forma muito simples [9]</p>
Pinça		<p>O princípio de funcionamento de uma pinça consiste num tubo, com rasgos longitudinais, que é apertado pelo exterior e comprime a peça.</p> <p>As pinças estão limitadas a uma gama muito curta de diâmetro, ou seja, torna-se necessário ter muitos dispositivos se for necessário apertar diâmetros muito diferentes.</p>
Bucha		<p>Como já foi mencionado anteriormente, as buchas têm uma forte presença nos tornos, mas, também existem buchas bastante pequenas, que geralmente são utilizadas em ferramentas manuais, berbequins, etc. Ambas as buchas de mordentes funcionam por atrito, portanto não é garantido que a ferramenta não escorregue quando se exerce muita força. Para terminar, deve-se salientar que o sistema de aperto pode variar entre manual ou outros que usam uma chave [9].</p>

2.2 Controlo de qualidade de peças maquinadas

O controlo de qualidade é um processo que conduz as operações de forma a criar estabilidade. O termo controlo de qualidade surge no início do século XX (Radford, 1917, 1922) com o objetivo de ampliar a abordagem para alcançar a qualidade (prevenção de defeitos) [17].

2.2.1 Ferramentas convencionais de controlo

Neste subcapítulo encontra-se abaixo, na Tabela 17, as principais ferramentas convencionais de controlo. Para informações mais detalhadas, consultar o ANEXO 3 – Ferramentas convencionais de controlo.

Tabela 17 - Ferramentas convencionais de controlo

		
Escalas ou Réguas graduadas	Blocos padrão	Paquímetro
		
Micrómetro	Graminho	Relógio comparador
		
Suta	Bloco angular	Esquadro
		
Calibre de limite de tolerâncias	Escantilhões	

2.2.2 Sistemas avançados de controlo

O controlo dimensional é tão antigo quanto a própria indústria, no entanto, apenas nas últimas décadas tem revelado as suas importantes capacidades. Como o próprio nome indica, neste capítulo serão então apresentados equipamentos utilizados no controlo dimensional e geométrico de peças.

2.2.2.1 Máquina de medir por coordenadas com contacto (MMC)

Os sistemas de medição tridimensional representa um grande passo e traz importantes benefícios, tais como o aumento da exatidão, uma maior economia de tempo e facilidade de operação, especialmente depois da incorporação de sistemas de processamento de dados.

Os últimos anos foram marcados pelo crescimento exponencial na utilização de tecnologias de medição por coordenadas. Num mundo cada vez mais exigente, onde o rigor é primordial, a medição tridimensional torna-se um recurso poderoso que a indústria possui para o desenvolvimento de produtos, controlo dimensional de peças e melhoria da capacidade dos processos [18].

O sistema de medição por contacto (Figura 14), tem o objetivo de determinar as coordenadas de determinado ponto medido através do contacto de um apalpador (Figura 15) com a superfície da peça a medir [18]. A medição de dois ou mais pontos, permitirá materializar determinado elemento linear. A MMC de ponte móvel e mesa fixa, é a mais utilizada nos laboratórios de metrologia industrial e nos centros de investigação.



Figura 14 - Máquina de medição por contacto



Figura 15 - Apalpador de sistema de medição por contacto [61]

A máquina de medição por coordenadas por sua vez, irá relacionar o ponto de contato do sensor com a peça, relativamente a um ponto de referência conhecido dentro do sistema coordenado. A determinação das coordenadas dos pontos sobre a peça serve de base para a determinação dos parâmetros de elementos geométricos (dimensão, forma e posição) como, por exemplo, a distância entre superfícies, o diâmetro e a posição de um círculo, entre outros.

No sistema de medição por contacto, que é um sistema puramente mecânico, devem ser tidas em consideração as forças de compressão e a velocidade de contacto. Embora versátil, quando não são cumpridos os procedimentos definidos para o processo de medição, o contacto do apalpador com a superfície da peça pode deformar a peça no momento de contacto, e assim contribuir para um erro de medição. As medições de elementos em pequenas superfícies de difícil acesso estão condicionadas. Na Tabela 18 são distinguidos dois tipos de apalpadores.

Tabela 18 - Tipos de apalpadores [19]

Apalpador medidor - Fornece um sinal proporcional ao deslocamento do sensor, após o contacto com a peça. Este sinal pode ser usado para o controlo de posicionamento, para o disparo da leitura ou para obter o valor do deslocamento.	Apalpador comutador - Fornece um sinal de comutação (liga/desliga), após um deslocamento pré-definido do sensor.
---	---

2.2.2.2 *Máquina de medir por coordenadas sem contacto (MMC)*

A medição por digitalização em 3D, é um processo de amostragem de pontos de uma superfície de um modelo físico. Este processo pode ser realizado de várias formas, dependendo da tecnologia utilizada. Os pontos obtidos, têm sempre que ser transformados e adaptados, de acordo com o sistema pretendido. Depois de concluída a medição, obtém-se a chamada “nuvem de pontos” [18].

Este sistema de medição possui sensores lineares CCD - *Charge-Coupled Device* - de alta resolução incorporados, e o seu princípio de funcionamento baseia-se num sistema constituído por projetores de luz e um microscópio, tal como um projetor de perfis. Cada sensor está subdividido em milhares de pixéis sensíveis à luz, que conseguem detetar facilmente diferentes intensidades luminosas. A peça é iluminada com luz paralela e a sua imagem é projetada nos sensores CCD. Por sua vez, os sensores lineares CCD fornecem a informação obtida a partir da imagem para o suporte informático, que analisará pormenorizadamente as características geométricas da peça [7]. No que respeita ao processo de medição, este pode ser estático ou dinâmico, como indica a Tabela 19.

Tabela 19 - Processos de medição [7]

Medição estática - A peça fica imóvel, sendo realizada apenas a projeção do seu perfil. Este processo contempla principalmente a medição e localização de diâmetros, comprimentos, pontos ou linhas de interseção, raios, ângulos e alinhamentos de eixos

Medição dinâmica - Baseia-se na rotação da peça, o que permite uma medição e digitalização rápida dos seus elementos geométricos e da sua forma, com elevada precisão. Contempla a medição da concentricidade, circularidade, cilindridade e ovalização. Conseguem-se ainda resultados de diâmetro máximo, mínimo e médio, assim como perpendicularidade e simetria em relação a um eixo.

Após a digitalização de uma peça (Figura 16), a nuvem de pontos resultante é registada e, em seguida, segmentada de acordo com as suas superfícies. Depois de segmentada pode ser intercalada com o modelo CAD - *Computer-Aided Design* - e analisar, de forma rápida, através de uma interface gráfica, os defeitos da peça. Pode ainda ser escolhida uma superfície de interesse, para verificar se está dentro da tolerância previamente definida [20].



Figura 16 - Scan 3D [59]

Com auxílio do *software* adequado, podemos ainda ter uma interface gráfica, resultando na criação de peças por computador. Utiliza a representação gráfica do perfil da peça criado por digitalização, ou importando a geometria de um ficheiro CAD. Pode ainda registar todas as tolerâncias ou parâmetros numa base de dados para maior funcionalidade, e comparar os dados obtidos com os elementos do desenho.

Uma nuvem de pontos é um conjunto de pontos de dados num sistema de coordenadas tridimensional, no qual esses pontos são definidos pelas coordenadas x , y e z . A estrutura de uma nuvem de pontos é uma simples matriz n por 3, onde n é o número de pontos e 3 são os valores x , y e z . Em alguns casos, a matriz inclui vetores $(i, j$ e $k)$ normais, e informações RGB- *Red, Green, Blue* [21].

O sistema de medição ótico, uma vez que não carece de contacto para a medição, não origina deformações nas superfícies da peça e permite a medição de elementos em pequenas superfícies com grande detalhe e de difícil acesso. As principais desvantagens

recaem sobre garantir leituras constantes quando efetuadas pelo mesmo técnico e uniformes quando a medição é realizada por diferentes técnicos. A variação de resultados na medição, pelos motivos referidos, é a principal causa deste sistema apresentar incertezas de medição mais elevadas do que as obtidas com o sistema de medição por contacto.

2.2.2.3 *Projektor de perfis*

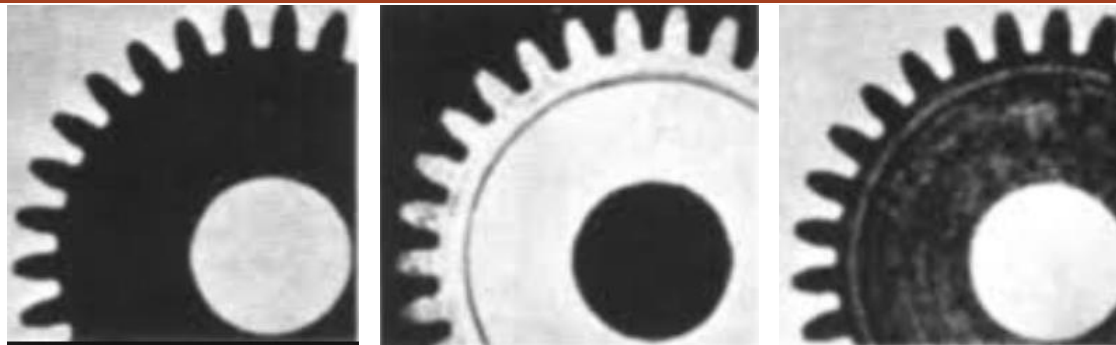
O projetor de perfis (Figura 17) destina-se principalmente a peças de reduzida dimensão e/ou forma que não permite realizar a medição de um elemento. Foi essencialmente concebido para a medição de perfis, superfícies de peças planas e de peças de revolução. É também utilizado para verificar roscas e rodas dentadas.

Geralmente os projetores de perfis têm incorporado um microscópio com várias objetivas (Ex: 10x, 20x, 50x e 100x) e seleciona-se a mais adequada para a dimensão da peça e resolução final pretendida.



Figura 17 - Projetor de perfis

O funcionamento deste instrumento baseia-se na projeção de luz na superfície da peça, permitindo a projeção do seu perfil ou da sua superfície numa tela de vidro. Nessa tela de vidro, podem ser montados escantilhões ou telas em acetado transparentes com as formas pretendidas e com os limites de tolerância desenhados, o que retorna um controlo rápido e eficiente do estado da peça [7].



Diascópica

Episcópica

Mista

Figura 18 - Sistemas de iluminação/projeção [22]

O sistema de iluminação diascópica (Figura 18) permite visualizar apenas o perfil da peça. É utilizado maioritariamente na verificação de peças com contornos especiais como engrenagens, roscas ou ferramentas.

Nos sistemas de iluminação episcópica (Figura 18), a iluminação incide de forma concentrada na peça que será projetada, permitindo visualizar na tela de vidro os

detalhes da superfície, incluindo os relevos. É utilizado principalmente em peças prensadas, circuitos impressos, gravações e acabamentos superficiais.

O sistema de iluminação mista (Figura 18) será então a combinação dos dois anteriores.

2.2.2.4 Rugosímetro

Com o processo de maquinagem, a superfície da peça tende a ficar com irregularidades micro-geométricas, que correspondem à sua rugosidade. Sendo este um aspeto crítico e de grande importância, o seu controlo e comparação de resultados com o que é especificado no desenho técnico é vital. Para o efeito, pode ser utilizado um aparelho eletrónico específico – rugosímetro (Figura 19).



Figura 19 - Rugosímetro [60]

É um equipamento versátil, robusto e compacto. Devido à grande variedade de estados de superfície (acabamento superficial), existem também muitas opções de apalpadores no que respeita à forma e resistência ao desgaste.

O princípio de funcionamento baseia-se na deslocação do apalpador sobre a superfície a verificar. Os movimentos do apalpador são captados por sensores eletrónicos que ampliam e convertem os sinais, permitindo a apresentação da rugosidade em gráficos ou parâmetros de rugosidade em dígitos, podendo esta ser analógica ou digital. Estes equipamentos podem fornecer apenas a leitura dos parâmetros da rugosidade (geralmente utilizado na produção), ou então, para além da leitura, permitem o registo de dados de acordo com as características ou parâmetros selecionados e, em certos casos, a análise estatística de uma série de medições (uso mais frequente no laboratório de metrologia).

O rugosímetro é constituído por: apalpador, patim, unidade de acionamento, amplificador e registador (em alguns casos).

2.2.3 Aplicação de sistemas avançados de controlo na maquinagem

Serão de seguida abordadas as componentes que permitem o controlo dimensional durante a maquinagem, bem como sistemas que permitem melhorar a qualidade da maquinagem e sistemas de preparação de ferramentas.

2.2.3.1 Sondas para máquinas

Em meados da década de 1970, os utilizadores de máquinas teriam beneficiado da utilização de apalpadores (sondas), criados pela empresa Renishaw. De seguida, na década de 1980, iniciaram a medição automática com apalpador para a preparação e inspeção durante o ciclo produtivo [23].

Estes apalpadores (Figura 20), também conhecidos como apalpadores por contacto, utilizam interruptores que são ativados quando existe contacto entre a ponta do apalpador e a peça a ser medida. Assim que o apalpador entra em contacto com a peça, envia um sinal para o comando, através de uma interface, que por sua vez captura automaticamente as coordenadas da máquina [23].

Os apalpadores são úteis para efetuar medições antes, durante e após a maquinação.

As medições, antes de se iniciar a maquinação, trazem vantagens na definição do zero-peça, ao indicar as coordenadas exatas do produto a maquinar. Nesta etapa, o apalpador pode ser substituído pelo relógio comparador (Tabela 17). Assim, o operador deverá passar o comparador ao longo de todo o comprimento do mordente e alinhar a prensa, até que o desvio da agulha seja próximo de zero. Com o comparador, e tendo em conta que ao longo dos tempos as máquinas sujeitam-se a folgas e desvios, o erro associado diminui, uma vez que se trabalha com os eixos da máquina individualmente. As medições durante a maquinação (Figura 21 e Figura 22) permitem recolher informações das operações já realizadas, e comprovar se estão dentro dos limites de tolerância, ou se é necessário recorrer a uma correção dos desvios existentes. Por último, as medições após a maquinação devem garantir que todos os elementos cumprem os requisitos de toleranciamento estabelecidos.



Figura 20 - Apalpador [23]



Figura 21 - Medição durante o processo num centro de maquinação vertical [23]

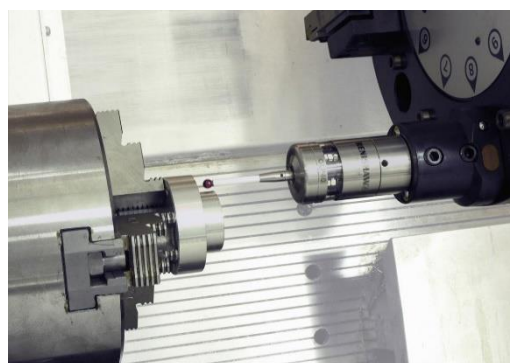


Figura 22 - Medição durante o processo num torno [23]

Todos os tamanhos e configurações de máquinas podem beneficiar de medição com apalpadores, desde centros de maquinagem a máquinas de furação.

Atualmente, a medição com apalpadores é a melhor prática estabelecida para maximizar a eficiência, qualidade, capacidade e exatidão em máquinas, e ainda [24]:

- Automatizar processos de medição;
- Aumentar a produtividade;
- Melhorar a conformidade e a consistência;
- Reduzir os custos por unidade;
- Diminuir os tempos de *set-up*.

2.2.3.2 *Calibração da ferramenta da máquina*

Dentro dos vários elementos que impulsionam uma boa maquinagem, a tecnologia para calibração da ferramenta tem acompanhado a evolução. A calibração das ferramentas é um processo de determinação da geometria, como comprimento, raio e/ou diâmetro de uma ferramenta de corte, utilizando uma sonda de calibração e *software* adequado para o efeito. O uso desta tecnologia tem o objetivo de [25]:

- Eliminar os erros humanos (face ao ajuste manual);
- Reduzir o tempo não produtivo;
- Detetar falhas nas ferramentas;
- Detetar os desvios da ferramenta e efetuar compensações dimensionais automaticamente.

Desde já se pode distinguir os sistemas de preparação de ferramentas, dependendo da tecnologia utilizada. Ambos os sistemas estão capacitados para verificar quebras ou deficiências nas ferramentas de corte [25].

- **Sistema para calibrar ferramentas por contacto**

Como o próprio nome indica, este sistema de medição automática das ferramentas por contacto requer um toque físico entre o dispositivo e a ferramenta. Seguidamente estão apresentadas duas imagens distintas de sistemas de medição automáticos. Embora ambos necessitem de contacto, na Figura 23 está presente uma sonda de toque para fresadoras, enquanto o braço de alta precisão da Figura 24 se adapta somente aos tornos CNC. O braço de alta precisão para tornos, pode ser fixo ou amovível [26].



Figura 23 - Sonda de toque zero ferramenta em fresadora [23]

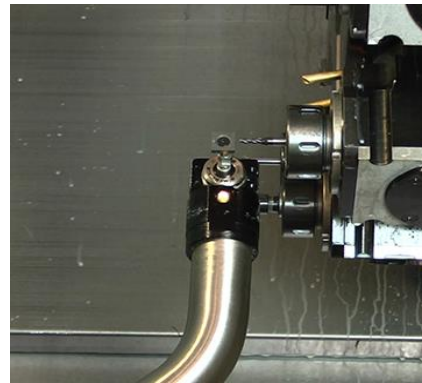


Figura 24 - Braço de alta precisão para zero ferramenta em tornos [23]

Em análise, o sistema de calibração por contacto oferece vantagens e desvantagens (Tabela 20) [25].

Tabela 20 - Vantagens e desvantagens do sistema por contacto [25]

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Repetibilidade e exatidão de ferramenta a ferramenta; • Robustez em ambientes agressivos de máquina; • Excelente relação custo-benefício; • Pode medir em diferentes orientações; • Disponível com transmissão ótica; • Pode medir diâmetros e comprimentos de ferramentas rotativas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pode defletir em ferramentas muito pequenas; • Não efetua verificação de fios de corte complexos; • Normalmente é montado sobre a mesa.

- **Sistema para calibrar ferramentas sem contacto**

O princípio de funcionamento deste sistema consiste na emissão de um feixe ótico (laser) que deteta a presença de ferramenta ao ser interrompido. Este sistema pode ser um único conjunto (transmissor – recetor), como o da Figura 25, ou em separado, com o recetor e o transmissor individuais

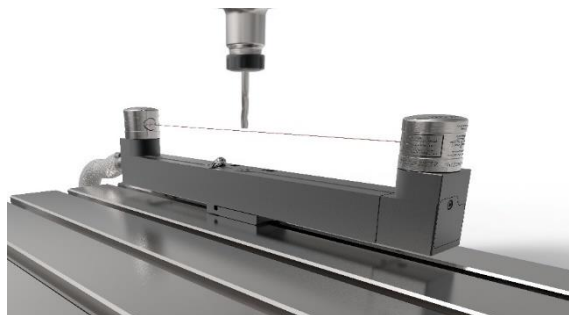


Figura 25 - Calibrador de ferramenta sem contacto (laser) [27]

A Tabela 21 aborda os pontos fortes (vantagens) e os pontos fracos (desvantagens) da tecnologia laser aplicada à calibração de ferramentas.

Tabela 21 - Vantagens e desvantagens do sistema sem contacto [27]

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Não deflete ferramentas muito pequenas; • Mede em altas rotações; • Proteção permanente do sistema ótico; • A verificação do fio de corte deteta lascagem; • É possível a medição em vários pontos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mais caros do que os sistemas por contacto; • Instalação mais complexa; • Ambientes agressivos e impurezas podem causar problemas de aplicação e erros de medição nos sensores óticos.

2.2.3.3 *Dinamómetro para medição da força de corte*

Durante os processos de maquinagem, a fim de alcançar uma elevada produtividade e melhor qualidade de superfície, e com o aparecimento de problemas como vibrações, sobrecarga e desgaste das ferramentas, é necessária a monitorização e resolução dos problemas. As forças de corte revelam ser o melhor indicador para controlar estes problemas [28].

Os sinais fornecidos pelos sensores de força de corte têm sido extensivamente aplicados para avaliar a maquinagem dos materiais, prever a quebra e estimar o desgaste da ferramenta de corte, determinar parâmetros de corte estáveis e ainda melhorar o acabamento superficial [29].

O dispositivo apresentado na Figura 26 é um dinamómetro para medição da força de corte da marca Kistler e utiliza tecnologia piezoelétrica. Esta tecnologia apresenta as seguintes vantagens [30]:

- Grande intervalo de medição;
- Elevada linearidade;
- Possibilidade de medição de pequenas forças;
- Fornece uma construção rígida aos dinamómetros;
- Permite altas frequências.

Seguindo os princípios de que no torneamento a peça de trabalho executa o movimento de rotação e a ferramenta executa o movimento de avanço, para a medição das forças resultantes do corte é necessária a utilização de um dinamómetro estacionário, representado na Figura 27. Estes dinamómetros são modulares e são geralmente montados na torre da máquina-ferramenta, com o auxílio de um adaptador adequado. Fica então, a ferramenta de corte fixa ao dispositivo, através de um suporte.



Figura 26 - Dinamómetro de força de corte para fresagem [62]

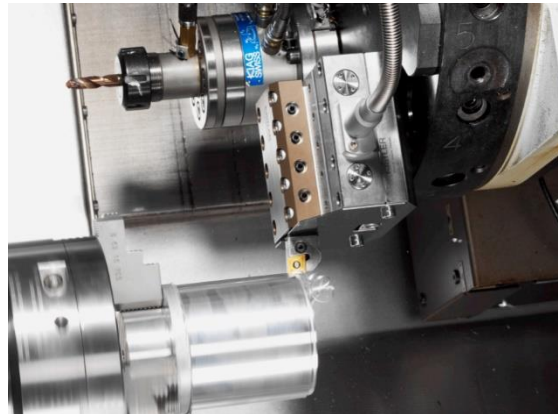
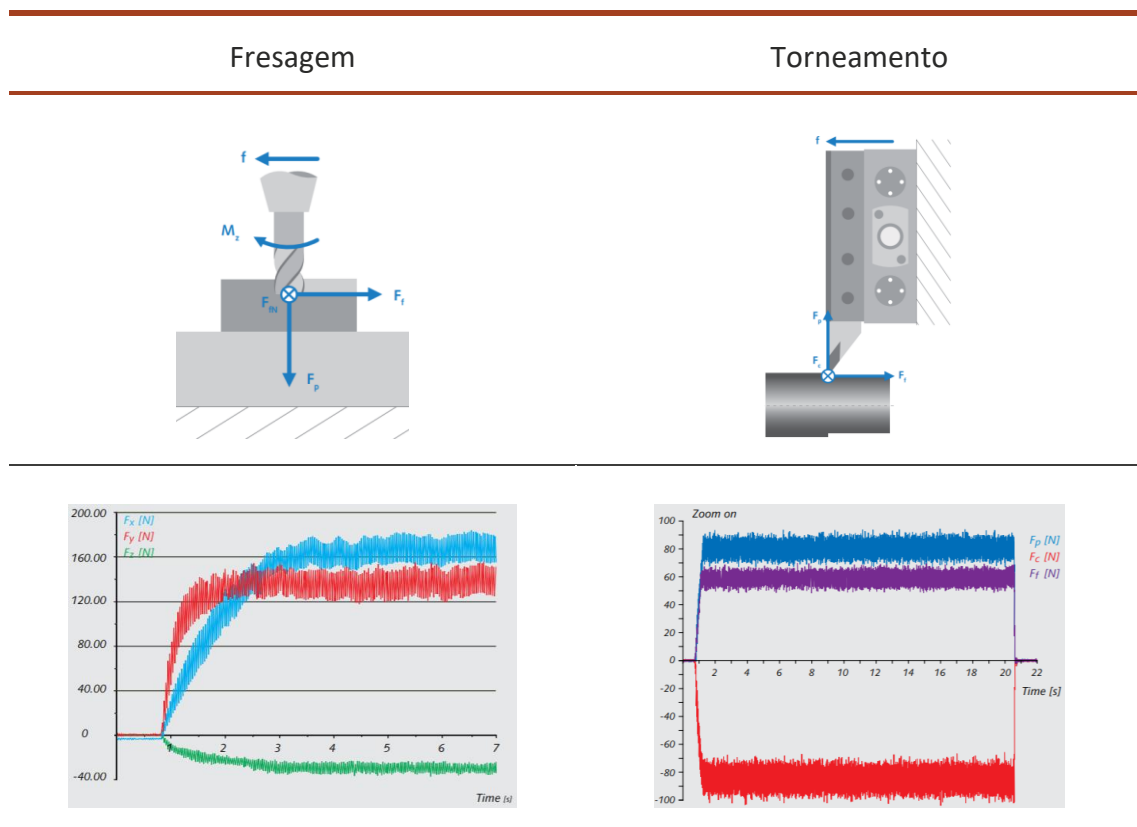


Figura 27 - Dinamómetros estacionários para torneamento [30]

Com o auxílio de *software* específico, a força de corte criada é dividida em três componentes (F_x , F_y , F_z). A Tabela 22 apresenta os resultados tipicamente obtidos durante o processo de fresagem e torneamento [30].

Tabela 22 - Forças atuantes e resultados da fresagem e torneamento [30]



2.2.4 Ferramentas da qualidade

2.2.4.1 Fluxogramas

Os fluxogramas (Figura 28) representam graficamente os elementos, componentes ou tarefas relacionadas com um determinado processo.

Esta ferramenta torna-se útil para propósitos documentais e, através de símbolos normalizados, permite um entendimento dos processos e relações de dependência entre os diversos passos.

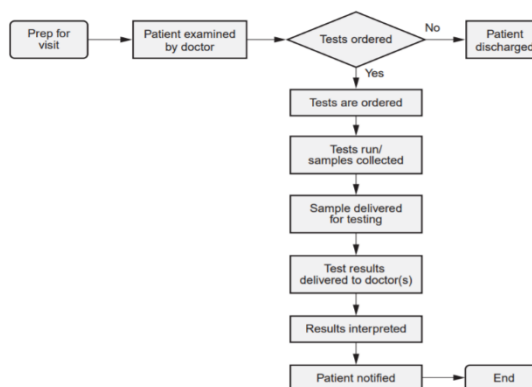


Figura 28 - Fluxograma de diagnóstico [31]

Os fluxogramas podem ser preparados de forma a que os seus leitores ou utilizadores consigam, de forma eficaz, interpretá-lo, sem lhes ser familiar o processo específico ou respetiva terminologia. Da mesma forma, pode ser construído de um modo mais detalhado, cujo grau de complexidade irá exigir um conhecimento aprofundado da matéria em questão [31].

2.2.4.2 Diagramas de Pareto

O diagrama de Pareto (Figura 29) permite identificar os elementos essenciais que contabilizam a frequência relativa da base de dados, separando estes dos restantes elementos (não essenciais), tendo por base a “regra 80/20”²

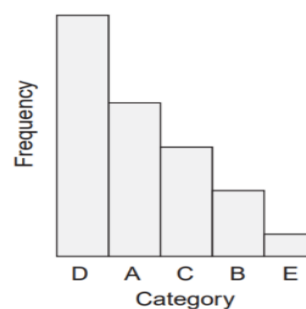


Figura 29 - Diagrama de Pareto [31]

² “Regra 80/20” utilizada pelo economista Italiano Vilfredo Pareto para explicar o fenómeno económico e posteriormente adaptada para fins qualitativos por Juran and Gryna (1980). Através desta regra, os utilizadores conseguem identificar que em aproximadamente 20% dos fatores se encontram aproximadamente 80% dos problemas [31].

2.2.4.3 Diagramas de causa e efeito

Também conhecido por “espinha de peixe” ou diagrama de Ishikawa, o diagrama de causa e efeito (Figura 30) permite uma análise gráfica aos fatores (ou causas) que se relacionam com um determinado problema ou oportunidade (efeito). Geralmente utilizado para solucionar problemas, permite identificar os fatores que podem estar na origem dos problemas nos mais diferentes níveis, compreendendo assim como os fatores podem justificar o resultado obtido [31].

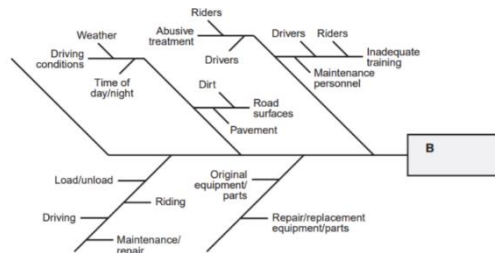


Figura 30 - Exemplo de diagrama de causa e efeito [31]

2.2.4.4 Histogramas

Os histogramas (Figura 31) retratam graficamente a frequência com que ocorre determinado evento, onde as ocorrências são classificadas em categorias de determinados intervalos, contidos ao longo uma escala continua. Estes tornam perceptível a distribuição das ocorrências pelas várias colunas e categorias.

São utilizados quando é relevante entender de que forma um grupo específico de dados está distribuído [31].

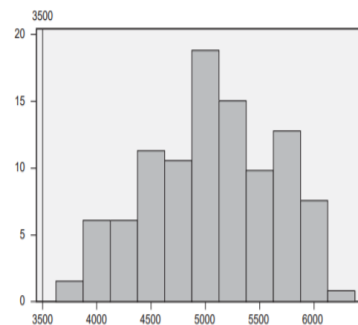


Figura 31 - Histograma [31]

2.2.4.5 “Check-lists” ou listas de comprovação

As “check-lists” (Figura 32), ou também conhecidas por “check-sheets”, permitem organizar em forma de gráfico, uma contagem dos eventos ocorridos. Exemplos de eventos poderão ser não conformidades. Esta ferramenta irá fornecer, com pouco rigor, o número de defeitos ocorridos durante determinado processo, e a fase crítica do processo [31].

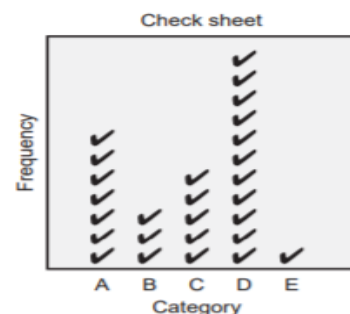


Figura 32 - Check-lists [31]

2.2.4.6 Diagramas de dispersão

Este tipo de diagramas representa graficamente relações entre duas variáveis. É utilizado para analisar dados quantitativos e perceber de que forma as variáveis estão ou não correlacionadas.

A Figura 33 apresenta três possíveis relações identificadas nos diagramas de dispersão. No exemplo A é visível que o aumento de y pode depender de um aumento em x . Já no caso B não mostra qualquer relação entre x e y . Por último, em C, a diminuição dos valores em y pode depender de um aumento em x [31].

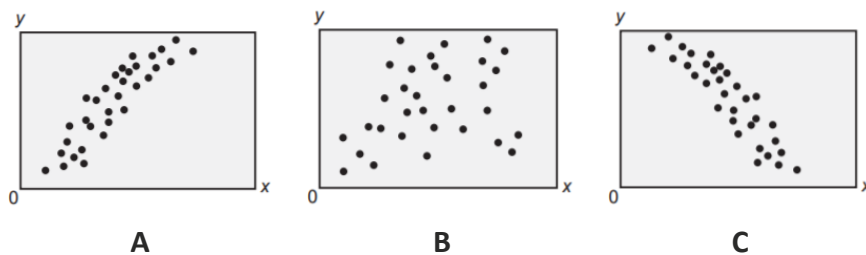


Figura 33 - Três possíveis relações identificadas nos diagramas de dispersão [31]

2.2.4.7 Gráficos ou cartas de controlo

Os gráficos de controlo (Figura 34) são utilizados com o intuito de perceber como varia determinado processo ao longo do tempo. Este tipo de gráficos é constituído por uma linha central e uma linha horizontal superior e inferior, que representam, respetivamente, o limite superior de controlo (UCL³) e o limite inferior de controlo (LCL⁴).

Deste modo, comparando os dados atuais com os limites de controlo existentes, consegue-se retirar conclusões quanto à variação do processo. Ou seja, caso todos os pontos estejam dentro dos limites de controlo, o processo é considerado controlado, e nenhuma ação é necessária. Por outro lado, se existirem pontos fora dos limites, é interpretado como um processo fora de controlo, o que traduz a necessidade de uma ação corretiva para eliminar as causas que originam este problema [32].

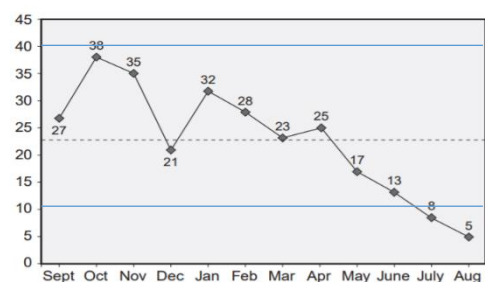


Figura 34 - Gráfico de controlo [31]

³ UCL – Upper Control Limit

⁴ LCL – Lower Control Limit

2.2.4.8 Diagrama de Venn

Criados por John Venn, matemático inglês, os diagramas de *Venn* (Figura 35) facilitam a visualização das relações de união e intersecção entre diversos conjuntos. Permitem analisar e organizar dados obtidos em pesquisas [33]

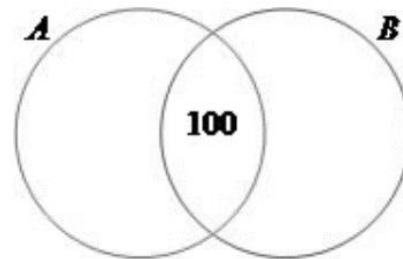


Figura 35 - Diagrama de *Venn* [33]

2.2.4.9 Regra 1-10-100

G. Loabovitz e Y. Chang criaram, em 1992, um conceito conhecido como regra 1-10-100.

Esta regra tem como finalidade mostrar que os gastos envolvidos em prevenção são inferiores aos gastos de correção, que por sua vez são bastante inferiores aos custos de falhas. Com esta regra, é possível concluir que, quanto mais tarde for detetada uma falha de não qualidade, maior será o impacto sentido pela empresa. Desta forma, as não conformidades detetadas pela cliente (falhas externas), têm um impacto mais acentuado do que as falhas detetadas internamente (falhas internas) (Figura 36), uma vez que já está num ponto mais avançado do fluxo [34].

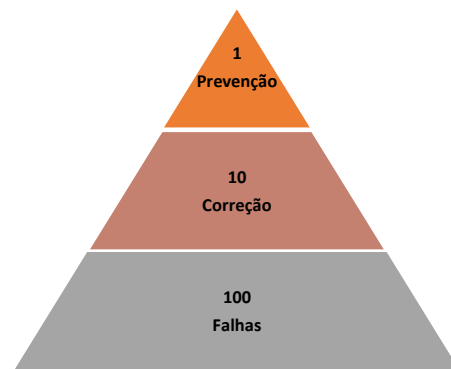


Figura 36 - Regra 1-10-100 Adaptado de [34]

2.2.5 Estatística ligada ao controlo de qualidade

Para realização do controlo de qualidade, a estatística revela-se fundamental, uma vez que nos permite a análise de resultados e, conseqüentemente, alcançar conclusões para efeitos de tomada de decisão.

2.2.5.1 Inspeção por amostragem

A inspeção é uma operação que envolve custos significativos e não acrescenta valor ao produto. Dessa forma, é fundamental que a inspeção esteja bem organizada e seja executada de uma forma correta.

Os planos de amostragem podem ser usados num programa de controlo de qualidade com o intuito de aumentar a qualidade e, em simultâneo, com um custo inferior, um controlo aperfeiçoado e um aumento da produtividade. A conformidade de um lote pode ser com a inspeção de cada unidade (Inspeção de 100%) ou então, inspecionando uma amostra ou parte do lote. A inspeção por amostragem foca-se principalmente na economia, embora apresente mais vantagens e desvantagens (Tabela 23) [17].

Tabela 23 - Vantagens e desvantagens da amostragem

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Economia, uma vez que apenas se inspeciona parte do produto; • Menos danos de utilização durante a inspeção; • Menos inspetores, simplificando assim o problema de recrutamento e formação; • O trabalho de inspeção peça a peça passa para decisões lote a lote; • Aplicação dos testes destrutivos com um nível quantificado de garantia de qualidade do lote; • Rejeição de lotes inteiros em vez dos únicos defeituosos, proporcionando assim motivação para a melhoria. 	<ul style="list-style-type: none"> • Risco de aceitar lotes maus e rejeitar lotes bons; • Necessita de planeamento e documentação adicional; • A amostra geralmente apresenta menos informações sobre o produto do que a inspeção a 100%;

A inspeção por amostragem num sistema de controlo de qualidade, garante que muitos produtos estão aceitáveis para uso. Para o efeito, assume-se que os produtos são construídos por fornecedores honestos, conscientes e capazes. Caso contrário, a inspeção por amostragem deverá ser descontinuada [17]. Segundo Montgomery [32], quanto maior for a amostra, mais fácil será detetar pequenas alterações que ocorram no processo.

Os planos de amostragem podem ser ainda classificados em duas categorias: planos de atributos e planos de variáveis. Nos planos de atributos, uma amostra é retirada e cada unidade é classificada como conforme e não conforme. No fim, o número de unidades conformes é comparada com as indicações do plano e é tomada a decisão de aceitação. No plano de variáveis, uma amostra é retirada e uma medição de uma característica de qualidade especificada é feita em cada unidade. É realizada uma estatística simples com essas medições, e o valor observado é comparado com o valor permitido, definido no plano. Assim, é tomada a decisão de aceitar ou rejeitar o lote.

Os planos de amostragem podem ser divididos em diferentes grupos: simples, duplos ou múltiplos. Tomando como exemplo a situação “número de itens defeituosos na amostra”, no plano simples é retirada uma amostra de dimensão n , do lote de tamanho N , e o lote é aceite se o número de itens defeituosos (d) for menor ou igual ao número de aceitação estabelecido (A_c). Caso contrário, o lote é rejeitado ($d \geq R_e$). Nos planos de dupla amostragem existe, de igual forma, uma inspeção a uma primeira amostra. Caso a primeira amostra não seja conclusiva, a decisão de ser aceite ou rejeitada pode acontecer só depois da inspeção de uma segunda amostra. No caso da amostragem múltipla, é uma extensão da amostragem dupla, em que uma amostra pode ser suficiente, ou então, pelo menos três amostras serão necessárias.

2.2.5.2 Cartas ou gráficos de controlo

São gráfico com limites de controlo superiores e/ou inferiores, nos quais os valores de alguma medida estatística para uma série de amostras ou subgrupos são colocados, geralmente em ordem ao tempo ou do número da amostra. É normal estes gráficos terem uma linha central para auxiliar na deteção de uma tendência de valores [17].

Muitos resultados das características da qualidade podem ser expressos por um valor numérico, como resultado de uma medição, ou então pode-se ter resultados expressos em termos de contagem, como efeito da inspeção de unidades da amostra. Surgem então os gráficos de controlo por variáveis e gráficos de controlo por atributos, respetivamente:

- Gráficos de controlo por variáveis

Uma única característica da qualidade mensurável, como uma medição, peso ou volume, é chamada de variável, pressupondo-se que os valores medidos são estatisticamente independentes e provenientes de uma população com distribuição normal. Quando se lida com uma variável, geralmente torna-se necessário verificar o valor médio da característica, e determinar a sua variabilidade. Assim, a variabilidade do processo pode ser observada com um gráfico das médias das amostras (Figura 37), gráfico dos X, ou com um gráfico de controlo para o desvio padrão, chamado gráfico de controlos, ou então com um gráfico de controlo para o intervalo, chamado gráfico de controlo R.

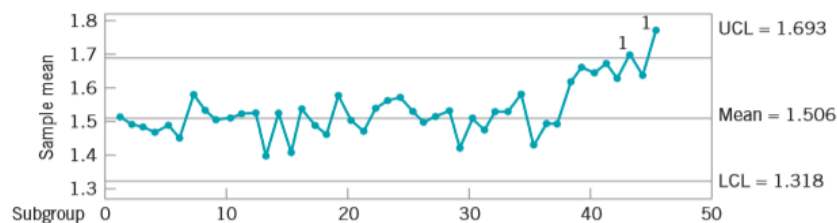


Figura 37 - Gráfico de controlo das médias [32]

As fórmulas para determinar os limites de controlo são as seguintes (Tabela 24):

Tabela 24 - Fórmulas dos gráficos de controlo por variáveis [39]

Tipo de carta de controlo	Limite de controlo superior (UCL), Limite central (CL) Limite de controlo inferior (LCL)	
\bar{X}	$UCL = \bar{X} + A_2 \bar{R}$ $CL = \bar{X}$ $LCL = \bar{X} - A_2 \bar{R}$	\bar{X} = valor médio do subgrupo, total/n.º unid. $\bar{\bar{X}}$ = valor médio de \bar{X} A_2 = valor tabelado
R	$UCL = D_4 \bar{R}$ $CL = \bar{R}$ $LCL = D_3 \bar{R}$	R = amplitude = Máx. - Min \bar{R} = Média das amplitudes R D_3 e D_4 = valor tabelado
X	$UCL \equiv \bar{X} + 2.66R_s$ $CL = \bar{X}$ $LCL \equiv \bar{X} - 2.66R_s$	X = valor individual \bar{X} = valor médio R_s = amplitude móvel = $R_i - R_{i-1}$ \bar{R}_s = média das amplitudes móveis R_s

NOTA: Apenas os valores X são registados no gráfico; \bar{R}_s é apenas utilizado para cálculos dos limites de controlo

- Gráficos de controlo por atributos:

Este tipo de gráficos são mais utilizados quando o resultado da inspeção das unidades da amostra provêm de um processo de contagem, do género conforme e não conforme. Os gráficos de controlo por atributos geralmente não são tão informativos quantos os gráficos de variáveis, porque normalmente há mais informações numa medida numérica do que a simples classificação de uma unidade como conforme ou não-conforme. Dentro dos gráficos de controlo por atributos, existem quatro tipos de gráficos [32]:

- Gráfico de controlo para a fração não-conforme (p);
- Gráfico de controlo para o número de itens não conformes (np);
- Gráfico para o número total de defeitos por unidade (c);
- Gráfico para o número médio de defeitos por unidade (u).

As fórmulas para determinar os limites de controlo por atributos são as seguintes (Tabela 25):

Tabela 25 - Fórmulas dos gráficos de controlo por atributos [39]

pn	$UCL \equiv \bar{p}n + 3\sqrt{\bar{p}n(1 - \bar{p})}$	Ver p
	$CL = \bar{p}n$	
p	$UCL \equiv \bar{p} + 3\sqrt{\bar{p}(1 - \bar{p})/n}$	p = % de unidades defeituosas por cada grupo \bar{p} = % de unidades defeituosas/ total de unidades n = n.º de leituras por subgrupo
	$CL = \bar{p}$	
c	$UCL \equiv \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$	c = n.º de defeitos por subgrupo \bar{c} = valor médio do número de defeitos por subgrupo = n.º de defeitos / total
	$CL = \bar{c}$	
u	$UCL \equiv \bar{u} + 3\sqrt{\bar{u}/n}$	u = n.º de defeitos por unidade \bar{u} = valor médio do número de defeitos por unidade
	$CL = \bar{u}$	
	$UCL = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$	

2.3 Garantia de qualidade na maquinaria de peças

A qualidade não poderá ser entendida como mais uma etapa do processo produtivo, mas sim como uma etapa fundamental. A qualidade de cada peça tem de estar assegurada e planeada desde o início da produção.

2.3.1 Ferramentas usadas na garantia da qualidade

Para assegurar a qualidade, surgem diversas ferramentas que permitem avaliar e prever o comportamento de cada peça em termos de qualidade, bem como perceber até que ponto a mesma irá corresponder às expectativas e necessidades do cliente.

2.3.1.1 QFD - Quality Function Deployment

Aos longos dos anos, o QFD - *Quality Function Deployment*, em português conhecido como desdobramento da função qualidade, provou ser uma ferramenta fundamental para ajudar a mapear os requisitos subjetivos do cliente em critérios objetivos para o desempenho do processo. Inicialmente, os requisitos são traduzidos num pequeno número de parâmetros objetivos, que são posteriormente traduzidos em requisitos nas etapas do processo [17].

Segundo a ASQ - *American Society for Quality* - o QFD (Figura 38) é uma poderosa técnica de planeamento, talvez a mais abrangente para o planeamento da qualidade. Seguindo as definições e conceitos do QFD, existem seis termos associados ao mesmo [35]:

1. *Quality function deployment* – Fornece um meio de traduzir os requisitos do cliente, nos requisitos técnicos apropriados para cada estágio de desenvolvimento e produção do produto;
2. *The voice of the customer (VOC)* – Os requisitos do cliente expressos nos seus próprios termos;
3. *Counterpart characteristics* – A voz do cliente em linguagem técnica, que especifica a qualidade exigida;
4. *Product quality deployment* - Atividades necessárias para traduzir a voz do cliente em características equivalentes;
5. *Deployment of the quality function* – Atividades necessárias para assegurar que a qualidade requerida pelo cliente é alcançada. Atribuição de responsabilidades específicas de qualidade a departamentos específicos;
6. *Quality tables* – Matrizes usadas para traduzir a voz do cliente em características de controlo do produto final.

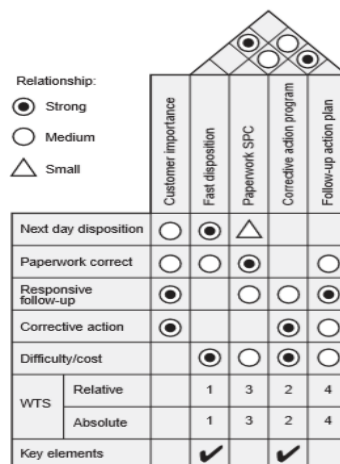


Figura 38 - Exemplo QFD [31]

2.3.1.2 FMEA

FMEA - *Failure Mode and Effect Analysis* (Figura 39) foi introduzido em 1949 pelo exército dos EUA, para estudar problemas que poderiam surgir do mau funcionamento dos sistemas militares. Até aos dias de hoje, sofreu várias melhorias [36]. Esta ferramenta tem por fim garantir a identificação de todos os modos de falha e causa correspondentes, associados a um projeto ou processo.

Item/Function	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	S E V	Potential Cause(s) of Failure	O C C	Current Design Controls (Prevention)	Current Design Controls (Detection)	D E T	R P N	Recommended Actions
Hand Brake S/S: Provides the correct level of friction between brake pad assembly and wheel rim to safely stop bicycle in the required distance, under all operating conditions.	Insufficient friction delivered by hand brake subsystem between brake pads and wheels during heavy rain conditions.	Bicycle wheel does not slow down when the brake lever is pulled potentially resulting in accident.	10	Cable Binds due to inadequate lubrication or poor routing	4	Hand Brake Design Guide #123	Bicycle system durability test # 789	2	80	Redesign hand brake cable routing to reduce friction and make system insensitive to lubrication degradation
				External foreign material reduces friction	2			3	60	Modify bicycle durability testing to include periodic brake cable checks for binding
				Cable breaks	6	Cable material selection based on ANSI #ABC.	Bicycle system durability test # 789	4	240	Require cable DFMEA/PFMEA from cable supplier approved by All-Terrain FMEA team.
				Brake Lever breaks	1	Hand Brake Design Guide #123	Bicycle system durability test # 789	1	10	Based on results of Cable DFMEA, develop cable strength test and modify cable design to improve strength
				Selected brake pad material does not apply required friction to wheel	2			2	40	

Figura 39 - FMEA (S - índice de severidade; O - índice de probabilidade de ocorrência, D - índice de detecção)

2.3.1.3 *Análise do sistema de medição*

A análise do sistema de medição consiste em qualificar o processo de medição, determinar a adequação do sistema de medição para o uso, e identificar e estimar o erro do processo. Um sistema de medição é todo o processo para obter medições em alguma característica de qualidade de interesse.

O erro do sistema de medição consiste na variabilidade que pode ser atribuída à tendência do instrumento de medição, estabilidade, linearidade, repetibilidade e reprodutibilidade. A precisão de um sistema de medição é composta pela tendência, linearidade e estabilidade. A repetibilidade e reprodutibilidade são os componentes que descrevem a precisão ou variação de medição.

Tendência (Figura 40) - Também conhecida como precisão, é o grau de concordância das medições individuais ou médias com um valor de referência aceite [37].

Surge então como a diferença entre o valor ou média dos valores medidos e o valor de referência, sendo esta a medida do erro sistemático do sistema de medição. Este erro tende a compensar de forma consistente e previsível todos os resultados de aplicações repetidas do mesmo processo de medição [38].

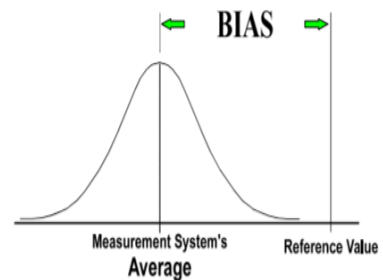


Figura 40 - Tendência [38]

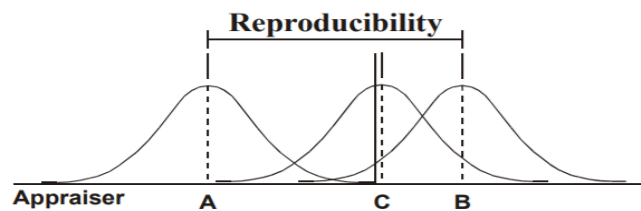


Figura 44 - Reprodutibilidade [38]

Repetibilidade e Reprodutibilidade (R&R) – Os estudos de repetibilidade e reprodutibilidade de medições (R&R) são utilizados para determinar se o sistema de medição é capaz para o propósito pretendido. Se a variação do sistema de medição for pequena, em comparação com a variação do processo, o sistema de medição será considerado capaz. Em geral, os propósitos de um estudo de medição R&R são [31]:

- Determinar a quantidade de variabilidade nos dados coletados, que podem ser atribuídos ao sistema de medição em vigor;
- Isolar fontes de variabilidade no sistema de medição;
- Determinar se o sistema de medição é adequado para uso em projeto mais amplo.

GRR é uma estimativa da variação combinada de repetibilidade e reprodutibilidade. Pode ser calculada segundo a equação (2.3).

$$\sigma_{GRR}^2 = \sigma_{Reprodutibilidade}^2 + \sigma_{Repetibilidade}^2 \quad (2.3)$$

2.3.1.4 Capacidade do processo

O objetivo de um estudo de capacidade, é determinar se um processo é capaz de cumprir certos requisitos. A capacidade de um processo é, frequentemente, investigada em relação a determinadas especificações e, em teoria, um estudo da capacidade do processo deve ser realizado para cada dimensão do produto e todas as características da qualidade. Na prática, as pessoas mais familiarizadas com o processo, geralmente são capazes de identificar as poucas características que necessitam de uma capacidade total [31].

Vários índices foram desenvolvidos para quantificar a capacidade do processo. Os requisitos de estabilidade e normalidade, devem ser cumpridos para que estas medidas sejam eficazes. Assim, a avaliação da capacidade do processo é realizada através dos seguintes índices: C_p e C_{pk} . O índice C_p indica a dispersão inerente ao processo, enquanto o índice C_{pk} indica o ajuste e a dispersão do processo [39].

Os índices normais de capacidade de processo utilizados com distribuições normais, são calculados segundo as equações apresentadas na Tabela 26.

Tabela 26 - Índice da capacidade de processo [39]

Processo com Média \bar{X} , Desvio Padrão σ e Especificação	Índice de Capacidade do Processo
Superior (USL) e Inferior (LSL)	$C_p = \frac{USL - LCL}{6\sigma}$ $C_{pk} = \text{Mínimo de}$ $\frac{USL - \bar{X}}{3\sigma} \quad e \quad \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma}$
Superior (USL)	$C_p = \frac{USL - \bar{X}}{3\sigma}$
Inferior (LSL)	$C_p = \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma}$

Depois de definidos ambos os índices, o resultado é avaliado segundo a Tabela 27.

Tabela 27 - Análise da capacidade de processo [39]

Análise da capacidade de processo	
$1.33 \leq C_p$ (ou C_{pk})	Adequado
$1.0 \leq C_p$ (ou C_{pk}) < 1.33	Satisfatório
C_p (ou C_{pk}) > 1.00	Inadequada

2.3.1.5 Planos de controlo

O plano de controlo é o elo final dentro de uma cadeia contínua, que começa com o *design* do FMEA. Estes são usados para documentar e comunicar o plano de monitorização e controlo do processo. O plano de controlo sintetiza informações de várias fontes num único documento, prático para referência rápida na linha de produção.

Para o efeito, os planos de controlo devem incluir os seguintes elementos [31]:

- Número de operações e descrição do processo;
- Máquinas, equipamentos ou acessórios;
- Número de desenhos de referência;
- Características do produto ou processo a ser controlado (incluindo tolerâncias);
- Método de avaliação (medidores, sensores, verificações visuais, ...);
- Tamanho da amostra e frequência da amostra;
- Método de controlo;

- Plano de ação, quando é detetado um problema.

Os planos de controlo devem ser verificados, para apurar se todas as características críticas e significativas detetadas durante o processo FMEA de projeto e processo estão incluídas. Neste ponto do processo, todos os sistemas de medição não destrutivos listados no plano de controlo devem ter passado, com sucesso, o requisito de repetibilidade e reprodutibilidade (R&R).

Quando é detetada uma não conformidade, é necessário um plano que inclua estes quatro elementos críticos:

- **Contenção** - Assim que o problema for detetado, colocar em quarentena todos os produtos suspeitos, mesmo que isso inclua tudo o que foi produzido desde a última amostra aceite;
- **Diagnóstico** - Como o próprio nome indica, determinar a causa raiz da falha. Pode ser necessário perguntar repetidamente, “porquê?”. Esta ação deve ter como objetivo uma ação corretiva permanente;
- **Verificação** - A verificação tem por fim provar que a ação corretiva resolveu o problema na sua totalidade. O plano de reação deve especificar o número de amostras adicionais que são necessárias, antes de retomar as operações com normalidade;
- **Disposição** - O passo final passa por determinar a disposição mais apropriada para o material contido na fase de contenção. Neste passo, as opções típicas são: sucata, retrabalho, classificar, usar como está, ou então retornar ao fornecedor. Quando é para executar classificações ou retrabalho, os produtos devem ser acompanhados de instruções escritas.

2.3.2 Métodos práticos usados para garantir a qualidade

A automação tem vindo a transformar indústrias, a natureza do emprego e a economia de muitos setores industriais. Hoje, existem avanços rápidos na robótica e inteligência artificial, pelo que as máquinas estão a combinar ou superar os humanos numa larga série de atividades de trabalho, incluindo mesmo aquelas que exigem capacidades cognitivas [40].

Com vista à garantia de qualidade na maquinagem de peças, a aposta deverá recair em métodos que minimizem a mão-humana, e/ou a conjuguem da melhor forma com os processos e elementos que existem na atualidade. Só assim, se conseguirá evitar o erro associado à influência do homem no processo.

De entre alguns métodos, destaca-se o uso da **máquina CNC (Computer Numeric Control)**, descrita no ponto 2.1. O controlo numérico computadorizado é a automatização de máquinas-ferramentas, operada por comandos programados. Embora exija um investimento elevado, manutenção especializada e não elimine por completo os erros humanos, apresenta vantagens consideráveis:

- Maior precisão da peça produzida;
- Aumento da qualidade do serviço;
- As peças iguais são produzidas segundo o mesmo código, que se pode alterar quando conveniente;
- Maior controlo e possibilidade de correções sobre desgaste das ferramentas;
- Troca automática de velocidades;
- Produção de peças idênticas umas às outras, independentemente dos fatores humanos;
- Redução da fadiga dos operadores, que passam a ser responsáveis apenas por tarefas de programação e preparação.

São estes os fatores que, de alguma forma, contribuem para a garantia da qualidade com a utilização das máquinas CNC.

Outro dos aspetos a realçar são os **sistemas de aperto** utilizados, tema este em destaque no ponto 2.1.5.

Os critérios mais importantes para os acessórios de fixação na maquinagem são a precisão do posicionamento, estabilidade da peça, deslocamento mínimo da peça, deformação e evitar interferências com a ferramenta de corte [41]

Os sistemas de fixação hidráulicos trazem muitas vantagens sobre os sistemas de fixação manuais e, normalmente, esses benefícios justificam o investimento inicial. As ligações hidráulicas permitem que os fabricantes coloquem mais “inteligência” nas máquinas, eliminando erros humanos e criando processos mais estáveis e previsíveis, independentemente de quem seja o operador ou máquina. Alguns dos benefícios referidos anteriormente, são [42]:

- Maior produtividade;
- Forças de fixação consistentes;
- Elimina o erro humano;
- Mais rápido;
- Eficiência ergonómica;
- Estabilidade da peça aprimorada;
- Flexibilidade.

Ainda aliado aos sistemas de fixação, os **gabaritos** (Figura 45) são um elemento a salientar. Estes são definidos como sendo uma ferramenta usada como padrão (modelo) para produzir peças e/ou para guiar ou controlar um processo de maquinagem. Os gabaritos permitem que as peças sejam produzidas com precisão e consistência dimensional [43].

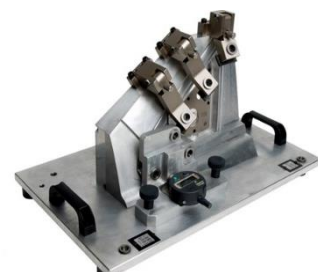


Figura 45 - Gabarito [63]

Os gabaritos desempenham um papel essencial na simplificação do processo de produção e, portanto, podem ajudar a reduzir os custos de mão-de-obra. Oferecem uma maior eficiência e rendimento, o que, em última análise, leva à redução de custos [44]

Na indústria, os gabaritos são usados para:

- Redução dos custos de produção;
- Aumentar a produtividade;
- Assegurar a precisão do componente;
- Produção em massa (Repetibilidade);
- Melhorar a qualidade.

Existem ainda dois temas, referidos anteriormente, que devem ser referenciados neste conjunto de métodos. São eles os pontos 2.2.3.1 e 2.2.3.2. Estes pontos fazem referência às sondas utilizadas nas máquinas para efetuar medições, e aos instrumentos que medem o desgaste e calibram a ferramenta na máquina CNC. Desta forma, com a utilização destes instrumentos é possível [24] [25]:

- Automatizar processos de medição;
- Melhorar a conformidade e a consistência;
- Reduzir os custos por unidade;
- Diminuição dos tempos de *set-up*;
- Eliminar os erros humanos (face ao ajuste manual);
- Reduzir o tempo não produtivo;
- Detetar falhas nas ferramentas;
- Detetar os desvios da ferramenta e efetuar compensações dimensionais automaticamente.

Os métodos anteriormente referidos têm o princípio de diminuir a possibilidade de errar. Existem erros que podem ser eliminados quando se evita a utilização da mão humana, embora, em alguns casos, esta ainda desempenhe um papel importante na maquinação.

2.4 Modelo de avaliação de fornecedores

Segundo os requisitos da Norma Portuguesa ISO 9001:2015 do Sistema de Gestão da Qualidade [45] - “A organização deve determinar e aplicar critérios para a avaliação, seleção, monitorização de desempenho e reavaliação de provedores externos, baseados na sua capacidade de prover processos ou produtos e serviços de acordo com os requisitos”.

Por meio da pesquisa de diferentes modelos de avaliação de fornecedores, conclui-se que existem já diversos modelos para diversas indústrias. Como ponto fulcral, surge o facto de todos os modelos utilizarem o denominado *multi-criteria decision-making method* (MCDM) de Shannon Entropy [46]. Esta situação conduz a que existam diversos critérios comuns de avaliação de fornecedores, mas também, critérios específicos de cada setor.

Existem critérios comuns a diversos ramos de atividade:

- Certificações;
- Preço competitivo;
- Prazo de entrega;
- Qualidade do atendimento;
- Serviço pós-venda/ *feedback* às reclamações

Para análise de casos concretos, seguem-se dois exemplos. O primeiro deles é relativo à empresa LIPOR - Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto. Na análise de fornecedores desta empresa [47], são especificados critérios específicos, entre o quais:

- Cumprimento das Regras de Conduta da Lipor;
- Envio de Relatórios Técnicos atempadamente;
- Envio/resposta à solicitação de orçamentos e propostas – Lipor;
- Mencionar na fatura o n.º da requisição;
- Cumprimento de Regras Ambientais;

Como segundo exemplo, surgem os critérios de avaliação de fornecedores da Volvo Global Trucks [48], onde surgem como critérios específicos de avaliação:

- Protótipos;
- Tecnologia e engenharia do produto;
- Competências de engenharia industrial;
- Modificações de desenhos;
- *Sourcing* - avaliar a forma como o fornecedor seleciona e monitoriza as suas fontes fornecedoras.

No que respeita à indústria metalúrgica, não foram encontrados quaisquer critérios em específico. Da pesquisa efetuada, o mais semelhante que se identificou foi a análise de fornecedores de uma indústria siderúrgica, que subdivide os critérios de avaliação em qualidade química e qualidade física dos materiais.

DESENVOLVIMENTO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO FLUXO PRODUTIVO

3.3 IDENTIFICAÇÃO E SEGMENTAÇÃO DOS PROBLEMAS

3.4 ANÁLISE GLOBAL DA ATIVIDADE

3.5 TEMPESTADE DE IDEIAS

3.6 DESENVOLVIMENTO DE MODELO PARA AVALIAÇÃO DE
FORNECEDORES

3.7 APLICAÇÃO DO MODELO DE CLASSIFICAÇÃO DE
FORNECEDORES

3 DESENVOLVIMENTO

A realização deste trabalho teve como base um caso de estudo numa empresa do setor metalomecânico, mais concretamente a empresa TSF – Metalúrgica de Precisão.

3.1 Caracterização da Empresa

A TSF - Metalúrgica de Precisão é uma empresa especializada em maquinaria CNC (torneamentos e fresagem 5 eixos) de alta precisão, construção soldada técnica e montagem de equipamentos. Detentores de um grande *know-how* e uma boa visão estratégica no setor metalomecânico, iniciaram o contacto com novas parcerias e a ligação com potenciais clientes [49] [50]. Na Figura 46 encontram-se os marcos mais importantes da evolução da empresa TSF.

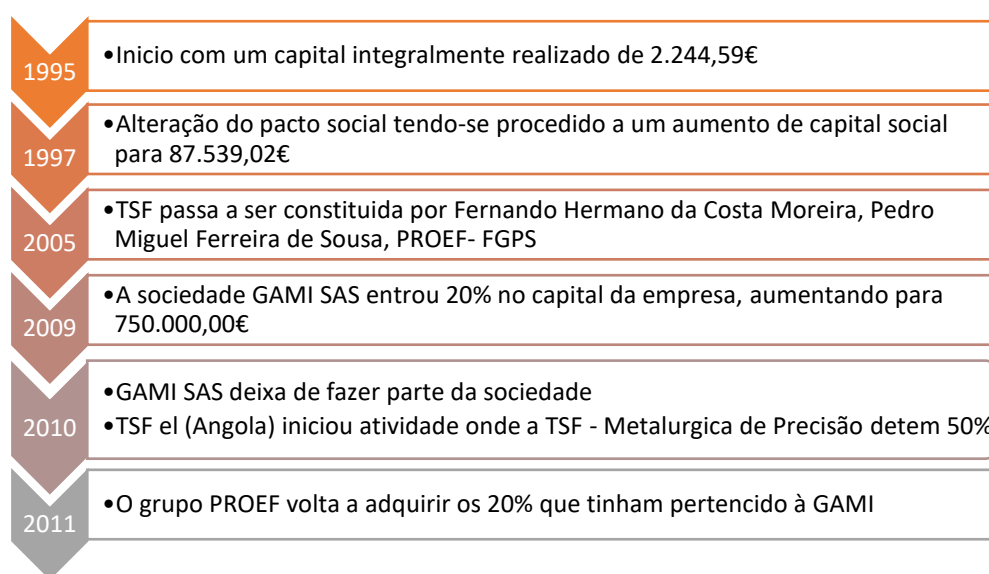


Figura 46 - Marcos mais importantes de evolução da empresa TSF, no que toca à sua estrutura financeira

Em janeiro de 2009, a empresa TSF ocupava uma área total de 3500 m², propriedade da empresa, 2000 m² de área coberta e 1500 m² de logradouro [49]. Atualmente, conta com uma excelente localização e acessibilidade, com a área de produção alargada para 4000 m² cobertos. São estas condições que permitem uma melhor gestão operacional e capacidade de produção, garantindo assim um elevado grau de eficiência e qualidade na resposta aos seus clientes, nas diferentes áreas de negócio (Figura 47) [50].



Figura 47 - Principais áreas de negócio

3.2 Caracterização do fluxo produtivo

Este capítulo apresenta os departamentos existentes na empresa TSF, representados na Figura 48, assim como o fluxo produtivo na Figura 49.



Figura 48 - Departamentos da empresa TSF

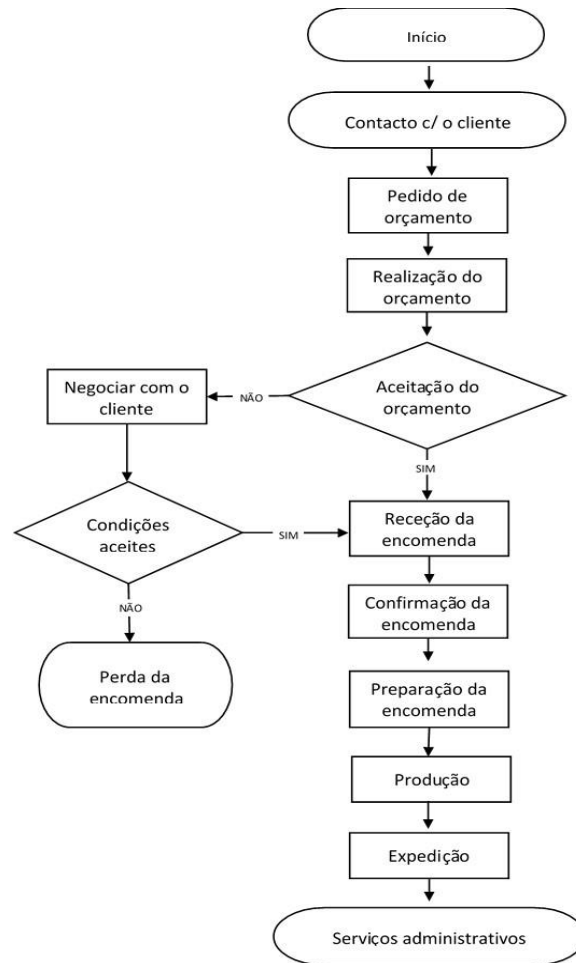


Figura 49 - Fluxograma geral de funcionamento da empresa

Acompanhando o fluxograma da Figura 49 desde o início, tudo se inicia com o contacto entre o cliente e a empresa, com um pedido de orçamento que pode ou não ser aceite pelo cliente.

Orçamentação

Desta forma, todos os elementos da encomenda são analisados, de maneira a cumprir todas as exigências, assim como os prazos de entrega definidos pelo cliente. Existindo a possibilidade da encomenda já ter sido produzida e já ter sido analisada, não há necessidade de um novo orçamento, salvo se existirem observações que a comprometam. Existem ainda casos em que o próprio cliente faz referência ao último preço praticado pela empresa para os produtos em questão. Se não for o caso, é realizado um novo orçamento.

Preparação

Com o serviço já adjudicado ou com uma ordem de fabrico, mesmo que depois de uma possível negociação, a encomenda é aceite pela organização e de seguida

confirmada/validada com uma nova revisão sobre os elementos, para identificar o processo que melhor se ajusta. Tendo em conta aspetos como a carga de trabalho, os prazos de entrega, tratamentos necessários, quantidades pedidas ou até mesmo o grau de complexidade das peças a maquinar/construir, define-se entre produção interna, subcontratação de serviços (produção externa) ou ambos os serviços (produção mista), de forma a se complementarem. É também nesta etapa que são definidas as gamas de fabrico.

Segue-se a preparação das encomendas. Para melhor se compreender a preparação, existe, na Figura 50, a constituição de uma encomenda. Inicialmente, o departamento de preparação verificará se o artigo a preparar já se encontra criado no sistema. Caso isso não se verifique, terá de criar o artigo com os elementos referentes: desenho técnico, gamas de fabrico, tempos de fabrico, material, tratamentos, etc. Normalmente, cada artigo tem modelos pré-definidos das gamas de fabrico para os vários tipos de produção (interna, externa e mista) de peças recorrentes.

No caso da produção interna, o responsável de produção, juntamente com os chefes de turno, estão encarregues de definir os tempos necessários de atividade para as gamas de fabrico. A partir do momento em que o artigo está no sistema, é necessário consultar se existem quantidades em *stock* de produto acabado que satisfaçam as necessidades do cliente. Se as quantidades existentes não forem suficientes, o passo seguinte é verificar a existência de matéria-prima e alocar à obra ou, se não existir matéria-prima em *stock*, efetuar solicitações de preço a fornecedores e fazer a compra mais vantajosa, não esquecendo os prazos de entrega do material. A partir do momento em que existe matéria-prima pode-se dar início à produção.

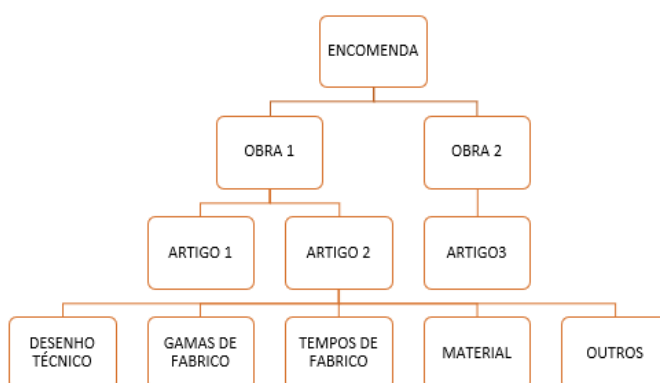


Figura 50 - Constituição da encomenda

No caso da produção externa, existem algumas diferenças na preparação. Neste caso, o responsável de subcontratação é informado sobre os artigos destinados à produção externa e define, empiricamente, o fornecedor que melhor se ajusta ao fabrico do produto em questão. Esta escolha é baseada na complexidade do artigo, quantidade, custo, carga de trabalho já atribuída a um dado fornecedor e aspetos logísticos como, por exemplo, a distância. A subcontratação pode ser feita em condição de fornecimento

completo (FC), ou fornecimento de maquinagem (MO). Enquanto que no fornecimento completo o fornecedor está encarregue de fornecer a matéria-prima e serviço de maquinagem até obter o produto acabado, o fornecimento de maquinagem, como o próprio nome indica, apenas se destina à prestação de um serviço, com a matéria-prima a ser enviada pela empresa. O fornecimento completo apenas acontece quando se está a trabalhar com materiais considerados simples e apresenta vantagens para a empresa. Posteriormente à tomada de decisão do fornecedor e do tipo de serviço, o responsável de subcontratação comunica com o departamento para terminar a preparação e comprar, se assim for conveniente, matéria-prima ou qualquer outro produto.

Produção

Como já foi referido anteriormente, na fase da preparação existem três possíveis atividades para atingir o produto acabado. Se numa primeira fase a matéria prima não estiver com dimensões para produção, terão de ser cortadas de acordo com os requisitos impostos pela preparação nas gamas de produção. Muitas vezes, a preparação requisita peças de corte laser ou oxicorte, com dimensões pré-definidas, para facilitar as operações seguintes, não necessitando por isso de ir ao corte. Existem ainda clientes que fornecem a matéria prima, como acontece comumente com peças de fundição. A partir deste momento, vários percursos produtivos podem ser traçados, entre os quais:

- Torno – Operações de revolução;
- Fresadora – Operações de fresagem;
- Soldadura – Construções soldadas;
- Corte a fio – Eletroerosão a fio sem aplicação de força no corte;
- Retificadora – Retificar para obter melhor acabamento superficial;
- Escateladora – Abrir escatel;
- Acabamentos – Acabamento das peças (quebrar arestas; rebarbar; roscar se necessário, polir, etc.);
- Serviços subcontratados – Tratamentos térmicos, anodizações, cataforese, maquinagem, zincagem, tratamentos de superfície, gravação a laser, entre outros.

Estes são os possíveis percursos produtivos por onde segue a matéria-prima, seguindo as gamas de fabrico, até atingir o produto acabado. De referir que os primeiros sete pontos são possíveis de realizar na empresa. Por norma, ao longo da produção, as peças sofrem controlos de qualidade intermédios e estão sujeitas a um controlo final depois dos acabamentos, antes de serem enviadas para o cliente. O controlo de qualidade será abordado mais à frente. Para uma melhor perceção do fluxo produtivo, é apresentado, mais à frente, um caso prático em detalhe (Figura 51).

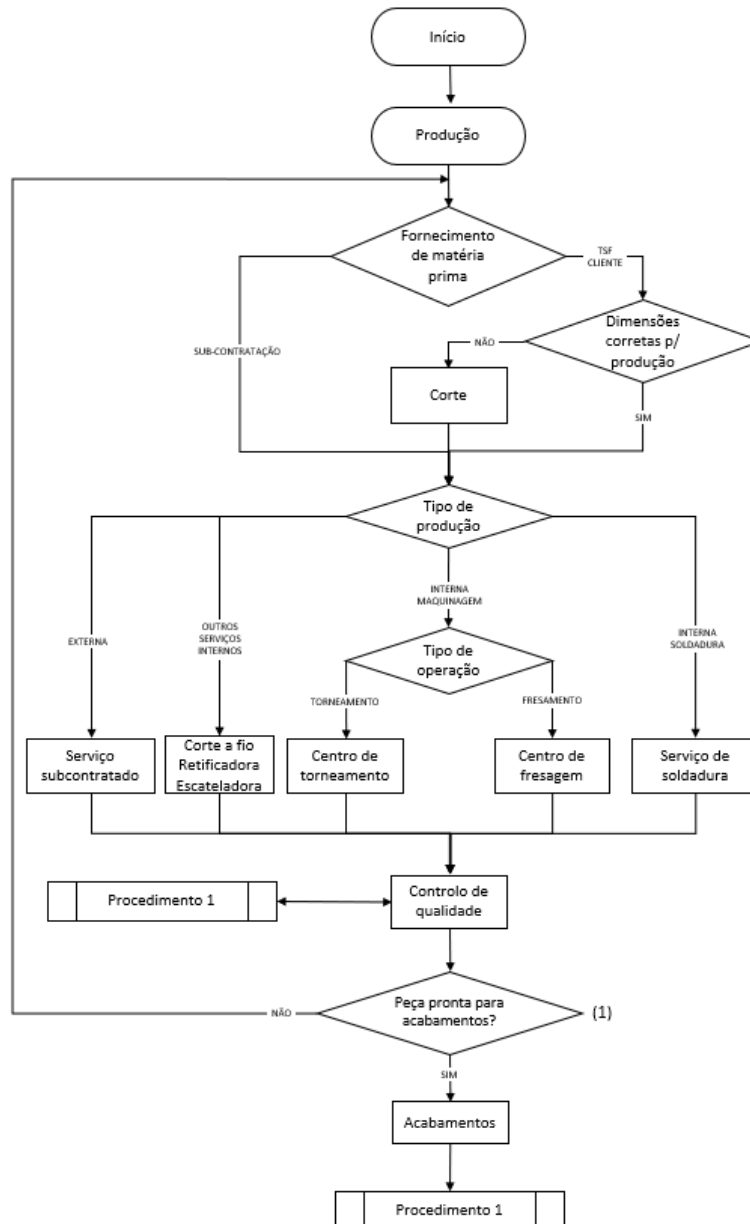


Figura 51 - Fluxograma de produção

Controlo de Qualidade – Procedimento 1

O controlo de qualidade na empresa TSF pode seguir dois processos (Figura 52) diferentes: o controlo intermédio de produção e o controlo final, no qual as peças não vão sofrer mais qualquer alteração dimensional.

No controlo intermédio de produção, são analisadas todas as operações realizadas nas peças, as quais só mediante aprovação de um controlador podem seguir para a operação seguinte, definida nas gamas de produção. Neste controlo intermédio são utilizados os diversos equipamentos disponíveis para o controlador, bem como o desenho técnico, que se faz sempre acompanhar com a obra em produção, e caso exista

necessidade, documentos auxiliares (ex: normas). Caso a peça se encontre “conforme”, o controlador aprova a peça, caso contrário, é verificado se a operação “não conforme” é de construção externa (subcontratação) ou construção interna (Figura 53). No caso de ser de construção externa, é aberta uma não conformidade conforme o ANEXO 5 – Ficha de não conformidade do controlo de qualidade - e o responsável de subcontratação define se a peça volta ao fornecedor, ou, juntamente com o responsável de produção, decidem recuperar a peça internamente. Caso seja de construção interna, o problema encontrado é analisado com o responsável de cliente e de produção, podendo após a análise:

- Ser redigida uma folha de não conformidade como a presente no ANEXO 6 - Ficha de não-conformidade, e a peça é recuperada, sendo necessária uma explicação mais detalhada do problema, causas e decisão corretiva.;
- O problema ser considerado não relevante para o cliente, e seguem-se as restantes operações na peça;
- A peça é recuperada sem abertura de não conformidade.

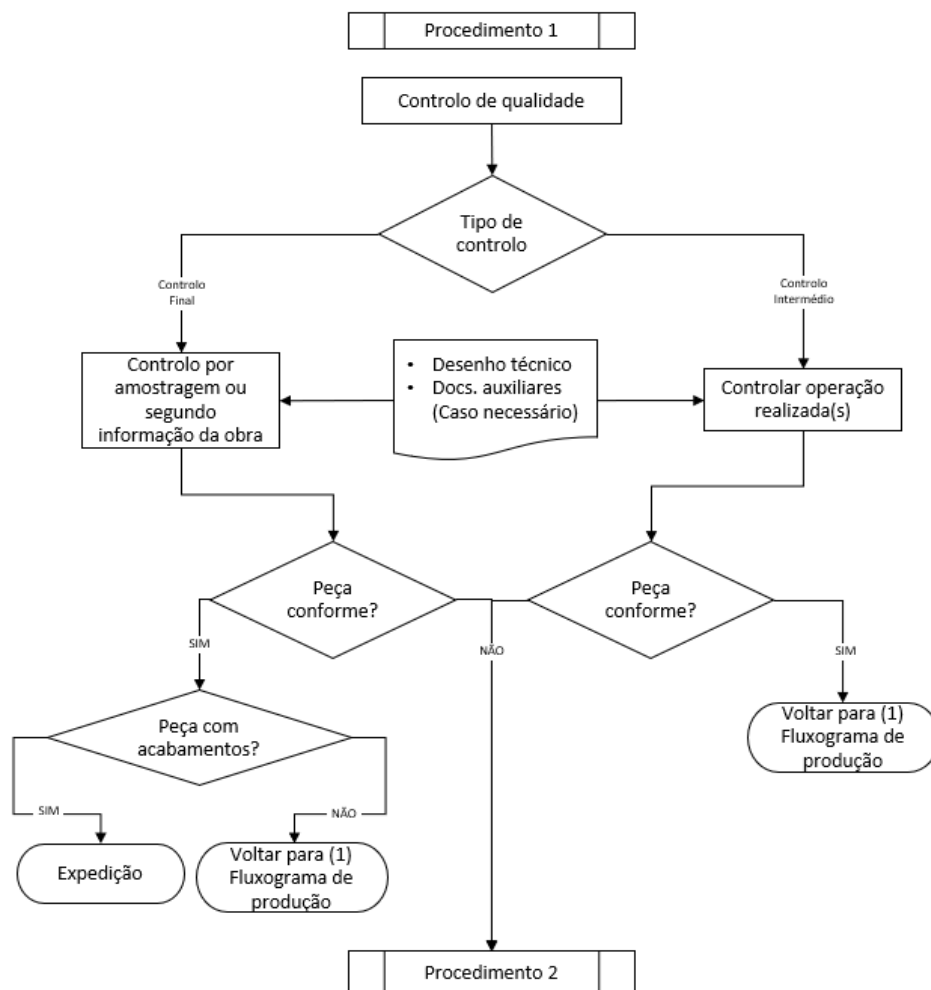


Figura 52 - Fluxograma de controlo de qualidade

No caso de um controlo final (Procedimento 1), a peça é analisada na totalidade do desenho técnico. Este controlo é efetuado por amostragem, ou segundo informações que constem na ficha de produção. No caso de a peça se encontrar em conformidade como pedido no desenho, é redigida uma ficha de controlo dimensional, que posteriormente é enviada para o cliente, certificando a conformidade dimensional da mesma. Caso necessário, a peça poderá ainda ir para a operação de acabamento, para ficar concluído o processo, ou então seguir para expedição. Se a peça se encontrar “não conforme”, o defeito é analisado da mesma forma que no controlo intermédio, seguindo o fluxograma presente na Figura 52, consoante a produção seja interna ou externa.

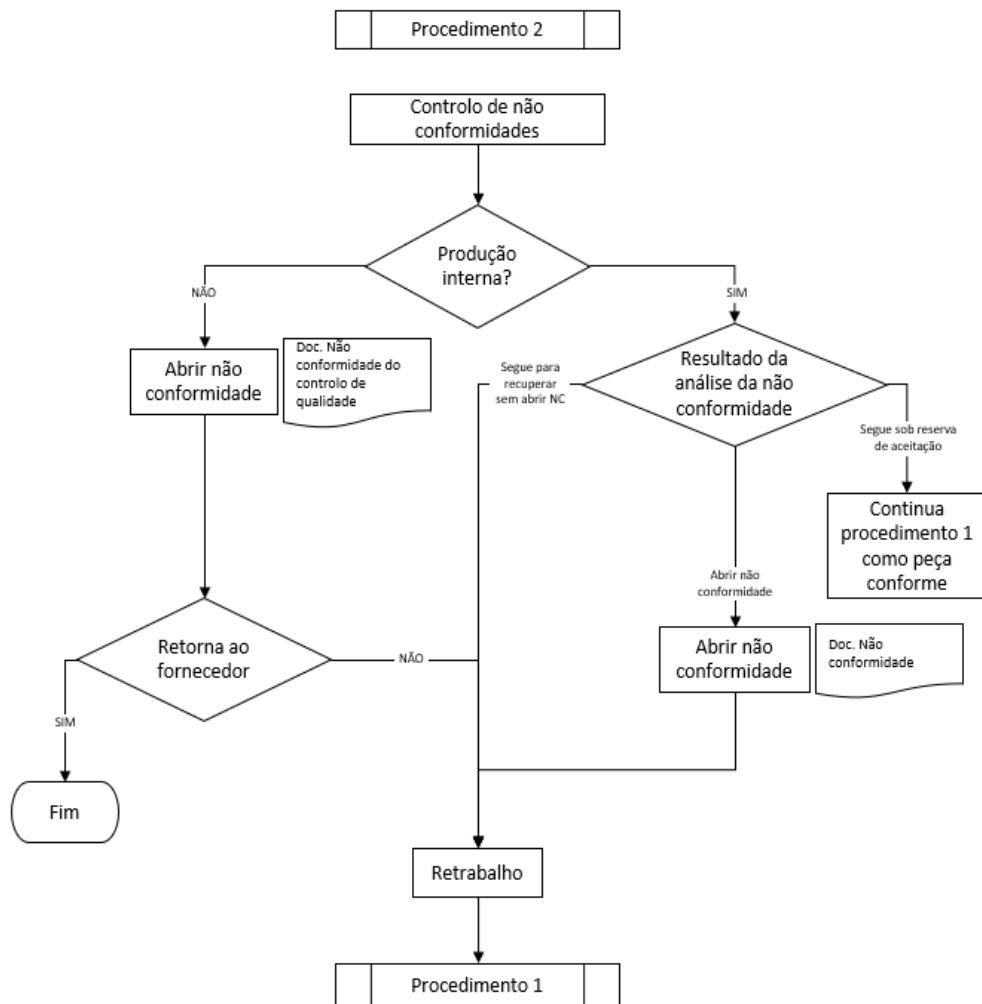


Figura 53 - Fluxograma de controlo de não conformidades

6. Depois de chegarem as peças subcontratadas, foram encaminhadas de imediato para o controlo de qualidade, para verificar se cumpre todos os requisitos solicitados. No caso de não estar de acordo com o solicitado, é aberta uma não conformidade.

Estando em conformidade, como se verificou, foi para pingar na secção de soldadura da empresa. Foi verificada, uma vez mais pelo controlo de qualidade, que validou a fase 90, para avançar para a operação seguinte (fase 100 - soldadura).

GAMA DE PRODUÇÃO								Editado no :24/09/2018 Page : 3/3	
Obra: 78 318		Linha: 1		Peça: 11794629-01/A/STFOC					
Fase	Designar	Centro de	Tempo previsto		Quantit é finie	Quantit é non	Visa		
			TP	TF (min)					
70	SERROTE	SERR		0,01				N° da picagem 643334	
80	SUBCONTRATAÇÃO MAO DE OBRA 11794629-01/A/STFOC/STUSF () PALIER SUPERIEUR Para mais detalhes, ver fase60] dans la nomenclature	STUSF						N° da picagem 643336	
90	PINGAR	PINGA		20,00				N° da picagem 643336	

Figura 55 - Gama de produção (fases 70 a 90)

7. Dentro da mesma área, a peça é soldada e, de seguida, desempenada, estando por isso, pronta para iniciar o processo de maquinagem (fase 120 – torno *Integrex*). Durante o processo de maquinagem, a peça sofreu controlos de qualidade de produção, garantindo que não existe nenhuma falha a cada mudança de operação no torno.
8. A peça é reencaminhada para trabalhos de acabamento, preparando assim o controlo final (fase 140 – controlo/embalagem) - para, pela última vez, se acrescentar valor à peça;

Segundo as notas da gama de produção, foi necessário um relatório de controlo para a totalidade das cotas. No caso de nada mencionar, e de se tratar de um número maior de unidades, seria efetuado o controlo a 10% das peças.

Depois de garantir a conformidade do produto final com os requisitos do cliente, deu-se início ao processo de expedição e respetivos trabalhos administrativos.

Os números de picagem são introduzidos no sistema pelo operador para efeitos de contagem to tempo real de trabalho.

3.3 Identificação e segmentação dos problemas

Para podermos identificar os problemas, será necessário fazer uma análise da atividade produtiva da empresa, para perceber quais as alterações relevantes e quais poderão ser as causas dessas alterações e, conseqüentemente, dos problemas.

A Figura 56 representa a evolução da atividade produtiva entre os anos de 2016 e 2017. Para a realização deste gráfico, foram consultados dados referentes ao ano de 2016 e 2017 para cada um dos indicadores presente (Custos de não conformidade; Custos de subcontratação; Nº de orçamentos adjudicados; Nº de encomendas; Atraso na entrega médio; Faturação). Com uma análise rápida, é notório um crescimento nos seis diferentes aspetos apresentados. Com um incremento substancialmente maior surgem os custos de não conformidades, que sofreram um aumento de 101.73% em 2017 relativamente ao ano de 2016. Logo de seguida, patenteando o segundo maior crescimento entre estes dois anos, chegam os custos de subcontratação (12.95%). Com um valor não muito inferior, sentiu-se em 2017 um aumento de 12.41% no número de orçamentos aceites pelos clientes, resultando também num aumento de 9.66% no número de encomendas na empresa TSF. Por último, mas não menos importante, com valores bastante inferiores, a TSF aumenta o atraso médio nas entregas e a sua faturação em 2017, em 2.40% e 1.24%, respetivamente.

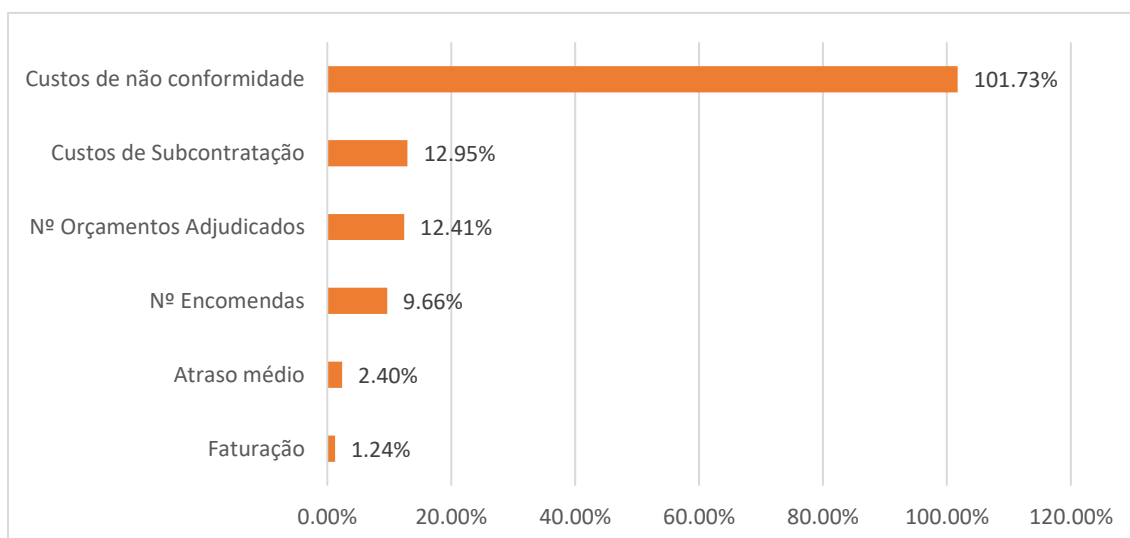


Figura 56 - Evolução de indicadores relacionados com a atividade da empresa (2016-2017)

A evolução dos aspetos presentes na Figura 56 nem sempre representam um crescimento para a empresa. Verifica-se assim que, nesta análise, a evolução dos custos de subcontratação e o atraso médio na entrega das encomendas, apresentam desvantagens consideráveis para a empresa TSF. Tendo em conta estes aspetos, é evidente que os custos de não conformidade evidenciam um aumento consideravelmente maior do que a dilatação sentida no atraso médio.

3.3.1 Problemas de não qualidade (Análise dos custos de não qualidade)

Numa perspetiva industrial, os custos da qualidade têm um impacto forte e devem, por isso, ser referidos nesta perspetiva. Para se poder contabilizar os custos de não qualidade é necessário identificá-los, distingui-los e segmentá-los. De acordo com Branco [51], este entende que os custos da qualidade são todos os custos que uma organização tem de suportar para garantir a entrega de produtos e a prestação de serviços conformes com as suas especificações, e com as expectativas dos clientes. Geralmente, nestes custos incluem-se os necessários para atingir a conformidade e para a repor, quando esta não foi assegurada [51].

No que respeita à contabilização de custos de não conformidades segundo Juran, citado por António, Teixeira e Rosa [52], o custo total da qualidade (CTQ) poderá ser alcançado através da soma dos custos de prevenção (CP), custos de avaliação (CA), custos de falhas internas (CFI) e custos de falhas externas (CFE) [52].

Estes custos podem ainda agrupar-se em custos de controlo e custos de falhas no controlo. Abaixo é apresentada a síntese e descrição de cada tipo de custo [52].

Custos de controlo:

- Custos de prevenção (CP): Estes custos incluem todas as ações e investimentos efetuados para precaver a ocorrência de não conformidades. Exemplos destes custos são a formação, planeamento de qualidade, manutenção preventiva de equipamentos, projetos de melhoria e planeamento;
- Custos de avaliação (CA): Estes custos são os derivados de verificações e ensaios necessários para garantir que o produto final está de acordo com os requisitos do cliente. Como exemplo, existe também a área ocupada pelo controlo de qualidade, e a recolha, análise e relato dos dados da qualidade.

Custos das falhas no controlo:

- Custos de falhas internas (CFI): Estes custos são resultantes da incapacidade de um produto satisfazer as exigências da qualidade, antes do seu fornecimento. Como exemplos de falhas internas, existem: refazer o serviço, modificar o processo, retificar, rever, custos de análise das falhas, entre outros;
- Custos de falhas externas (CFE): Estes custos são resultantes da incapacidade de um produto satisfazer as exigências da qualidade, depois do seu fornecimento. Estes são os defeitos identificados pelos agentes exteriores à empresa, como acontece com clientes ou distribuidores. Como exemplos, surgem devoluções, indemnizações, substituições, serviços ligados aos produtos e garantias.

Deste modo, podemos então identificar, para cálculo do custo total da qualidade, a equação (3.1):

$$CTQ = (CP + CA) + (CFI + CFE) \quad (3.1)$$

Na Tabela 28 encontra-se a síntese dos custos de qualidade. Pode também perceber-se que aos custos da função qualidade, podem também chamar-se custos da qualidade, custos controláveis, investimentos ou custos de conformidade, enquanto os custos resultantes de falhas da função qualidade podem também identificar-se por custos de não qualidade, custos não controláveis, perdas e prejuízos ou custos de não conformidade.

Tabela 28 - Síntese dos custos de qualidade

	=	Custos da Função Qualidade		+	Custos Resultantes da Falhas da Função Qualidade	
Custos	=	Prevenção	+	Avaliação	+	Falhas Internas + Falhas Externas
Totais da	=	Custos da Qualidade			+	Custos da Não Qualidade
Qualidade	=	Custos Controláveis			+	Custos Não Controláveis
	=	Investimentos			+	Perdas e Prejuízos
	=	Custos de Conformidade			+	Custos de Não Qualidade

Para Branco [51], o modelo de custos mais referenciado e também adotado pela Norma Portuguesa NP 4239:1994 [53], é o modelo designado por PAF – Prevenção, Avaliação e Falhas (incluindo internas e externas). Este modelo apresenta como desvantagem o facto de ser limitado, por não considerar os custos com oportunidade perdidas. Ainda assim, a classificação dos custos da qualidade, nas categorias apresentadas, permite fazer um estudo das relações entre as mesmas [51].

Para se tentar perceber de que forma o investimento em prevenção pode diminuir os custos de avaliação e das falhas, Oliveira [54] apresenta de forma esquemática (Figura 57) como se comporta a distribuição dos custos e do lucro em função da implementação de um sistema da qualidade [54].

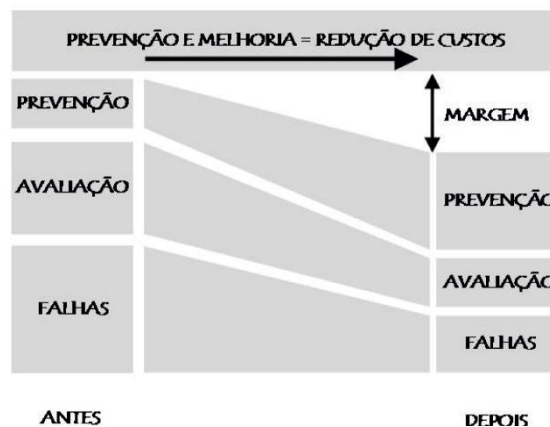


Figura 57 - Distribuição de lucros e custos, em função da qualidade [54]

Deste modo, o processo de melhoria baseia-se em aumentar os custos de prevenção para reduzir, em montante superior, os custos das falhas e de avaliação. Segundo António, Teixeira e Rosa [52], este princípio é justificado pelo facto de através de um investimento num adequado planeamento da qualidade, e em atividades de prevenção, poder obter-se uma redução substancial dos custos de falhas internas e externas, e mesmo dos custos de avaliação. É ainda salientado o facto de o aumento nos custos de prevenção se destinar a diminuir, ou mesmo anular, os outros tipos de custos da qualidade.

No caso da TSF, os custos da não qualidade são contabilizados igualmente em questões de falhas externas e falhas internas. Em ambos os casos, os custos de não qualidade são contabilizados apenas em questões de retrabalho e matéria-prima adicional necessária.

Na TSF, as "não conformidades" são classificadas do seguinte modo:

- ASPET - Defeito no aspeto visual
- DIMEN - Dimensional
- DOCUM - Falha na documentação
- EMBAL - Problemas no embalamento
- LOGIS - Logística
- MATER - Problemas com o material
- PEÇAS - Sucata
- QUANT – Erros de quantidade
- RASTR – Falhas de rastreabilidade

3.3.1.1 Falhas externas

No caso das falhas externas, ou seja, as não conformidades detetadas pelo cliente, depois de serem identificadas, as peças não conformes regressam à empresa. À sua chegada, são analisadas, para se confirmar a não conformidade alegada pelo cliente. Posteriormente, as peças são retocadas ou, se necessário, refeitas. Em alguns casos, o próprio cliente pode proceder à sua reparação e o custo é imputado à TSF, por meio de uma nota de crédito. Neste caso, e de acordo com a contextualização acima, está-se perante custos de falhas externas (CFE).

Na Tabela 29 está apresentada a contagem dos problemas de não qualidade, identificados pelos clientes, no período de janeiro de 2016 a junho de 2018, sendo a análise semestral.

Tabela 29 - Problemas de não qualidade externos (janeiro 2016 - junho 2018)

TIPOS DE NÃO CONFORMIDADES										
Semestre	Aspet	Dimen	Docum	Embal	Logis	Mater	Peças	Quant	Rastr	Total
1S 2016	9	62	11	0	1	2	0	0	0	85
2S 2016	12	81	2	0	1	3	3	0	0	102
1S 2017	13	98	0	0	3	5	15	2	0	136
2S 2017	17	107	0	0	2	3	3	2	0	134
1S 2018	17	108	0	0	0	4	6	0	0	135
Total	68	456	13	0	7	17	27	4	0	592

Pode desde logo verificar-se que os problemas mais comuns são defeitos dimensionais, totalizando 456 não conformidades ao longo do período em análise, representando 77% das mesmas, seguindo-se as não conformidades no aspeto visual com 68 casos.

Por outro lado, não existe nenhuma não conformidade no período em análise do tipo problemas de embalagem e rastreabilidade, pelo que se pressupõe que estas funções estão a ter um desempenho adequado.

Melhorias são notórias nas falhas de documentação, que decresceram de 11 no primeiro semestre de 2016, para 2 no segundo semestre de 2016. Daí em diante, esse erro não aconteceu novamente. Verificou-se que os erros em logística mantiveram-se constantes no primeiro e segundo semestre de 2016, subindo no primeiro semestre de 2017 para 3, e diminuindo no semestre seguinte para 2.

Os problemas com material tiveram uma evolução irregular. Tendo crescido do primeiro semestre de 2016 até ao primeiro semestre em 2017, de 2 para 5, diminuíram no semestre imediatamente a seguir para 3, e voltaram a crescer no primeiro semestre de 2018 para 4 casos.

No que respeita a erros quantitativos, apenas se verificaram 4 no período em análise, sendo que foram detetados 2 no primeiro e 2 no segundo semestre de 2017.

Passando agora para as não conformidades mais significativas, existiu um total de 27 peças destruídas ao longo do período em análise. No primeiro semestre em análise, não houve ocorrências e no segundo semestre de 2016 verificaram-se 3 casos. No entanto, o pico verificou-se no primeiro semestre de 2017, com 15 peças, acabando por diminuir no segundo semestre de 2017 e primeiro de 2018 para 3 e 6, respetivamente.

Com um peso já relevante, surgem os defeitos no aspeto visual, totalizando 68 casos entre janeiro de 2016 e junho de 2018. Estes apresentam um crescimento entre o primeiro semestre de 2016 e o segundo semestre de 2017 (de 9 para 17, respetivamente). No entanto, no primeiro semestre de 2018 estagnou nos 17 casos. Com uma grande diferença surgem então os problemas dimensionais. Como comprova a Figura 58, este é o problema mais recorrente. Apresenta um crescimento desde o primeiro semestre de 2016, com 62, até ao primeiro semestre de 2018, com 108 casos.

Este aumento poderá ser justificado não só pelo crescente número de peças produzidas, mas também pelo possível aumento de complexidade das peças.

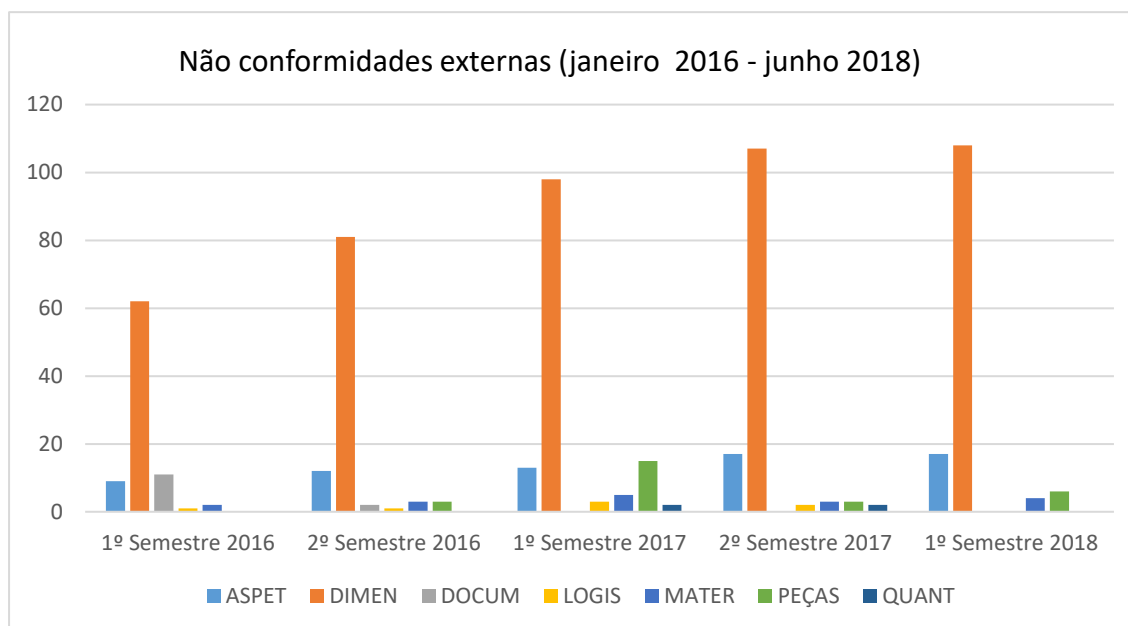


Figura 58 - Problemas de não conformidades externas (janeiro 2016 - junho 2018)

Tendo já contabilizado o número absoluto de não conformidades apresentadas pelos clientes, no período em análise, torna-se então necessário calcular o que essas não conformidades representam em termos de custos.

Na Tabela 30 podem verificar-se os custos relativos da não qualidade, identificados pelos clientes face ao volume de faturação. Estes custos relativos aumentaram desde o primeiro semestre de 2016 até ao segundo semestre de 2017, onde atingiram o valor relativo mais elevado (de 0,47% para 1,12%, respetivamente). No semestre seguinte, ocorreu uma diminuição de 1,12% para 1,07%.

Tabela 30 - Custos da não qualidade externos (janeiro 2016 - junho 2018)

	Nº NC identificadas pelos clientes	% Custos de NC na faturação	Crescimento das NC	Crescimento da Faturação	Crescimento do nº de peças produzidas
1S 2016	85	0,47%	-	-	-
2S 2016	102	0,66%	20,00%	-16,37%	-36,76%
1S 2017	136	1,07%	33,33%	22,12%	46,14%
2S 2017	134	1,12%	-1,47%	-17,96%	-31,44%
1S 2018	135	1,07%	0,75%	33,79%	-

Pode desde logo verificar-se que nos três primeiros semestres, os custos evoluíram em função do número de não conformidades. Isto é, sempre que houve um aumento do número de não conformidades, existiu também um aumento do peso relativo dos custos no volume da faturação, à exceção do segundo semestre de 2017, onde diminuíram as NC, mas o peso dos custos na faturação aumentou.

É importante fazer referência a que o semestre com menor número de não conformidades (primeiro semestre de 2016 - 85 NC), corresponde ao semestre em que o peso dos custos de NC foi menor, em relação volume de faturação (0.47%). O mesmo não acontece com o semestre que teve o maior número de não conformidades (primeiro semestre de 2017 - 136 NC), uma vez que não apresenta a maior percentagem de custos de não conformidade sobre a faturação. Poderá então afirmar-se que não existe uma relação direta entre o aumento das não conformidades e o aumento dos custos na faturação.

No entanto, apesar de em alguns semestres se verificar as mesmas tendências de crescimento, as taxas desse crescimento são bastante díspares. Conforme comprovado na mesma tabela, não existe uma relação direta entre o crescimento das não conformidades e o crescimento da faturação. Exemplo será o segundo semestre de 2016, em que apesar de o volume de faturação ter diminuído 16.37%, as não conformidades cresceram 20.00%. A mesma falta de relação verifica-se entre o crescimento das não conformidades e o crescimento do número de peças produzidas. Para comprovar, no segundo semestre de 2016, as não conformidades cresceram 20% e o número de peças produzidas diminuiu 36.76%.

Nos restantes semestres, e de acordo com o previamente mencionado, estas variáveis acompanham as tendências de crescimento, mas com taxas muito distintas. No primeiro semestre de 2017 verifica-se um crescimento das não conformidades, da faturação e do número de peças, no entanto, em taxas bastantes distintas: 33.33%, 22.12% e 46.14% respetivamente.

Esta disparidade de taxas, apesar de confirmar a tendência de crescimento (Figura 59), é também notória no segundo semestre de 2017, sendo que existe uma diminuição das não conformidades, da faturação e do número de peças, mas, desta vez, as taxas de crescimento são ainda mais díspares: -1.47%, -17.96% e -31.44% respetivamente.

O facto de não existir uma relação direta entre estas variáveis, fica a dever-se a três fatores fundamentais:

1. As não conformidades podem não ser detetadas no mesmo semestre em que são faturadas;
2. As peças solicitadas têm graus de complexidade distintas, que podem constituir uma maior ou menor margem de erro;
3. Valor das peças é diferente.

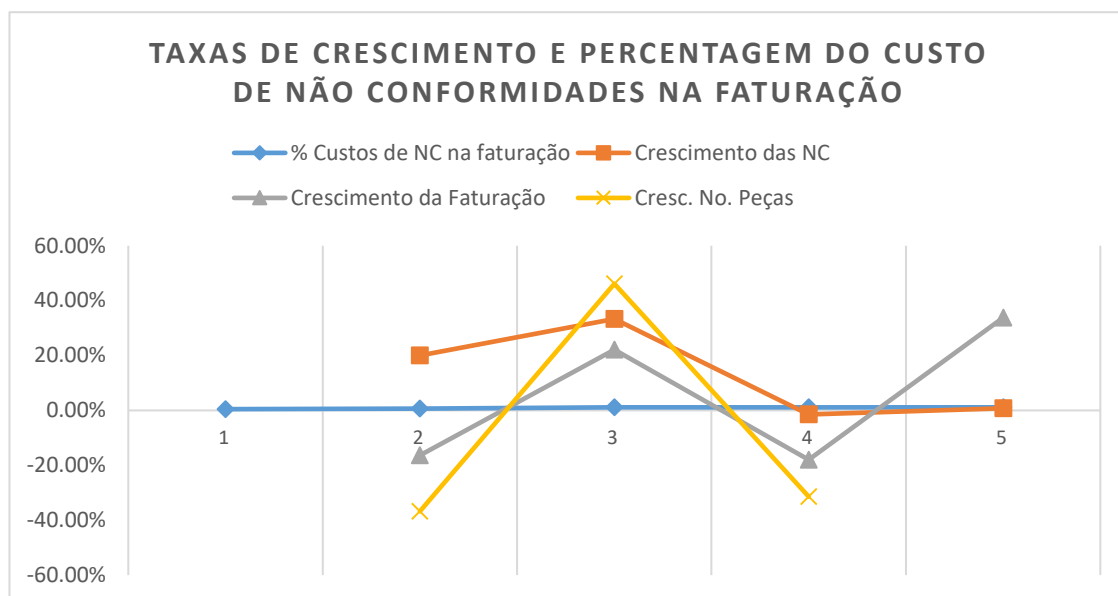


Figura 59 - Taxas de crescimento e percentagem do custo de não conformidades na faturação

3.3.1.2 Falhas internas

Passando agora para as falhas internas, em que as não conformidades são detetadas antes da expedição para os clientes, os valores são divididos entre fornecedores e serviços internos. Como já foi falado, existe subcontratação de serviços que podem, por vezes, apresentar não conformidades. Em alguns casos, são abertas não conformidades e são contabilizados os custos de matéria prima adicional, caso seja necessário, para resolver o problema em questão. Para totalizar as falhas internas, são adicionadas as não conformidades provenientes dos serviços internos de produção. Neste caso, e de acordo com a contextualização acima, estamos perante custos de falhas internas (CFI).

Na Tabela 31 está apresentada a contagem dos problemas de não qualidade, identificados dentro da TSF, no período de janeiro de 2016 a junho de 2018, sendo a análise semestral.

Tabela 31 - Problemas de não qualidade internos (janeiro 2016 - junho 2018)

TIPOS DE NÃO CONFORMIDADES										
Semestre	Aspet	Dimen	Docum	Embal	Logis	Mater	Peças	Quant	Rastr	Total
1S 2016	4	74	8	0	4	2	4	0	0	96
2S 2016	9	63	2	0	2	12	6	2	0	96
1S 2017	5	101	4	0	2	14	12	5	0	143
2S 2017	4	103	1	0	0	4	4	6	1	123
1S 2018	8	92	1	0	0	5	5	10	0	121
Total	30	433	16	0	8	37	31	23	1	579

Em análise à Tabela 31, os defeitos no aspeto visual apresentam uma média de 6 não conformidades por semestre. Esta falha aumentou entre o primeiro e segundo semestre de 2016 e veio a diminuir até ao fim de 2017. No primeiro semestre de 2018 apresentou um aumento de 50%, atingindo 8 falhas.

As falhas dimensionais causam um grande impacto neste plano, ao representar 75% das não conformidades detetadas. Nos primeiros seis meses de 2016 foram identificados 74 casos de falhas de nível dimensional, tendo este valor aumentado até ao fim do ano de 2017, atingindo um pico de 103 não conformidades. Mesmo com a diminuição que teve no primeiro semestre de 2018, totaliza, durante os cinco semestres 433 não conformidades.

A nível documental, o ano 2016 inicia com oito não conformidades, vindo sempre a diminuir, chegando ao fim do primeiro semestre de 2018 com 16 não conformidades. Este valor representa cerca de 3% das falhas totais detetadas nos cinco semestres.

O embalamento não apresenta qualquer falha no período em estudo.

São identificadas falhas de logística apenas nos três primeiros semestres. No primeiro semestre de 2016 existem quatro falhas, que diminui 50% para o semestre seguinte, chegando ao final do primeiro semestre do ano 2017 com oito não conformidades contabilizadas. Até meio do ano de 2018, não foram detetadas mais falhas logísticas,

Problemas relacionados com o material somam 6% das não conformidades. Aumentou ao longo do ano de 2016, atingindo o pico máximo no primeiro semestre de 2017, com 14 falhas. Fechou estes cinco semestres com 37 não conformidades abertas.

As peças destruídas, de igual forma, aumentaram até ao primeiro semestre de 2017, onde atingiu 12 não conformidades. Diminui no semestre seguinte, mas de imediato aumentou em 2018.

Os erros quantitativos mantiveram-se sem falhas no primeiro semestre de 2016. Desde esse momento, vieram a aumentar até ao primeiro semestre de 2018, atingindo o valor máximo de 10 não conformidades. No total registaram 23 falhas.

A rastreabilidade apresenta apenas um caso pontual no segundo semestre de 2017.

Coligando a Tabela 31 com os custos associados a cada uma das 579 falhas, é importante referir que, em média, ao longo dos cinco semestres, os custos das falhas dos serviços internos representam 69% do CFI, contra 31% dos custos da não qualidade provocado pelos fornecedores.

A Figura 60 destaca, de forma idêntica à Figura 58, as não conformidades dimensionais sentidas nos últimos cinco semestres. Enquanto nas falhas externas os valores estão em constante crescimento, nas falhas internas registam-se subidas e descidas no número de falhas, atingindo o pico no segundo semestre de 2017 com 103 casos.

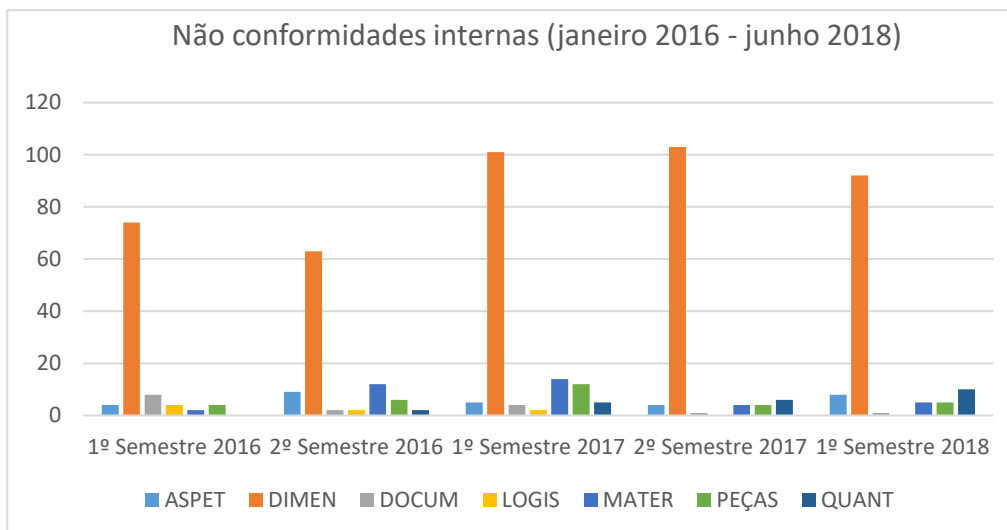


Figura 60 - Problemas de não conformidades internas (2016 - agosto 2018)

Depois de contabilizado e analisado o número absoluto de falhas internas, no período em análise, torna-se então necessário calcular o que essas não conformidades representam em termos de custos.

Relativamente ao número de não conformidades internas (Tabela 32), o número das mesmas manteve-se entre o primeiro semestre de 2016 e o segundo semestre de 2016, nas 96 peças. No primeiro semestre de 2017, atingiu-se o pico no período em análise de não conformidades internas com 143 casos, que diminuíram nos semestres seguintes, ou seja, segundo semestre de 2017 e primeiro semestre de 2018, para 123 e 121, respetivamente. Assim, não ocorreu variação do número de não conformidades no primeiro semestre de 2016 e segundo de 2016. No entanto, no primeiro semestre de 2017, verificou-se a maior taxa de crescimento de não conformidades, o qual atingiu 48.96%.

Tabela 32 - Custos da não qualidade internos (janeiro 2016 - junho 2018)

	Nº NC identificadas pelos clientes	% Custos de NC na faturação	Crescimento das NC	Crescimento da Faturação	Crescimento do nº de peças produzidas
1S 2016	96	0,31%	-	-	-
2S 2016	96	0,47%	0,00%	-16,37%	-36,76%
1S 2017	143	1,06%	48,96%	22,12%	46,14%
2S 2017	123	0,40%	-13,99%	-17,96%	-31,44%
1S 2018	121	0,43%	-1,63%	33,79%	-

Nos dois semestres seguintes, ocorreu uma diminuição de 13.99% e 1.63%. O peso dos custos de não conformidades na faturação acompanhou precisamente a mesma tendência, representando no período com mais não conformidades, primeiro semestre 2017, 1.06% da faturação.

No que respeita à taxa de crescimento da faturação, a mais elevada foi no primeiro semestre de 2018, com 33.79%, seguindo-se o primeiro semestre de 2017, com crescimento de 22.12%, sendo também o semestre em que o número de peças produzidas cresceu mais (46.14%) - face aos decréscimos de peças produzidas no segundo semestre de 2016 e segundo de 2017 (-36.76% e -31.44% respetivamente). Apesar de o número de não conformidades não variar no segundo semestre de 2016, a faturação decresceu -16.37% e o número de peças decresceu também em -36.76%. Depois do crescimento no primeiro semestre de 2017, voltou-se a uma diminuição, no segundo semestre de 2017, do número de não conformidades (-13.99%) da faturação (-17.96%), e também do número de peças produzidas (-31.44%).

Como já foi referido anteriormente, o controlo de qualidade tem de garantir a conformidade de pelo menos 10% das peças antes da sua expedição, ou então, segundo outra informação anexada à folha de obra que acompanha o produto. Quando o cliente deteta uma não conformidade numa encomenda, não significa que todas as peças são afetadas por essa falha. Assim, a Tabela 33 apresenta a percentagem de vezes em que pelo menos 10% das peças controladas e expedidas estavam em conformidade com os requisitos do cliente, mas que, mesmo assim, apresentavam defeitos dimensionais. Ao longo dos últimos semestres, é possível perceber que, em média, em 52% das falhas externas, o controlo de qualidade não foi capaz de detetar a não conformidade.

Tabela 33 - Percentagem de peças conformes nas encomendas com falhas externas

1S 2016	48,39%
2S 2016	51,35%
1S 2017	40,82%
2S 2017	47,66%
1S 2018	53,70%

Dentro ainda das falhas internas, podem ainda ser destacados os erros de procedimento do planeamento de produção. Ou seja, como foi falado anteriormente, é o responsável de produção, juntamente com os chefes de turno, que estão encarregues pela atribuição de tempos de produção. Desta forma, o tempo para cada gama de fabrico é definido e a peça é construída. Após o término da peça, o tempo de construção real é comparado com o tempo dado inicialmente. Caso exista uma diferença considerável, o responsável de produção analisa o caso, de forma a perceber se o tempo real é realmente necessário ou não para determinada gama. O problema inicia-se quando este tempo não é atualizado devidamente, para efeitos de produção. Ou seja, os tempos inseridos no programa de gestão de produção não correspondem, em certos casos, ao real, não sendo assim possível agilizar a produção da melhor forma.

3.3.2 Análise dos atrasos na entrega de encomendas

O cumprimento do prazo de entrega do produto acabado, em conformidade com as exigências do cliente, deve ser um dos focos principais da empresa. O não cumprimento destes prazos tem um impacto desgastante na imagem da empresa, aliado a possíveis indenizações/custos associados, constituindo por isso um contributo negativo para a empresa.

A Tabela 34 apresenta a evolução do atraso médio na entrega das encomendas, medido em dias, entre o primeiro semestre de 2016 e o primeiro semestre de 2018. Embora o primeiro semestre de 2018 represente o valor mais baixo entre os apresentados (11,1 dias), não existem discrepâncias acentuadas entre os diferentes semestres.

Tabela 34 - Atraso medio nas entregas das encomendas (dias)

Semestre	Atraso médio (Dias)
1S 2016	11,4
2S 2016	13,3
1S 2017	11,9
2S 2017	13,4
1S 2018	11,1

Por outro lado, pode-se perceber, através do Figura 61, que 48.47% das encomendas são entregues até uma semana após a data acordada inicialmente com o cliente, sendo que apenas 25.32% são entregues com rigor no prazo de entrega. Pode-se ainda concluir que 26.21% das encomendas têm atrasos superiores a uma semana.

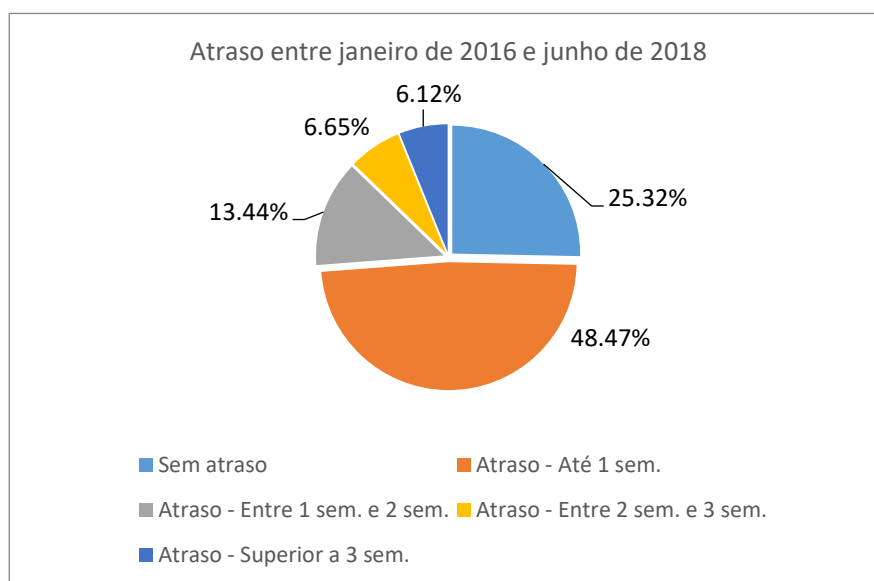


Figura 61 - Atraso na entrega das encomendas (em semanas)

Para melhor se perceber os fatores que influenciam os atrasos na entrega das encomendas ao cliente, foi elaborado um diagrama de causa e efeito, também conhecido como diagrama de Ishikawa (Figura 62).

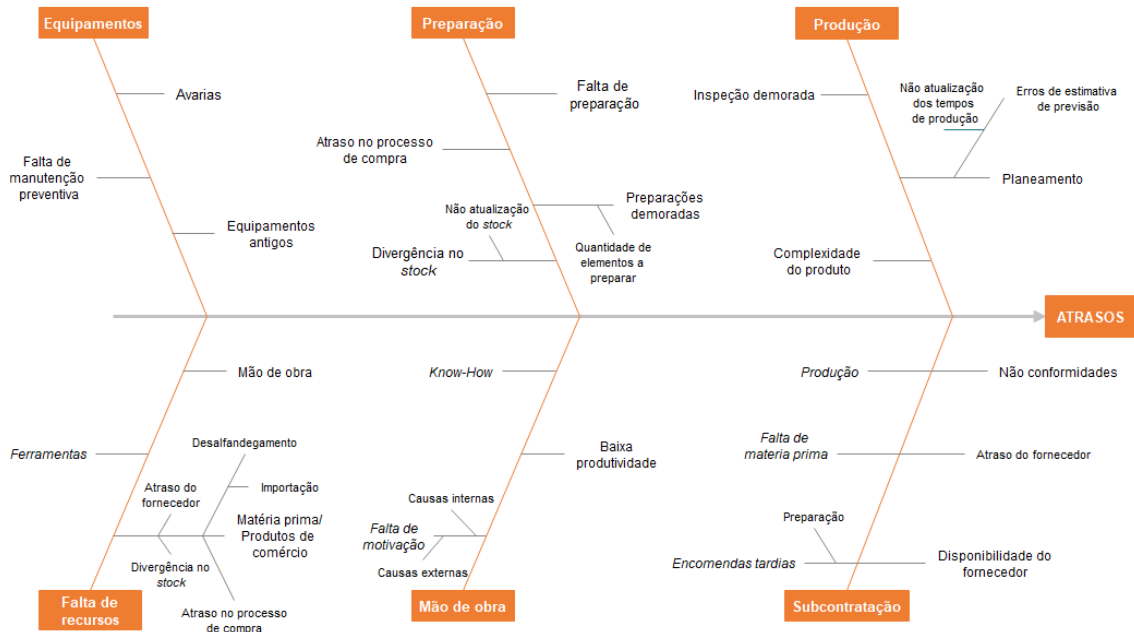


Figura 62 - Diagrama de Ishikawa (Atrasos)

Com base nos termos indicados na Figura 62, segue-se a análise:

- **Equipamentos**
 - **Avarias:** Associada à falta de manutenção preventiva, a avaria pode provocar uma paragem ou falta de produtividade dos equipamentos;
 - **Falta de manutenção preventiva:** Provoca maior número de paragens no tempo devido a degradação galopante;
 - **Equipamentos antigos:** Aumenta a probabilidade de avaria/paragem e não garante a produtividade dos equipamentos mais recentes.
- **Falta de recursos**
 - **Mão de obra:** A falta de mão de obra pode influenciar na produtividade da empresa. A falta de mão de obra pode resultar, por exemplo, de ausência para férias ou doença.
 - **Ferramentas:** Este fator retrata a rotura de *stock* provocada por uma falta de reposição atempada de uma ferramenta ou a necessidade de determinada ferramenta especial para uma dada operação específica;
 - **Matéria prima /Produtos de comércio:** A falta de matéria prima ou de produtos de comércio é considerada uma falha nos recursos, que pode resultar, ou não, num não cumprimento da data de entrega.

- **Atraso do fornecedor:** O atraso de um fornecedor pode justificar-se por uma encomenda tardia, falta de disponibilidade ou outras razões externas à empresa;
 - **Desalfandegamento:** O processo de desalfandegamento provoca, por vezes, grandes períodos de espera que podem influenciar o rigor no prazo de entrega final. O processo de desalfandegamento está geralmente associado a produtos importados;
 - **Importação**
 - **Atraso no processo de compra:** O atraso no processo de compra pode ser provocado por sobrecarga de serviço ou uma possível falta de preparação;
 - **Divergência no stock:** O software de gestão de *stocks* de matéria prima e produto acabado, apresenta divergências com o que realmente existe;
- **Preparação**
 - **Falta de preparação:** A falta de preparação de um produto pode ser detetada já tarde e pode causar um atraso;
 - **Atraso no processo de compra:** O atraso do processo de compra já foi referido anteriormente;
 - **Preparações demoradas:** Existem produtos que envolvem muitos elementos, sendo uma operação demorada;
 - **Quantidade de elementos a preparar:** Encomendas com muitos elementos tornam a preparação demorada;
 - **Divergência no stock:** O software de gestão de *stocks* de matéria prima e produto acabado, apresenta divergências com o que realmente existe;
 - **Não atualização do stock:** Esta divergência é provocada pela extração ou introdução de matéria prima ou produto acabado sem atualização do *software*, que provoca um desconhecimento do que realmente existe.
 - **Mão de obra**
 - **Know How:** Retrata o domínio que o operador tem com os equipamentos de trabalho. A falta de conhecimento e/ou domínio com as máquinas, pode provocar não conformidades, maior tempo investido, que pode resultar em atrasos. O *know how* também é necessário na preparação;
 - **Produtividade:** A produtividade está interligada com a rentabilidade do operador, ou seja, a eficiência da mão de obra;
 - **Motivação:** A falta de motivação deve-se a causas internas (dentro da empresa) e causas externas (fora da empresa);
 - **Causas internas:** Falta de incentivos na empresa, falta de confiança e segurança na realização do trabalho;

- **Causas externas:** Estas causas relacionam-se sobretudo com o bem-estar social.
- **Produção**
 - **Inspeção demorada:** A complexidade da peça pode obrigar a um controlo dimensional mais exigente e que, por sua vez, aumentam a duração da inspeção;
 - **Planeamento:** O planeamento de produção nem sempre é eficaz e fiável, uma vez que existe uma divergência entre os tempos reais de produção e os tempos previstos;
 - **Divergência entre tempo real/previstos de produção:** Esta divergência prende-se com o facto de os tempos de produção não serem atualizados regularmente. Ou seja, os tempos previstos de produção apenas são definidos no início da produção, não sofrendo a partir de aí mais qualquer ajuste;
 - **Não atualização dos tempos de produção**
 - **Complexidade do produto:** A complexidade do produto pode aumentar consideravelmente o tempo necessário de maquinaria, uma vez que pode interferir com: o número de apertos, o tempo de preparação da máquina CNC, definição das ferramentas a utilizar e a extensão do código de programação;
- **Subcontratação**
 - **Produção:** Certas vezes, os serviços de subcontratação estão dependentes da produção interna da empresa. Existindo um atraso na produção da empresa, isso irá afetar o fornecedor, que por sua vez pode não conseguir entregar o serviço no prazo indicado;
 - **Não conformidades:** A qualidade dos serviços subcontratados pode afetar o rigor no prazo de entrega. Como já foi referido em cima, o controlo de qualidade vai analisar e rejeitar, caso exista não conformidades, os produtos. Ao rejeitar, a peça, terá que sofrer retrabalho, interno ou externo, que irá afetar a data de entrega;
 - **Falta de matéria prima:** A falta de matéria prima leva a que os fornecedores atrasem o início da produção, que por sua vez vai afetar a data prevista de entrega;
 - **Atraso do fornecedor:** Este ponto foca o atraso que o fornecedor teve, face ao combinado, devido a fatores internos do seu serviço;
 - **Disponibilidade do fornecedor:** Nem sempre os fornecedores têm disponibilidade na produção para entregar o produto na data exigida pela empresa;
 - **Encomendas tardias:** Associado a encomendas tardias estão os serviços de preparação da empresa. Um atraso na encomenda ao fornecedor irá dificultar o cumprimento do prazo de entrega.

3.3.2.1 Divergência entre tempo real/previsos de produção

O tempo de produção terá uma elevada influência no cumprimento de prazos de entrega ao cliente. Realizar uma previsão do tempo estimado necessário para produzir determinada peça, permite antecipar o custo em número de horas de trabalho a contabilizar para a produção e respetiva carga de trabalho.

Para avaliar esta situação, foram contabilizados valores referentes ao primeiro semestre de 2018, e calculou-se a relação entre os tempos previstos de produção face aos tempos efetivamente realizados.

Conclui-se, por meio da Tabela 35, que para todos os centros de custo, a soma dos tempos efetivamente realizados é sempre superior à soma dos tempos previstos. Isto significa que estes tempos adicionais, não previstos, constituem consequentemente custos igualmente não considerados – que terão impacto no lucro final.

Ainda na Tabela 35, poderá verificar-se, por exemplo, que no caso do centro de maquinagem 4, o tempo total e utilização, foi superior em 78.26% face ao previsto. Tendo em consideração todos os centros de custo, no mínimo, o tempo total de trabalho demorou mais 8.86% do que o tempo inicialmente estimado (Centro de custo “Acabamentos”)

Tabela 35 - Análise dos tempos previstos vs tempos realizados

Centro de custos	Tempo realizado
Acabamentos	108,86%
Centro Maquinagem 1	121,06%
Centro Maquinagem 2	110,16%
Centro Maquinagem 3	131,99%
Centro Maquinagem 4	178,26%
Centro Maquinagem 5	133,02%
Centro Maquinagem 6	157,41%
Centro Maquinagem 7	132,00%
Centro Maquinagem 8	172,39%
Pingar	125,84%
Retificação	157,62%
Soldar	112,50%
Torno 1	130,72%
Torno 2	127,01%
Torno 3	139,23%

3.3.2.2 Fornecedores

Para planeamento de produção e cumprimento de prazos estabelecidos com o cliente, será fundamental obter dos fornecedores, previsões de entrega com uma margem de erro nula ou praticamente inexistente, uma vez que um atraso dos fornecedores poderá levar a um atraso no prazo de entrega do produto final.

Por meio da Tabela 36, pode concluir-se que no primeiro semestre de 2018, de entre os diversos tipos de fornecedores, verifica-se um atraso médio variável entre os 4 e 6 dias. Os maiores atrasos verificam-se no fornecimento de normalizados (6 dias) e o menor (4 dias) na subcontratação de serviços. Existem, portanto, atrasos regulares que devem ser colmatados.

Tabela 36 - Atrasos médios de fornecedores

Tipo de fornecedor	Atraso médio (Dias)
Subcontratação de serviços (pintura, zincagem, trat. térmicos, etc)	4
Subcontratação de maquinagem	5
Normalizados	6
Ferramentas	5

3.4 Análise global da atividade

Na Figura 56 - Evolução de indicadores relacionados com a atividade da empresa (2016-2017) – para além do aumento indesejável dos custos de não conformidades e do atraso médio na entrega das encomendas, os custos de subcontratação também aumentaram 12.95%. O aumento da subcontratação, embora não seja prejudicial, traz por arrasto um crescente número de decisões a tomar no que respeita à atribuição de serviços aos fornecedores, mais pessoas envolvidas e consequências mais graves devido a possíveis más decisões, que por sua vez aumentam a complexidade e a importância das decisões de compra.

No seguimento do mencionado anteriormente, e sendo que cada organização pode identificar e aplicar os critérios mais adequados à avaliação dos seus fornecedores, a própria empresa deve definir o seu modelo.

Em janeiro de 2018, no controlo de qualidade da empresa TSF, não existia nenhuma base de dados para o registo de não conformidades dos fornecedores. Foi então criada uma base de dados com um formulário de registo (Figura 63) (Nº Obra, Nº Encomenda, Cliente, Fornecedor, Tipo de construção, Quantidade NC, Controlador e Descrição da NC) para análise das não conformidades. Este mesmo formulário pode ser impresso no formato apresentado no ANEXO 5 – Ficha de não conformidade do controlo de qualidade.

Entre janeiro e agosto de 2018 foram registadas 522 não conformidades na base de dados do controlo de qualidade, resultantes de serviços de subcontratação de maquinaria, destacando-se sobretudo a falta de rigor dimensional.



The image shows a web browser window with a form titled "FICHA DE NÃO-CONFORMIDADE" (Non-Conformance Form) for TSF. The form contains several input fields: "Obra:", "Encomenda:", "Cliente:", "Fornecedor:", "Construção:", "Quant. NC:", and "Controlador:". A date and time stamp "18/10/2018 11:27:34" is displayed. Below the fields is a large text area labeled "Descrição da não conformidade:". At the bottom of the form, there are three buttons: "Eliminar", "IMPRIMIR", and "GUARDAR".

Figura 63 - Formulário para registo de não conformidades provenientes de fornecedores

Neste mesmo período, foram atribuídas 3601 obras a serviços de subcontratação, distribuídas por 67 fornecedores de maquinaria, podendo estas variar entre:

- Fornecimento completo (matéria-prima + mão de obra);
- Fornecimento apenas de mão de obra.

A subcontratação de maquinaria representa 27% do número de encomendas de produção. Tendo em conta o número de não conformidades registadas aos fornecedores, é relevante ponderar quais os fatores que são influenciados pela não qualidade dos mesmos:

- Retrabalho;
- Matéria prima adicional;
- Reinspeção;
- Transporte;
- Sucata;
- Atrasos.

Deste modo, o impacto dos fornecedores nos custos de qualidade interna e externa, se não forem detetados atempadamente, pode ser prejudicial para a empresa. Deste modo, sente-se a necessidade de fazer uma avaliação aos atuais fornecedores da TSF, e perceber de que modo estes estão posicionados.

3.5 Tempestade de ideias

Depois de analisados os problemas de não qualidade, é necessário perceber de que forma podem ser combatidas estas falhas, e como se pode otimizar os processos, evitando e tentando erradicar as não conformidades.

3.5.1 Resolução de problemas de não qualidade

Este capítulo, vai abordar propostas para a melhoria do funcionamento da empresa, com o objetivo de erradicar os problemas de não qualidade.

Registo de não Conformidades

Como tem vindo a ser referido, os custos da qualidade podem ter um impacto forte na indústria, carecendo, por isso, de uma análise eficaz de forma a reduzir as falhas da qualidade.

Na empresa TSF, nem sempre são abertas fichas de não conformidades quando existem falhas na produção interna ou externa. No caso da produção interna, quando é detetada uma não conformidade, esta é analisada pelos responsáveis de produção e chefes de turno, podendo ou não ser aberta uma ficha de não conformidade. No caso da produção externa, o responsável de subcontratação apenas abre uma não conformidade quando é necessária mais matéria prima.

Desta forma, não se obtêm indicadores suficientemente robustos para fazer uma análise das falhas internas da qualidade. Sem a abertura de não conformidades, não é possível distinguir o tempo de retrabalho, nem a matéria prima extra que foi necessária. No que respeita aos fornecedores, neste momento, não é possível contabilizar o número total de falhas de cada um. Para ser feita uma boa avaliação e seleção dos fornecedores torna-se necessário contabilizar as falhas de cada um e tomar medidas para as reduzir. Mesmo que as não conformidades do cliente incidam em retrabalho para a empresa, com a abertura de não conformidade seria possível contabilizar o tempo de correções após a falha dos fornecedores, o que não acontece.

Neste momento, apenas a responsável da qualidade é capaz de abrir as fichas de não conformidade. Seria vantajoso para a empresa alargar o número de pessoas capacitadas para registar estas situações. Assim, facilitaria a deteção das falhas e uma melhor filtragem dos custos inerentes à produção.

Criação de inventário e atualização do *stock*

O *stock* pode ser definido como a quantidade de bens ou materiais, sob o controlo de uma instituição ou empresa [55]. Deste modo, o armazenamento de *stocks* deve permitir planear e controlar o abastecimento da produção ou de um serviço, quando estes necessitarem.

Esta gestão envolve custos que estão bem definidos como:

- Custos de aquisição;
- Custos de encomenda;
- Custos de posse;
- Custos de rotura.

No caso concreto da empresa TSF, seria possível diferenciar o *stock* nos conceitos apresentados na Figura 64.

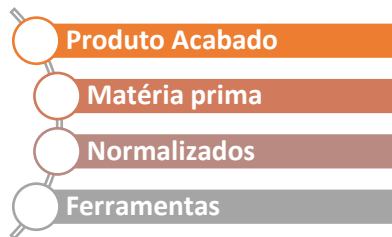


Figura 64 - Proposta de tipos de *stock*

Assim, irá ser feita uma análise individual a cada um:

- **Stock de produto acabado**

Após a encomenda ser confirmada e se dar início ao processo de preparação, é necessário verificar se existe ou não aquele produto em *stock*. Se os níveis de *stock* não estiverem devidamente atualizados, influenciarão, de forma errada, a preparação da encomenda. Caso existam dúvidas quanto à existência ou não de determinado produto, será necessária a confirmação da existência da peça, podendo causar um atraso na preparação.

As entradas e saídas de material devem ser devidamente registadas para não causarem constrangimentos nem carga desnecessária na produção de novas peças. A correta atualização dos *stocks* assim que se remover ou acrescentar produtos, permite uma disponibilidade instantânea para toda a empresa.

- **Stock de matéria prima**

O *stock* de matéria prima afeta da mesma forma a preparação das encomendas. Este *stock* pode induzir em erro a preparação, e até mesmo levar a um atraso na compra de matéria prima. Relembrando o diagrama de Ishikawa da Figura 62, este pode ser um aspeto a ter em conta para o cumprimento do prazo de entrega, uma vez que a tardia compra de matéria prima pode afetar o início do processo de produção, quer seja interno ou subcontratado.

Da mesma forma, a divergência entre o *stock* de matéria prima real e os valores exibidos no sistema de gestão, são resultado da remoção de matéria prima sem registo. Para um melhor controlo, e futura melhoria na gestão de *stock* é necessária uma correta utilização do sistema, para facilitar a análise da matéria prima existente. A facilidade de acesso ao armazém de matéria prima é um dos fatores críticos neste problema.

- **Stock de normalizados**

Entende-se por normalizados os produtos de comércio ou artigos standard. Elementos como, por exemplo, parafusos, anilhas ou porcas, são necessários tanto na produção como na montagem de elementos dentro da empresa. Não existe um controlo eficaz nesta área, o que provoca uma enorme variedade de elementos, compras desnecessárias e, de certa forma, desorganização.

- **Stock de ferramentas**

Os *stocks* de ferramentas inerentes à atividade da empresa apresenta-se organizado, com a utilização de máquinas que obrigam a um registo no sistema, com o código de cada funcionário, para a remoção de qualquer ferramenta.

Para se atualizar os níveis de *stock*, torna-se necessário fazer um inventário. Este consiste em separar e organizar corretamente todos os artigos. De seguida, deve-se fazer a contagem de todos os elementos disponíveis e, posteriormente, comparar com os dados apresentados no sistema. É indispensável fazer a atualização dos valores do sistema, de acordo com os resultados do inventário.

Após a atualização dos níveis de *stock*, é imprescindível garantir que existe uma atualização constante do sistema, quer quando se retira ou quando se adiciona elementos ao *stock*. Uma iniciativa para este problema seria, para além da atualização constante, criar uma vedação que permitisse apenas aos responsáveis de turno o levantamento de material. Uns níveis de *stock* corretos, permitia uma fácil análise da situação global e garantir sempre o *stock* de segurança em qualquer uma das áreas.

Revisão dos tempos previstos de produção

Como já foi referido anteriormente, a cada encomenda que existe são convocados os chefes de cada departamento de produção, assim como o responsável geral, para atribuírem tempos às gamas de fabrico. Existem muitos casos em que surgem encomendas de peças recorrentes, ou seja, peças que anteriormente já foram construídas pela empresa TSF, não sendo, por isso, os responsáveis solicitados para preverem tempos novamente.

Com a análise dos atrasos, foi perceptível que ao longo do primeiro semestre de 2018 existiu uma discrepância entre os tempos previstos e os tempos reais de trabalho. Surgem então, nesta área, dois problemas:

- Erros de previsão de tempos;
- Não atualização dos tempos previstos.

No caso de o tempo efetivo de trabalho ser superior ao tempo previsto, o responsável de produção:

1. Verifica o tempo previsto de trabalho da gama operatória;
2. Verifica o tempo real de trabalho;
3. Juntamente com o operador, analisa se existiu realmente um erro de previsão.

Tratando-se de um erro de previsão, é necessária uma atualização rápida do tempo previsto, para surtir efeito numa próxima vez, reduzindo assim a diferença entre estes dois tempos. Até ao momento, e para efeitos de produção, não existem atualizações nos tempos previstos. Assim sendo, existe uma falha, logo à partida, no planeamento de produção, que se pode traduzir em não cumprimento dos prazos de entrega e sobrecarga da produção, colocando o correto funcionamento do planeamento em causa.

No que respeita aos erros de previsão, embora já utilizem softwares de simulação, na maioria das vezes depende da experiência de quem os fornece/estima.

Avaliação e seleção de fornecedores

Com os custos de subcontratação a aumentar, é necessário uma maior atenção e foco nos fornecedores da empresa. A má gestão dos fornecedores pode levar a, por exemplo, atrasos indesejáveis ou falta de qualidade, que pode ter um impacto forte, tanto dentro da empresa como perante os clientes.

Embora a subcontratação de maquinagem revele predominância nesta área, existem outros tipos de serviços subcontratados:

- Subcontratação de maquinagem;
- Subcontratação de zincagem;
- Subcontratação de pintura;
- Subcontratação de anodização;
- Subcontratação de tratamentos térmicos.

Desta forma, foi realizado e aplicado um modelo de avaliação de fornecedores de maquinagem, que contou com os seguintes passos:

1. Criação de um modelo de avaliação de fornecedores
 1. Análise de modelos de avaliação de fornecedores;
 2. Análise dos critérios mais favoráveis à atividade desenvolvida pela empresa;
 3. Criação de indicadores;
 4. Classificação dos indicadores;
 5. Atribuição de pesos a cada indicador;
 6. Avaliação final;
 7. Classificação dos fornecedores.

2. Aplicação do modelo de avaliação de fornecedores
 1. Criação de base de dados para obtenção de valores;
 2. Análise da distribuição das obras por fornecedor;
 3. Aplicação da análise pareto para seleção dos fornecedores;
 4. Avaliação dos indicadores do modelo para os fornecedores selecionados;
 5. Avaliação e classificação dos fornecedores.

Com esta *ranking* de fornecedores de serviços de maquinagem já é possível criar advertências para com os fornecedores considerados “Inadequados” ou até mesmo servir como incentivo para a empresa, ir em busca de novos parceiros de trabalho. Caso as advertências não surtam efeito, é necessário imputar custos associados ao retrabalho, ou então deixar de adjudicar serviços. Esta avaliação pode assim ser tomada como tabela de decisão para determinado serviço, percebendo qual o fornecedor que melhor se ajusta às necessidades do momento, como: maior rigor no prazo de entrega, localização, ou até mesmo o melhor custo.

Para além desta avaliação, são necessários novos acordos com rigor no prazo de entrega dos fornecedores. Se estes novos acordos não se tornarem viáveis, a empresa deve procurar novos parceiros que respeitem as datas de entrega.

Controlo de qualidade

Na análise dos problemas de não qualidade, foi notado que em 52% das não conformidades detetadas pelo cliente, entre janeiro de 2016 e agosto de 2018, não existiam pelo menos 10% de peças conformes. Com este resultado, é perceptível que existiram falhas de controlo dimensional que não garantiram a qualidade do produto.

Este problema deve-se, em parte, à sobrecarga de trabalho sentida em dias de expedição, uma vez que muitos dos artigos apenas estão concluídos no próprio dia. De realçar que muitos dos fornecedores só são capazes de entregar as peças de subcontratação no dia de expedição, o que não se torna viável, uma vez que compromete o envio da mesma se existir retrabalho a fazer. Deste modo, seria vantajosa a entrega atempada dos produtos para o controlo de qualidade, para se conseguir uma melhor análise.

Por outro lado, é vantajoso repensar num novo plano de controlo, que contemple os seguintes pontos:

- Aumentar a percentagem de peças a controlar (Amostragem);
- Verificar todas as cotas com uma tolerância dimensional de ± 0.1 mm

Para peças subcontratadas, era ainda sugerido:

- Variar a percentagem de peças a controlar para os diferentes fornecedores.

Com a abertura de não conformidades aos fornecedores, seria possível perceber a relação entre o número de serviços prestados e o número de não conformidades. Com este resultado, seria possível ajustar um plano de controlo que poderia variar, por exemplo num controlo entre 20% e 50% das peças enviadas pelo fornecedor. Esta percentagem de peças a controlar devia constar na folha de obra.

Esta melhoria teria de ser acompanhada com um aumento do número de controladores, aumentando consequentemente os custos de inspeção.

3.5.2 Fatores que são influenciados pela não qualidade

A não qualidade sentida, traduz-se em fatores que, por sua vez, acarretam um impacto negativo para a empresa.

Como foi referido anteriormente, através da Tabela 28, os custos totais da qualidade são resultado do somatório dos custos da qualidade (Custos controláveis) com os custos da não qualidade (custos não controláveis). Dentro dos custos controláveis, surgem os valores associados à prevenção e avaliação, enquanto nos custos não controláveis, surgem as falhas internas e externas.

De acordo com o mencionado anteriormente, na regra criada por G. Loabovitz e Y. Chang, conhecida como regra 1-10-100, conclui-se que quanto mais tarde for detetada uma falha de não qualidade, maior será o impacto sentido pela empresa. Assim, torna-se vantajoso para a empresa que as falhas de não qualidade sejam eliminadas nas fases iniciais do processo, de forma a reduzir o impacto negativo na empresa.

Lopes e Capricho [56] defendem o facto dos custos da falta de qualidade serem pouco visíveis nas empresas, que não lhes dão grande importância, na medida em que derivam do somatório de grandes quantidades de pequenos desvios, que se transformam num verdadeiro *iceberg* de custos ocultos, em que a parte visível pode ser a menos importante.

Muitos dos custos e impactos da não qualidade são ocultados e difíceis de identificar por meio de sistemas formais de medição. Desta forma, o modelo de *“iceberg”*, apresentado na Figura 65, transmite a ideia de que apenas uma pequena parte dos fatores influenciados pela não qualidade são visíveis (tangíveis). A parte inferior do *“iceberg”*, expõe os fatores de difícil quantificação ou intangíveis.

Analisando o diagrama presente na Figura 66, os fatores que são influenciados pela não qualidade podem ser resultado de falhas externas ou, simultaneamente, de falhas externas e internas. Isto é, nunca serão exclusivamente internas.



Figura 65 - Modelo "iceberg" do impacto da não qualidade

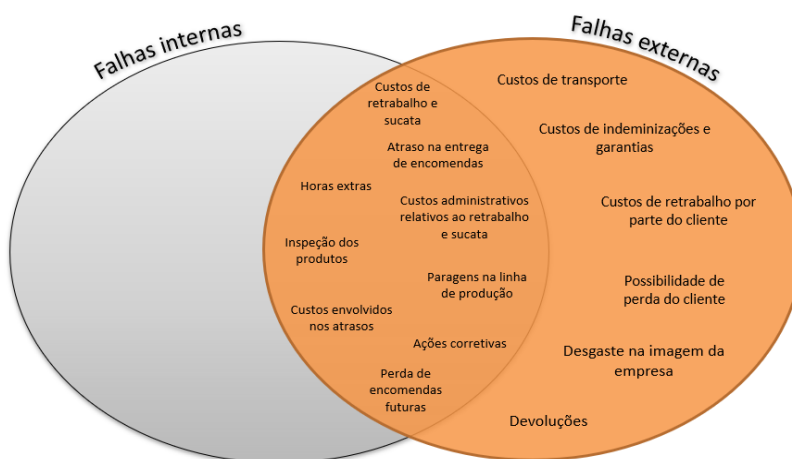


Figura 66 - Fatores que são influenciados pela não qualidade

A título de exemplo, poderá nomear-se os custos de transporte e desgaste da imagem da empresa. Estas falhas são unicamente externas, uma vez que se fossem detetadas dentro da empresa, as mesmas não teriam impacto a nível de custo. Ou seja, não haveria um custo de transporte devido a devolução, nem o cliente ficaria como uma imagem negativa da empresa.

No entanto, e mencionando como exemplo a falha de “Atrasos na entrega de encomendas” esta pode ser influenciada tanto por uma falha interna como externa. Caso exista uma não conformidade interna, pode provocar um atraso na produção e consequente atraso na entrega da encomenda. Se uma não conformidade for detetada pelo cliente e for necessário retrabalho por parte da empresa, essa encomenda já não cumpre os prazos de entrega inicialmente combinados. Os fatores que são agora influenciados pela não qualidade, são descritos, com maior detalhe, na Tabela 37,

Tabela 37 - Fatores que são influenciados pela não qualidade

Custos de retrabalho e sucata	Custo associado à mão de obra, matéria prima (caso não seja possível recuperar) e materiais necessários inerentes ao processo produtivo.
Atraso na entrega de encomendas	Diferença, em dias, entre a data real e a data prevista de entrega acordada com o cliente.
Horas extras	São as horas extras necessárias, por exemplo, para o retrabalho ou para compensar uma paragem na linha de produção. As horas extra estão associadas a recuperação de atrasos.
Custos admin. relativos ao retrabalho e sucata	Estes custos recaem principalmente no tempo investido na preparação de novas obras, ou na compra de nova matéria prima para efeitos de retrabalho.
Inspeção de produtos	Custos de inspeção, ou reinspeção (repetição de inspeções) a produtos que sofreram retrabalho.
Paragens na linha de produção	As paragens na linha de produção têm como principal causa: a falta de matéria prima, a reparação de avarias e a falta de pessoal.
Custos envolvidos nos atrasos	Custos relativos a, por exemplo, transportes especiais ou indemnizações devido a um atraso.
Ações corretivas	Custos relativos às ações corretivas efetuadas para corrigir as causas das falhas.
Perda de encomendas futuras	Os fatores de não qualidade interna podem fazer com que o cliente não requisite novamente os serviços da empresa, resultando na perda de futuras encomendas. Por outro lado, esses mesmo fatores podem fazer com que a empresa não seja capaz de aceitar novas encomendas, devido à elevada carga de trabalho.
Custos de transporte	Custos associados ao transporte de devoluções e/ou reenvio para o cliente de produtos não conformes.
Custos de indemnização	Custos associados a indemnizações, devido a um serviço mal prestado.
Custos de retrabalho por parte do cliente	Custos imputados à empresa por retrabalho do cliente no produto enviado.
Possibilidade de perda do cliente	Resulta na persistência de fatores de não qualidade, que podem comprometer os clientes de uma organização.
Desgaste na imagem da empresa	O desgaste na imagem da empresa surge ligado à perda do cliente. Se os fatores de não qualidade levarem à perda de muitos clientes, a empresa tem a sua imagem no mercado comprometida.
Devoluções	Custos associados à receção e análise de produtos devolvidos pelo cliente. Caso existam não conformidades podem ainda ser adicionados custos de retrabalho ou sucata.

Enquanto fatores responsáveis de não qualidade, podem identificar-se a formação dos operadores, as instruções mal definidas, e também fatores relacionados com os equipamentos, isto é, instrumentos de medida não calibrados, falta de rigor nos equipamentos (folgas), ferramentas gastas e não substituídas atempadamente, ou falta de manutenção prévia.

3.6 Desenvolvimento de modelo para avaliação de fornecedores

Os fornecedores devem ser classificados de acordo com vários requisitos específicos que vão de encontro às necessidades particulares da empresa. Embora não exista para o efeito critérios padronizados, esta avaliação não pode depender unicamente do custo associado ao produto. Existem diversos critérios que podem ser atendidos de forma a garantir a eficácia da avaliação dos parceiros, não existindo por isso metodologias iguais para a sua avaliação. Cada empresa deve escolher os critérios, e respetivos indicadores, que melhor se ajustam às políticas de gestão. Para a avaliação dos fornecedores de prestação de serviços de maquinaria, definiram-se os seguintes critérios:

- Rigor no prazo de entrega (R'_{pe})

O rigor no prazo de entrega está diretamente ligado com o atraso ou adiantamento da entrega do produto por parte dos fornecedores. Este indicador avalia a capacidade de o fornecedor garantir a entrega do produto final dentro dos prazos estipulados previamente. Caso a data prevista de entrega seja ultrapassada, é considerado um atraso, caso o fornecedor entregue antes da data estipulada, estamos então a falar de um adiantamento. Este indicador foi calculado com base nos dados de janeiro a agosto de 2018. Surge como a média das diferenças, em dias, da data prevista (d_p) e da data real (d_r) da entrega do produto.

$$R_{pe} = \frac{\sum_{i=1}^n d_{ri} - d_{pi}}{n} \quad (3.2)$$

Depois de calculado o valor R_{pe} (Equação (3.2)), os fornecedores são avaliados, entre 1 e 5, segundo as condições presentes na Tabela 38, chegando ao valor R'_{pe} .

Tabela 38 - Classificação do indicador R'_{pe}

Classificação	R'_{pe}	Condição
Mau	1	$R_{pe} > 9$
Insuficiente	2	$7 \leq R_{pe} \leq 9$
Suficiente	3	$4 \leq R_{pe} \leq 6$
Bom	4	$1 \leq R_{pe} \leq 3$
Muito Bom	5	$R_{pe} < 1$

- Aceitação do custo máximo (A'_{cm})

Os custos são um tema recorrente e são negociados de forma a obter o maior lucro possível. Desta forma, com a aceitação do custo máximo, prevê-se a contabilização do número de vezes que o fornecedor está disposto aceitar o valor máximo que a empresa se propõe a pagar.

Este indicador é expresso em forma de percentagem entre o número de vezes que aceita a proposta (N_{ap}) e o número de vezes que o fornecedor é solicitado (N_{sol}). Para o efeito, foram utilizados valores do mesmo espaço temporal, entre janeiro e agosto de 2018.

$$A_{cm} = \frac{N_{ap}}{N_{sol}} \times 100\% \quad (3.3)$$

Depois de calculado o valor A_{cm} (Equação 3.3), os fornecedores são avaliados, entre 1 e 5, segundo as condições presentes na Tabela 39, chegando ao valor A'_{cm} .

Tabela 39 - Classificação do indicador A'_{cm}

Classificação	A'_{cm}	Condição
Mau	1	$39\% \leq A_{cm}$
Insuficiente	2	$40\% \leq A_{cm} \leq 49\%$
Suficiente	3	$50\% \leq A_{cm} \leq 69\%$
Bom	4	$70\% \leq A_{cm} \leq 89\%$
Muito Bom	5	$90\% \leq A_{cm} \leq 100\%$

- Rigor dimensional (R'_d)

O rigor dimensional está diretamente associado à qualidade do produto, que por sua vez é avaliado com base na conformidade da peça com os requisitos do cliente. Por outras palavras, o rigor dimensional é calculado com base nas não conformidades detetadas pelo controlo de qualidade à chegada das peças vindas do fornecedor. Este valor manifesta-se em percentagem, entre o número de obras com peças com não conformidades (N_{nc}), e o número total de obras de cada fornecedor (N_{ot}).

$$R_d = \frac{N_{nc}}{N_{ot}} \times 100\% \quad (3.4)$$

Depois de calculado o valor R_d (Equação 3.4), os fornecedores são avaliados, entre 1 e 5, segundo as condições presentes na Tabela 40, chegando ao valor R'_d .

Tabela 40 - Classificação do indicador R'_d

Classificação	R'_d	Condição
Mau	1	$R_d \leq 85\%$
Insuficiente	2	$85\% \leq R_d \leq 89\%$
Suficiente	3	$90\% \leq R_d \leq 94\%$
Bom	4	$95\% \leq R_d \leq 99\%$
Muito Bom	5	$R_d = 100\%$

- Localização (L'_{fe})

A localização, como o próprio nome indica, está interligada com a distância (d_{fe}) entre os fornecedores e a empresa TSF. Este indicador é apresentado em quilómetros (km) e pode ser amortizado consoante a percentagem (n_{fe}) de vezes que os produtos são entregues diretamente na TSF, sem assim ser necessário envolver custos de transporte associados à empresa contratante.

$$L_{fe} = d_{fe} - (d_{fe} \times n_{fe}) \quad (3.5)$$

Depois de calculado o valor L_{fe} (Equação 3.5), os fornecedores são avaliados, entre 1 e 5, segundo as condições presentes na Tabela 41, chegando ao valor L'_{fe} .

Tabela 41 - Classificação do indicador L'_{fe}

Classificação	L'_{fe}	Condição
Mau	1	$L_{fe} \leq 29$
Insuficiente	2	$20 \leq L_{fe} \leq 29$
Suficiente	3	$10 \leq L_{fe} \leq 9$
Bom	4	$1 \leq L_{fe} \leq 9$
Muito Bom	5	$L_{fe} = 0$

- Serviços prestados (S'_p)

Os serviços prestados revelam os diferentes tipos de maquinaria que o fornecedor pode oferecer, desde operações internas (S_{if}) a subcontratações (S_{ef}). Este aspeto é calculado através de um somatório do(s) valor(es) representados na Tabela 42, referentes a cada tipo de operação que o fornecedor poderá prestar. Podendo fornecer esse serviço, soma 1 ou 0.5, dependendo se é ou não subcontratado.

Tabela 42 - Valores de S_{if} e S_{ef}

	Serviço interno do fornecedor (S_{if})	Subcontratação do fornecedor (S_{ef})
Torneamento	1	0.5
Fresagem	1	0.5
Retificação plana	1	0.5
Retificação cilíndrica	1	0.5
Eletroerosão por penetração	1	0.5
Corte a fio	1	0.5

$$S_p = \sum_{i=1}^n S_{ifi} + \sum_{i=1}^n S_{efi} \quad (3.6)$$

Depois de calculado o valor S_p (Equação 3.6), os fornecedores são avaliados, entre 1 e 5, segundo as condições presentes na Tabela 43, chegando ao valor S'_p .

Tabela 43 - Classificação do indicador S'_p

Classificação	S'_p	Condição
Mau	1	$S_p \leq 1.5$
Insuficiente	2	$2 \leq S_p \leq 2.5$
Suficiente	3	$3 \leq S_p \leq 3.5$
Bom	4	$4 \leq S_p \leq 4.5$
Muito Bom	5	$5 \leq S_p$

- Certificações (C')

Os requisitos do cliente podem levar a que a empresa TSF sinta a necessidade de recorrer a fornecedores certificados, para cumprir as exigências solicitadas. Mesmo que não seja o caso, as certificações oferecem um grau de confiança superior, no que respeita à qualidade. Este indicador não é quantificado e surge como resposta à pergunta “O fornecedor tem algum tipo de certificação conveniente ao tipo de serviço que a TSF subcontrata?”. Assim, consoante a resposta, “Sim” ou “Não”, os fornecedores são avaliados, com 3 ou 5, segundo as condições presentes na Tabela 44, chegando ao valor C' .

Tabela 44 - Classificação do indicador C'

Classificação	C'	Condição
Não	3	$C = \text{Não}$
Sim	5	$C = \text{Sim}$

- Resposta em urgências (R'_{urg})

A resposta em urgência representa a disponibilidade do fornecedor em realizar um serviço considerado urgente. Desta forma, os fornecedores são avaliados, entre “Sim” e “Não” quanto à sua disponibilidade para o fazerem, chegando ao valor R'_{urg} , através da Tabela 45.

Tabela 45 - Classificação do indicador R'_{urg}

Classificação	R'_{urg}	Condição
Não	3	$R_{urg} = \text{Não}$
Sim	5	$R_{urg} = \text{Sim}$

- Avaliação final (A_f)

A avaliação final (A_f) compila todos os indicadores anteriormente mencionados, com atribuição de pesos (%), para diferenciar os aspetos mais importantes dos outros menos importantes.

Na subcontratação, os aspetos primordiais são o rigor no prazo de entrega (R'_{pe}), a aceitação do custo máximo (A'_{cm}) e o rigor dimensional (R'_d) que o fornecedor tem para oferecer. Estes três indicadores representam 80% da avaliação final do fornecedor (Tabela 46). Dentro destes 80%, destaca-se a variável dimensional (R'_d), uma vez que tem maior peso relativo. Por isso, na subcontratação de fornecedores, será fundamental ter esta variável em consideração, tendo em conta que não existe margem para erro. O rigor do prazo de entrega representa 20% do valor total. Por norma, a data de entrega de um produto por parte de um fornecedor, é de uma semana antes da data de expedição da TSF para o seu cliente. Ou seja, em casos extraordinários, poderá ser negociado um ajuste no prazo de entrega da peça do fornecedor subcontratado. Nos mesmos moldes, a aceitação do custo máximo, com um peso relativo de 10%, é o indicador que melhor representa a parte económica dos serviços subcontratados. Este indicador apresenta um peso relativo inferior aos anteriormente citados, uma vez que pode ser ajustado de forma a obter um maior rigor dimensional, ou um prazo de entrega mais assertivo.

Por último, os quatro indicadores finais totalizam 20% da avaliação do fornecedor. Uma vez que, regra geral, os fornecedores não incluem serviços de transporte, e esses custos não são tidos em conta no valor a pagar, a localização terá de ser contabilizada na sua avaliação. Este transporte, na maioria das vezes, está associado à TSF. A quantidade de serviços que o fornecedor é capaz de providenciar, internamente ou subcontratando, é registada nos serviços prestados ($S'p$). Torna-se vantajoso para a empresa, que um fornecedor seja capaz de realizar o maior número possível de operações, para diminuir o número de pessoas envolvidas e, por sua vez, facilitar a decisão de subcontratação de um novo fornecedor para determinada operação. O sistema de qualidade, quando utilizado corretamente, não só nos obriga como nos permite nomear parceiros de excelência. Trabalhar com os mesmos, permitirá à empresa uma maior confiança e, assim, diminuir as possíveis falhas. Deste modo, os parceiros certificados serão beneficiados na avaliação. Por último, mas não menos importante, a capacidade que o fornecedor tem de dar respostas rápidas em casos excepcionais de urgência, revela uma ligação forte e de confiança com a empresa. Assim, com um peso relativo de 5%, finaliza a avaliação do fornecedor.

Com a análise dos pesos relativos, o rigor dimensional garante 50% da apreciação final do parceiro. Este valor revela ainda que nunca pode ser posto em causa nem, de forma alguma, ser ajustado em prol de qualquer outro indicador.

Tabela 46 - Participação dos indicadores na avaliação final do fornecedor

Rigor no prazo de entrega (R'_{pe})	20%
Aceitação do custo máximo (A'_{cm})	10%
Rigor dimensional (R'_d)	50%
Localização (L'_{fe})	5%
Serviços prestados (S'_p)	5%
Certificações (C')	5%
Resposta em urgências (R'_{urg})	5%
Avaliação final (A_f)	100%

A avaliação final é então calculada a partir da equação 3.7.

$$A_f = 0.2 \times R'_{pe} + 0.1 \times A'_{cm} + 0.5 \times R'_d + 0.05 \times L'_{fe} + 0.05 \times S'_p + 0.05 \times C' + 0.05 \times R'_{urg} \quad (3.7)$$

Tendo em conta que a avaliação de cada fornecedor por indicador pode variar entre 0 e 5, à exceção das certificações (C') e da resposta em urgências (R'_{urg}) que variam, exclusivamente, entre 3 e 5, a avaliação final (A_f) pode então variar entre:

- $A_{f \min} = 0.30$
- $A_{f \max} = 5.00$

Assim sendo, o valor médio entre a $A_{f \min}$ e $A_{f \max}$ é de 2.65. Fica então definido, pela Tabela 47, que o fornecedor que obtiver uma avaliação final - $A_f \leq 2.65$ é considerado inadequado para fornecer os tipos de serviços de maquinaria que realiza. Para fornecedores com a avaliação final (A_f) compreendida entre 2.65 e 3.50, são considerados adequados para efetuarem os serviços prestados até ao momento. Por último, quem obtiver uma avaliação final (A_f) maior ou igual a 3.50 é apreciado como um fornecedor preferencial.

Tabela 47 - Classificação final do fornecedor

Avaliação final (A_f)	Classificação final
$A_f \leq 2.65$	Inadequado
$2.65 < A_f < 3.50$	Adequado
$A_f \geq 3.50$	Preferencial

3.7 Aplicação do modelo de classificação de fornecedores

Tendo em conta o elevado número de fornecedores de maquinaria sentiu-se a necessidade de fazer uma análise e, desta forma, perceber como se distribui a atribuição das obras pelos 67 parceiros. Para o efeito, foi então realizada uma análise Pareto (Figura 67), que consistiu em listar por ordem decrescente os fornecedores com maior número de serviços prestados à TSF, e assim concluir que 80% dos serviços de maquinaria subcontratados foram entregues a 20% dos fornecedores (Tabela 48). Dos 67 parceiros, foram então selecionados os 13 mais influentes.

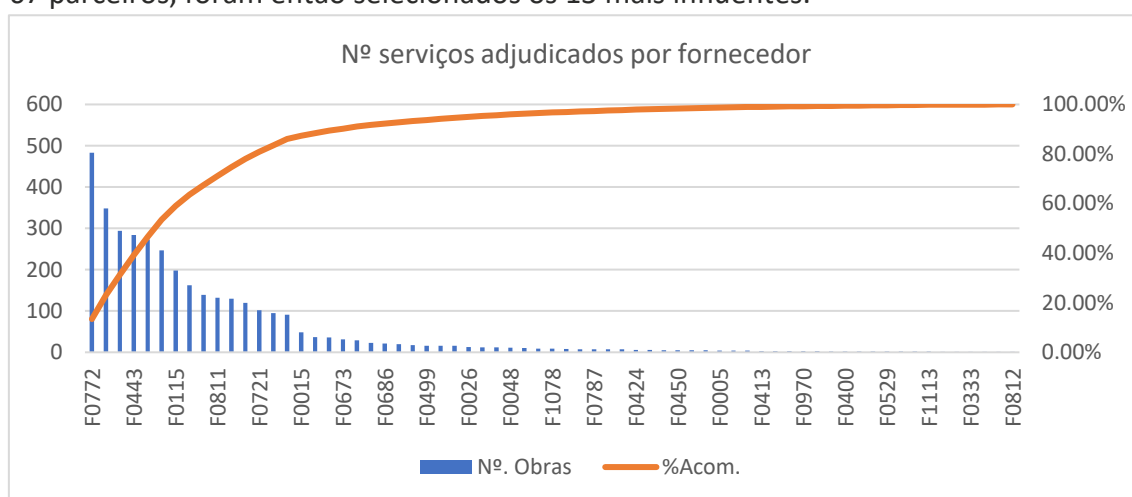


Figura 67 - Análise de Pareto a fornecedores

Tabela 48 - Distribuição de obras por fornecedor

Código do forn.	Nº. Obras Adjudicadas	% Obras	%Acom.
F0772	483	13,41%	13,41%
F0620	348	9,66%	23,08%
F0750	294	8,16%	31,24%
F0443	284	7,89%	39,13%
F0786	273	7,58%	46,71%
F0518	247	6,86%	53,57%
F0115	198	5,50%	59,07%
F0425	162	4,50%	63,57%
F0949	139	3,86%	67,43%
F0811	132	3,67%	71,09%
F0585	130	3,61%	74,70%
F0472	120	3,33%	78,03%
F0721	102	2,83%	80,87%

Os resultados da avaliação dos indicadores abordados no desenvolvimento do modelo de fornecedores, são apresentados na Tabela 49, Tabela 50, Tabela 51, Tabela 52, Tabela 53, Tabela 54 e Tabela 55.

Tabela 49 - Classificação do fornecedor no indicador R'_{pe}

Código do forn.	Rigor no prazo de entrega (R_{pe})	Avaliação (R'_{pe})
F0772	7	2
F0620	10	1
F0750	1	4
F0443	7	2
F0786	2	4
F0518	9	2
F0115	3	4
F0425	0	5
F0949	9	1
F0811	4	3
F0585	6	3
F0472	3	4
F0721	1	4

Tabela 50 - Classificação do fornecedor no indicador A'_{cm}

Código do forn.	Aceitação do custo máximo (A_{cm})	Avaliação (A'_{cm})
F0772	97,0%	5
F0620	96,0%	5
F0750	98,6%	5
F0443	97,6%	5
F0786	75,0%	4
F0518	99,4%	5
F0115	98,5%	5
F0425	50,0%	2
F0949	75,0%	4
F0811	91,2%	5
F0585	89,3%	5
F0472	60,1%	3
F0721	59,2%	3

Tabela 51 - Classificação do fornecedor no indicador R'_d

Código do forn.	Rigor dimensional (R_d)	Avaliação (R'_d)
F0772	90,68%	3
F0620	85,63%	2
F0750	91,84%	3
F0443	95,07%	4
F0786	81,32%	1
F0518	81,78%	1
F0115	93,43%	3
F0425	96,91%	4
F0949	71,22%	1
F0811	82,58%	1
F0585	90,77%	3
F0472	93,33%	3
F0721	95,10%	4

Tabela 52 - Classificação do fornecedor no indicador L'_{fe}

Código do forn.	Localização (L_{fe})	Avaliação (L'_{fe})
F0772	8	4
F0620	5	4
F0750	5	4
F0443	1	4
F0786	6	4
F0518	50	1
F0115	6	4
F0425	52	1
F0949	24	2
F0811	39	1
F0585	6	4
F0472	7	4
F0721	12	3

Tabela 53 - Classificação do fornecedor no indicador S'_p

Código do forn.	Serviços prestados (S_p)	Avaliação (S'_p)
F0772	1,5	1
F0620	2	2
F0750	3,5	3
F0443	1	1
F0786	2	2
F0518	5	5
F0115	1	1
F0425	2	2
F0949	2	2
F0811	5	5
F0585	3	3
F0472	1,5	1
F0721	2	2

Tabela 54 - Classificação do fornecedor no indicador C'

Código do forn.	Certificações (C)	Avaliação (C')
F0772	NÃO	3
F0620	NÃO	3
F0750	NÃO	3
F0443	NÃO	3
F0786	NÃO	3
F0518	NÃO	3
F0115	NÃO	3
F0425	NÃO	3
F0949	SIM	5
F0811	NÃO	3
F0585	NÃO	3
F0472	NÃO	3
F0721	NÃO	3

Tabela 55 - Classificação do fornecedor no indicador R'_{urg}

Código do forn.	Resposta em urgências (R_{urg})	Avaliação (R'_{urg})
F0772	SIM	5
F0620	NÃO	3
F0750	SIM	5
F0443	NÃO	3
F0786	SIM	5
F0518	NÃO	3
F0115	SIM	5
F0425	NÃO	3
F0949	NÃO	3
F0811	NÃO	3
F0585	SIM	5
F0472	NÃO	3
F0721	NÃO	3

De forma a englobar todos os indicadores anteriormente referidos, assim como apresentar os resultados, por fornecedor, da aplicação da equação 3.7 foi construída a Tabela 56.

Tabela 56 - Avaliação final de fornecedores

Fornecedor		F0772	F0620	F0750	F0443	F0786	F0518	F0115	F0425	F0949	F0811	F0585	F0472	F0721
Rigor no prazo de entrega (R'_{pe})	20,00%	2	1	4	2	4	2	4	5	1	3	3	4	4
Aceitação do custo máximo (A'_{cm})	10,00%	5	5	5	5	4	5	5	2	4	5	5	3	3
Rigor dimensional (R'_{d})	50,00%	3	2	3	4	1	1	3	4	1	1	3	3	4
Localização (L'_{fe})	5,00%	4	4	4	4	4	1	4	1	2	1	4	4	3
Serviços prestados (S'_{p})	5,00%	1	2	3	1	2	5	1	2	2	5	3	1	2
Certificações (C')	5,00%	3	3	3	3	3	3	3	3	5	3	3	3	3
Resposta em urgências (R'_{urg})	5,00%	5	3	5	3	5	3	5	3	3	3	5	3	3
TOTAL (A_f)		3,05	2,30	3,55	3,45	2,40	2,00	3,45	3,65	1,70	2,20	3,35	3,15	3,65

A avaliação acima calculada permite então categorizar cada um dos fornecedores de acordo com a Tabela 47 - Classificação final do fornecedor. Assim, na Tabela 57 poderá verificar-se a classificação individual de cada fornecedor.

Tabela 57 - Classificação final de cada fornecedor

Classificação	Fornecedor	Quantidade
Preferencial	F0425	3
	F0721	
	F0750	
Adequado	F0443	5
	F0115	
	F0585	
	F0472	
	F0772	
Inadequado	F0786	5
	F0620	
	F0811	
	F0518	
	F0949	

Na Figura 68 está apresentado um gráfico radar, que expõe a variação dos três principais indicadores em relação aos fornecedores avaliados, assim como, a média de cada um dos indicadores.

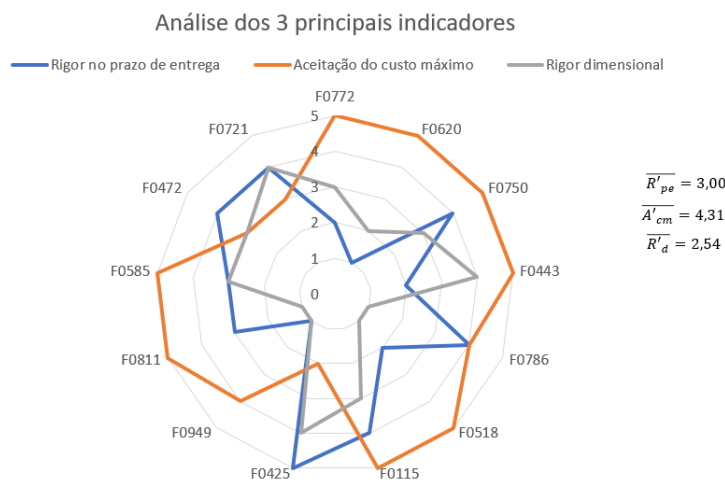


Figura 68 - Gráfico radar dos 3 principais indicadores

Desta forma, é possível perceber que a aceitação do custo máximo (A'_{cm}) obtém uma avaliação média de 4.31, superior aos outros dois indicadores.

O caso já não se torna tão favorável para o rigor no prazo de entrega (R'_{pe}) e para o rigor dimensional (R'_d), apresentando valores médios de 3.00 e 2.54, respetivamente. A variação destes valores é facilmente percebida nas linhas de cada indicador, representadas por cores diferentes, na Figura 68.

Conforme os pesos atribuídos por indicador, a tendência deveria ser exatamente contrária. Relembrando a Tabela 46, seria mais favorável para os fornecedores um maior rigor dimensional e maior rigor no prazo de entrega, uma vez que estes representam, respetivamente, 50% e 20% da avaliação final (A_f). Os valores da aceitação do custo máximo (A'_{cm}) estão bem posicionados, embora representem apenas 10% da avaliação final (A_f).

Por último, será apresentada a localização de cada fornecedor face à empresa TSF. Foi a partir desta localização que foram definidas as distâncias até cada fornecedor. Embora este indicador represente apenas 5% da avaliação final, torna-se importante perceber a disposição, no mapa, de cada parceiro (Figura 69).

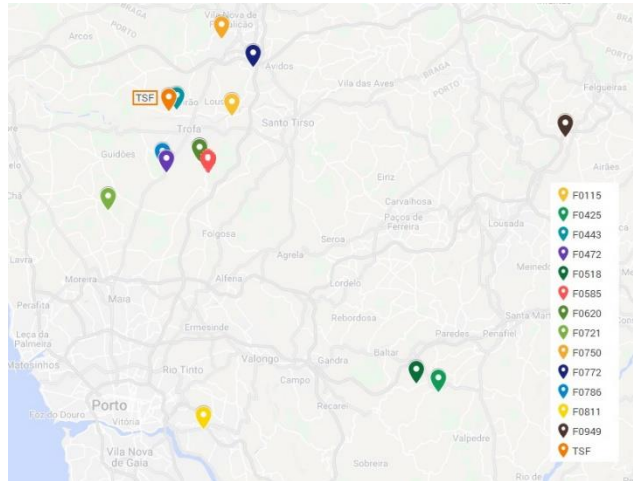


Figura 69 - Localização dos fornecedores

CONCLUSÕES

4.1 CONCLUSÕES

4 CONCLUSÕES

4.1 CONCLUSÕES

Concluído o relatório e o estágio na empresa TSF, é possível verificar os objetivos iniciais conjuntamente com os resultados obtidos através da Tabela 58, Tabela 59 e Tabela 60

Tabela 58 - Objetivos vs Resultados vs Check

Objetivo	Resultados	Check
Medição do impacto da não qualidade na sustentabilidade, sendo utilizada como pilar para a análise da indústria metalomecânica	<p>O impacto da não qualidade na sustentabilidade de uma indústria metalomecânica pode ser reduzido com elementos de prevenção, uma vez que, quanto mais tarde for detetado um problema, maior será o impacto negativo devolvido à empresa, segundo a regra 1-10-100. O impacto negativo devolvido à empresa torna-se difícil quantificar, uma vez que parte dele é intangível como é o caso: horas extras, perdas de receita por limite de carga, insatisfação do cliente, perdas de produtividade, possibilidade de perda do cliente, impacto na imagem da empresa ou até mesmo a perda de oportunidades. Estes são fatores ocultos e influenciados pela não qualidade. Por outro lado, existem aspetos que são facilmente detetados e contabilizados, como é o caso da sucata, as devoluções, o retrabalho, a inspeção ou até mesmo os atrasos.</p> <p>Para se iniciar a análise, foi realizada uma distinção entre falhas internas e externas, para perceber de que forma influenciam a sustentabilidade da empresa. Com o diagrama de <i>Venn</i>, concluiu-se que as falhas ao serem detetadas na empresa, influenciam os seguintes fatores: custos de retrabalho e sucata, atrasos na entrega de encomendas, horas extras, custos administrativos relativos ao retrabalho e sucata, inspeção de produtos, paragens na linha de produção, custos envolvidos nos atrasos, ações corretivas e possibilidade de perda de futuras encomendas. Ao serem apenas detetadas pelo cliente (falhas externas), o impacto agrava-se, uma vez que, para além dos anteriormente citados, ainda influenciam fatores como: possibilidade de perda do cliente, desgaste na imagem da empresa, devoluções, custos de transporte, custos de retrabalho por parte do cliente, custos de indemnizações e garantias.</p> <p>Este impacto é provocado pelos seguintes fatores de não qualidade: formação dos operadores, Instruções mal definidas, falta de rigor nos equipamentos (folgas), instrumentos de medida mal calibrados, ferramentas gastas e não substituídas atempadamente, e falta de manutenção preventiva.</p>	✓

Tabela 59 - Objetivos vs Resultados vs Check (Continuação)

Identificar e analisar as não conformidades	<p>As não conformidades foram divididas em nove tipos diferentes (defeito no aspeto visual, dimensional, falha na documentação, problemas no embalamento, logística, problemas com o material, peças destruídas, quantitativo, rastreabilidade). A análise foi feita de forma individual para as falhas externas (detetadas pelo cliente) e internas (detetadas antes da expedição para o cliente).</p> <p>Entre janeiro de 2016 e junho de 2018, nas falhas externas, destacam-se as não conformidades de carácter dimensional, representando 77% das mesmas, seguida das não conformidades no aspeto visual, representando 11%. Os restantes sete tipos de falhas representam apenas 12%, sendo que não existem falhas de embalamento nem rastreabilidade.</p> <p>Para o mesmo período, as falhas internas significam 49% do número total de não conformidades. Destas, as falhas dimensionais continuam a ser as mais significativas (75%), mas, neste caso, seguem-se as falhas nos problemas com o material (6.4%). Com pesos idênticos aos problemas com o material, estão as não conformidades de aspeto visual e peças destruídas. Continuam a não existir falhas de embalagem, passando a existir uma falha de rastreabilidade.</p>	✓
Identificar qual a fonte e razão explicativa de tais falhas	<p>De acordo com o previamente analisado, existem diversos tipos de não conformidades que são geradas e explicadas por inúmeros motivos.</p> <p>De entre vários motivos, destacam-se os equipamentos utilizados, isto é, as avarias, as falhas de manutenção, bem como a antiguidade dos equipamentos. Nas fases de produção e preparação, pode também desencadear-se não conformidades devido a inspeções demoradas, complexidade do produto ou problemas de planeamento.</p> <p>A subcontratação, mão-de-obra e os recursos utilizados também podem ser a razão explicativa de não conformidades. No caso dos recursos, podem ser falhas de matérias-primas, de ferramentas, de mão-de-obra, atrasos no prazo de desfandegamento ou divergências de <i>stock</i>. A qualificação e <i>know-how</i> da mão-de-obra, também podem ser motivo de falhas, juntamente com a falta de motivação. Por fim, a subcontratação pode gerar problemas de não qualidade devido a atrasos do fornecedor, ou falta de disponibilidade e falta de rigor dimensional.</p>	✓
Entender de que forma podemos otimizar os processos, evitando e tentando erradicar as não conformidades	<p>Por forma a otimizar os processos, procura-se colmatar as falhas através de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Registo e análise das não conformidades; • Criação de inventário e atualização de <i>stock</i> de produto acabado, matéria-prima, normalizados e ferramentas; • Revisão dos tempos previstos de produção; • Efetuar uma avaliação e seleção de fornecedores; • Alteração dos planos de controlo. 	✓

Tabela 60 - Objetivos vs Resultados vs Check (Continuação)

Criação de um modelo de avaliação e classificação de fornecedores	<p>Foi elaborado um modelo para avaliação de fornecedores, que avalia os seguintes indicadores: o rigor no prazo de entrega (R'_{pe}), a aceitação do custo máximo (A'_{cm}), o rigor dimensional (R'_d), a localização (L'_{fe}), os serviços prestados (S'_p), as certificações (C') e a resposta em urgências (R'_{urg}). Após a avaliação de cada indicador, foram atribuídos pesos, de forma a validar o modelo, chegando assim à avaliação final (A_f) (Equação 3.7)</p> <p>Com o resultado da avaliação Final (A_f) podem ser classificados como inadequados, adequados ou preferenciais.</p>	✓
Avaliar os fornecedores para verificar quais são os pontos em que erram, bem como contabilizar e detetar as falhas de cada um	<p>Depois de aplicado o modelo de avaliação de fornecedores, foi possível entender de que forma erram os fornecedores (Tabela 56). Com foco nos três principais indicadores (R'_d, R'_{pe} e A'_{cm}), foi perceptível que as classificações médias eram superiores na aceitação do custo máximo (A'_{cm}), de seguida no rigor do prazo de entrega (R'_{pe}) e, por último, no rigor dimensional (R'_d). As avaliações variam entre 1.70 e 3.65, com uma avaliação média dos 13 fornecedores de 2.84. Concluiu-se ainda que apenas três fornecedores são considerados preferenciais, cinco adequados e os restantes cinco são inadequados.</p>	✓

Este estágio resultou também num aumento das *individual skills*, como é o caso de:

- Disciplina pessoal;
- Contacto com fornecedores;
- Poder de negociação;
- Integração em grupos multidisciplinares;
- Perceção do que é um ambiente industrial;
- Capacidade de gestão de conflitos;
- Team work (trabalho em equipa).

BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

5.1 BIBLIOGRAFIA

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

5.1 Bibliografia

- [1] Businessdictionary, “Businessdictionary,” [Online]. Available: <http://www.businessdictionary.com/>. [Acedido em 04 janeiro 2018].
- [2] P. J. Hoffman, E. S. Hopewell, B. Janes e K. M. Sharp, Precision Machining Technology, Cengage Learning: USA, 2012. ISBN: 9781435447677.
- [3] V. Chiaverini, Tecnologia Mecânica- Processos de Fabricação e Tratamento Vol. II 2ªEdição, McGraw-Hill: São Paulo, 1977. ISBN: 9780074500903.
- [4] Sandvik Coromant, “Conhecimentos sobre maquinagem,” [Online]. Available: <https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/pages/default.aspx>. [Acedido em 15 janeiro 2018].
- [5] S. Morais, Desenho técnico básico, Porto Editora: Porto, 2007. ISBN: 9789729652523.
- [6] Cenfim, “No. 58 - Cinformando, Centro de Formação Profissional da indústria metalúrgica e metalomecânica,” 2016.
- [7] P. Guedes, Metrologia Industrial, ETEP: Lousã, 2011. ISBN: 9789728480271.
- [8] F. J. G. Silva, *Análise da Rugosidade, Apontamentos da Unidade Curricular de Tribologia e Revestimentos*, ESEIG: Porto, 2005.
- [9] L. Magalhães, *Apontamentos da Unidade Curricular de Processos de Fabrico*, ISEP: Porto, 2017.
- [10] Garant, Manual Machining, Garant: Chemnitz.
- [11] F. J. G. Silva, *Diapositivos de Maquinagem 6 - Desgaste e Avarias nas ferramentas, Unidade Curricular de Processos de Fabrico 2*, ISEP: Porto, 2008.

- [12] Sandvik Coromant, "Wear on cutting edges," [Online]. Available: https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/materials/cutting_tool_materials/wear_on_cutting_edges/pages/default.aspx. [Acedido em 22 janeiro 2018].
- [13] Sandvik Coromant, "Desgaste da ferramenta," [Online]. Available: https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/milling/troubleshooting/tool_wear/pages/default.aspx. [Acedido em 1 julho 2018].
- [14] AMF, "Catalogue AMF Vacuum clamping Systems," 2017. [Online]. Available: <https://www.amf.de/files/amf-assets/news/downloads/catalogues/Catalogue-AMF-Vacuum-Clamping-Systems.pdf>. [Acedido em 4 julho 2018].
- [15] AMF, "Catalogue AMF Magnetic Clamping," 2015/2016. [Online]. Available: <https://www.amf.de/files/amf-assets/news/downloads/catalogues/Catalogue-AMF-Magnetic-Clamping-Systems.pdf>. [Acedido em 5 julho 2018].
- [16] AMF, "Catalogue AMF Zero Point Systems," 2017/2018. [Online]. Available: <https://www.amf.de/files/amf-assets/news/downloads/catalogues/Catalogue-AMF-Zero-Point-Systems.pdf>. [Acedido em 8 julho 2018].
- [17] J. M. Juran e A. B. Godfrey, *Juran's Quality Handbook - Fifth Edition*, McGraw-Hill: USA, 1951. ISBN: 007034003X.
- [18] S. Leonardo e L. Godinho, "A Medição Tridimensional na Industria," *O instalador - Técnica*, pp. 74-75, 2018.
- [19] E. Rosendo, "Medição por coordenadas," 2017. [Online]. Available: <http://www.ebah.pt/content/ABAAAAObQAC/medicao-por-coordenadas>. [Acedido em 10 fevereiro 2018].
- [20] F. Prieto, T. Redarce, R. Lepage e P. Boulanger, "An Automated Inspection System," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 19, pp. 917-925, 2002. DOI: 10.1007/s001700200104.
- [21] S. Catalucci, R. Marsili, M. Moretti e G. Rossi, "Comparison between point cloud processing techniques," *Measurement*, Vol. 127, pp. 221-226, 2018. DOI: 10.1016/j.measurement.2018.05.111.

- [22] G. Andrade, "Metrologia - Instrumentos de Medição," 2014. [Online]. Available: <http://www.ebah.pt/content/ABAAAE0UYAL/metrologia-instrumentos-medicao?part=5>. [Acedido em 13 fevereiro 2018].
- [23] Renishaw, "Sistemas de apalpadores para máquinas-ferramenta CNC," 2017. [Online]. Available: <https://www.renishaw.com.br/media/pdf/pt/c5d1b8333be54275905b0a480d097127.pdf>. [Acedido em 11 março 2018].
- [24] Renishaw, "10 benefits of machine tool probes," [Online]. Available: <http://www.renishaw.com/en/10-benefits-of-machine-tool-probes--32423>. [Acedido em 14 março 2018].
- [25] Renishaw, "Tecnologia de preset de ferramentas," [Online]. Available: <http://www.renishaw.com.br/pt/tecnologia-de-preset-de-ferramentas--32934>. [Acedido em 17 março 2018].
- [26] Renishaw, "Probes for turning centres," 2003. [Online]. Available: [https://resources.renishaw.com/details/Probes+for+turning+centres+brochure\(113667\)\(27411\)](https://resources.renishaw.com/details/Probes+for+turning+centres+brochure(113667)(27411)). [Acedido em 17 março 2018].
- [27] Renishaw, "Non-contact tool setter," [Online]. Available: <http://www.renishaw.com/en/nc4-non-contact-tool-setter--6099>. [Acedido em 22 março 2018].
- [28] M. Wan, W. Yin e W.-H. Zhang, "Study on the Correction of Cutting Force Measurement with Table Dynamometer," *Procedia CIRP*, Vol. 56, pp. 1-12, 2016. DOI: 10.7463/aplts.0116.0831168.
- [29] Q. Liang, D. Zhang, W. Wu e K. Zou, "Methods and Research for Multi-Component Cutting Force Sensing Devices and Approaches in Machining," *Sensors*, Vol. 16, pp. 1926, 2016. DOI: 10.3390/s16111926.
- [30] Kistler, "Analyzing and Commanding Sophisticated Machining Processes," 2014. [Online]. Available: <https://www.kistler.com/?type=669&fid=526&model=download>. [Acedido em 25 maio 2018].
- [31] C. M. Borrór, *The Certified Quality Engineer Handbook - Third edition*, ASQ: USA, 2008. ISBN: 9780873897457.

- [32] D. C. Montgomery, *Introduction to Statistical Quality Control - Sixth Edition*, John Wiley & Sons: USA, 2008. ISBN: 9780470169926.
- [33] M. N. P. d. Silva, "Aplicações dos diagramas de Venn," [Online]. Available: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/matematica/aplicacoes-dos-diagramas-venn.htm>. [Acedido em 2 setembro 2018].
- [34] F. Syed, "Word Press," 2009. [Online]. Available: <https://totalqualitymanagement.wordpress.com/2009/02/25/what-is-1-10-100-rule/>. [Acedido em 8 Agosto 2018].
- [35] L. P. Sullivant, "Quality function deployment," *Quality Progress*, Vol. 19, pp. 39-50, 1986.
- [36] C. Spreafico, D. Russo e C. Rizzi, "A state-of-the-art review of FMEA/FMECA including patents," *Computer Science Review*, Vol. 25, pp. 19-28, 2018. DOI: 10.1016/j.cosrev.2017.05.002.
- [37] American Society for Testing and Materials, *Annual Book of ASTM Standards*, The Society, 1977.
- [38] MSA, *Measurement Systems Analysis - Fourth Edition*, Chrysler Group LLC: USA , 2010. ISBN: 9781605342115.
- [39] L. Fonseca, *Apontamentos da Unidade Curricular de GQASE - Gestão da Qualidade, Ambiente e Segurança e Modelos de Excelência Empresarial*, ISEP: Porto, 2016.
- [40] M. Chui, K. George, J. Manyika e M. Miremadi, "Human + machine: A new era of automation in manufacturing," [Online]. Available: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/human-plus-machine-a-new-era-of-automation-in-manufacturing>. [Acedido em 1 Junho 2018].
- [41] O. Gonzalo, J. M. Seara, E. Guruceta, A. Izpizua, M. Esparta, I. Zamakona, N. Uterga, A. Aranburu e J. Thoelen, "A method to minimize the workpiece deformation using a concept of intelligent fixture," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 48, pp. 209-218, 2017. DOI: 10.1016/j.rcim.2017.04.005.
- [42] S. S. Pachbhai e L. P. Raut, "Design and development of hydraulic fixture for machining hydraulic lift housing," *International Journal of Mechanical*

- Engineering and Robotics Research*, Vol. 3, pp. 204-214, 2014. DOI: 10.18178/ijmerr.
- [43] R. A. Walsh e D. R. Cormier, *Machining and metalworking handbook - Third Edition*, McGraw-Hill: USA, 2006. ISBN: 9780071457873.
- [44] Veltron Precision, "Jigs Fixtures," [Online]. Available: <http://www.veltronprecision.com/medical-jigs-fixtures/>. [Acedido em 5 setembro 2018].
- [45] IPQ, *NP EN ISO 9001:2015, Sistemas de Gestão da Qualidade Requisitos*, Caparica, 2015.
- [46] N. A. Costa , L. T. Carvalho, H. G. Menezes, E. L. L. M. Harano e R. G. G. Rezende, "Avaliação Parametrizada De Fornecedores De Materiais, Vol. 3, pp. 11-17, 2006. DOI: 10.4322/tmm.00302003".
- [47] Lipor, "Relatório da avaliação do desempenho de fornecedores," 2011. [Online]. Available: https://www.lipor.pt/fotos/editor2/relatorio_fornecedore_1sem12.pdf. [Acedido em 14 Julho 2018].
- [48] O. L. Nascimento, "Análise do modelo de avaliação de fornecedores da volvo global trucks," 2002. [Online]. Available: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/84325/227053.pdf?sequence=1>. [Acedido em 15 julho 2018].
- [49] TSF, *Manual da Qualidade*, TSF: Ribeirão, 2012.
- [50] TSF, "Sobre nós," [Online]. Available: <http://www.tsf-trofa.com/pt/tsf/sobre-nos/>. [Acedido em 03 setembro 2018].
- [51] R. F. Branco, *O Movimento da Qualidade em Portugal: O Contributo da Gestão da Qualidade*, Grupo Editorial Vida Económica: Porto, 2008. ISBN: 9789727882618.
- [52] N. S. António e A. Teixeira, *Gestão da Qualidade: De Deming ao Modelo de Excelência da EFQM*, Sílabo: Lisboa, 2007. ISBN: 9789726184478.
- [53] IPQ, *Norma NP 4239:1994, Bases para a Quantificação dos Custos da Qualidade*, 1994.

- [54] O. J. Oliveira, *Gestão da Qualidade: Tópicos avançados*, Cengage Learning: São Paulo, 2006. ISBN: 9788522103867.
- [55] F. S. Love, *Inventory Control*, McGraw Hill: New York, 1979. ISBN: 9780070387829.
- [56] A. Lopes e L. Capricho, *Manual de Gestão da Qualidade*, Editora RH: Lisboa, 2007. ISBN: 9789728871130.
- [57] Sandvik Coromant, *Manual Técnico de Usinagem, Sandvik Coromant, 2005*.
- [58] Sandvik Coromant, “Fresamento - Visão geral,” [Online]. Available: https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/milling/application_overview/Pages/default.aspx. [Acedido em 4 abril 2018].
- [59] ISICOM, “3D Systems - Capture / Mini Capture,” [Online]. Available: <https://isicom.pt/3dsystems/scanner-modelacao-3d/capture-3d>. [Acedido em 10 maio 2018].
- [60] Mahr, “Aparelhos Móveis De Medição De Rugosidades,” 2016. [Online]. Available: <https://www.mahr.com/pt/Servi%C3%A7os/Metrologia-para-fabrica%C3%A7%C3%A3o/Produtos/MarSurf---Aparelhos-m%C3%B3veis-de-medi%C3%A7%C3%A3o-de-rugosidade/MarSurf-PS-10---Aparelhos-m%C3%B3veis-de-medi%C3%A7%C3%A3o-de-rugosidade/>. [Acedido em 1 março 2018].
- [61] Renishaw, “Sistema de ativação por contato em 5 eixos PH20,” [Online]. Available: <http://www.renishaw.com.br/pt/sistema-de-ativacao-por-contato-em-5-eixos-ph20--12487>. [Acedido em 22 Maio 2018].
- [62] Kistler, “Rotating Dynamometer for High-Performance Cutting,” [Online]. Available: <https://www.kistler.com/en/applications/sensor-technology/cutting-force-measurement/milling/kistler-rcd-type-9171a-rotating-dynamometer-for-high-performance-cutting/>. [Acedido em 24 maio 2018].
- [63] Infostechnology, “Jigs and Fixtures,” [Online]. Available: http://www.infostechnology.com/Jigs_and_Fixtures.html. [Acedido em 12 março 2018].

-
- [64] T. Sato, "Fabricação Mecânica - Tolerâncias e Ajustes," [Online]. Available: <https://www.ebah.com.br/content/ABAAAACNcAL/fabricacao-mecanica-tolerancias-ajustes?part=4>. [Acedido em 12 Agosto 2018].
- [65] ISO, ISO 5459:1981, Technical drawings - Geometrical tolerancing - Datums and datum-systems for geometrical tolerances, 1981.

ANEXOS

6.1 ANEXO 1 – ASPETOS E PROCESSOS DA
MAQUINAGEM

6.2 ANEXO 2 – TOLERANCIAMENTO GEOMÉTRICO

6.3 ANEXO 3 – FERRAMENTAS CONVENCIONAIS DE CONTROLO

6.4 ANEXO 4 – GAMA DE PRODUÇÃO

6.5 ANEXO 5 – FICHA DE NÃO CONFORMIDADE DO CONTROLO
DE QUALIDADE

6.6 ANEXO 6 – FICHA DE NÃO-CONFORMIDADE

6 ANEXOS

6.1 ANEXO 1 – Aspetos e processos da maquinagem

6.1.1 Torneamento

- **Definição**

Utilizado para obtenção de superfícies de revolução, em que a peça gira em torno do eixo principal de rotação da máquina e a ferramenta se desloca simultaneamente segundo determinadas trajetórias. As várias operações (Figura 90) de torneamento incluem: torneamento linear, cilíndrico, cónico, radial, perfilamento, sangramento, entre outros; [3]

- **Parâmetros básicos**

Velocidade de corte [V_c (m/min)] – A peça gira a um certo número de rotações (n) por minuto. Isso proporciona uma velocidade de corte específica V_c (ou velocidade de superfície) medida em (m/min) na aresta de corte (Equação 6.1).

$$V_c = \frac{\pi \times D \times n}{1000} \text{ m/min} \quad (6.1)$$

Profundidade de corte [a_p (mm)] – Surge como a diferença entre a superfície cortada e a bruta. A profundidade de corte é medida em um ângulo reto (90°) com relação à direção de avanço (Figura 70).

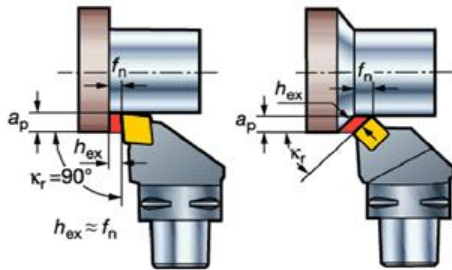
Inclinação [λ] - Medida do ângulo entre a pastilha e o suporte (Figura 71).

Ângulo de ataque [γ] - O ângulo de ataque é a medida da aresta em relação ao corte (Figura 71).

Avanço [f_n (mm/r)] – É o movimento axial ou radial da ferramenta no torneamento de face. Define-se como o incremento do avanço da ferramenta por cada rotação da peça (Figura 72).

Espessura da aparta [h_{ex} (mm)] – h_{ex} (Equação 6.2) é igual a f_n quando se usa um porta-ferramentas com um ângulo de posição de 90° (K_r). Ao usar um ângulo de posição menor h_{ex} é reduzido Figura 70 - Espessura de aparta, Profundidade de corte e ângulo de posição (Figura 70).

Ângulo de posição [k_r (°)] – O ângulo da aresta de corte principal (k_r) da fresa é o fator dominante que afeta a direção da força de corte e a espessura da apana.



$$h_{ex} = f_n \times \sin k_r \quad (6.2)$$

Figura 70 - Espessura de apana, Profundidade de corte e ângulo de posição [57]

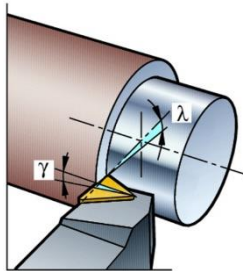


Figura 71 - Inclinação e ângulo de ataque [57]

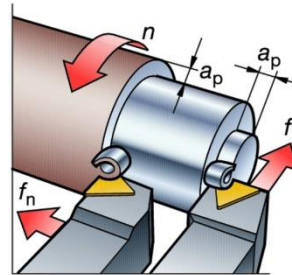


Figura 72 - Principais parâmetros de torneamento [57]

- Principais operações (Figura 73)



Figura 73 - Principais operações de torneamento

- Equipamentos (Figura 74)



Figura 74 - Equipamentos para torneiar

6.1.2 Fresagem

- **Definição**

Procedimento que visa a obtenção das mais diversas superfícies. Geralmente usa ferramentas multicortantes. Na fresagem destaca-se a: fresagem cilíndrica tangencial e fresagem frontal [3].

- **Parâmetros básicos**

Ângulo de posição [k_r (°)] – O ângulo da aresta de corte principal (k_r) (Figura 75) da fresa é o fator dominante que afeta a direção da força de corte e a espessura da aparta.

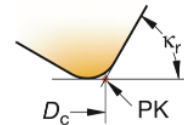


Figura 75 - Ângulo de posição da aresta de corte [57]

Diâmetro da fresa [D_c (mm)] – O diâmetro da fresa (D_c) (Figura 76) é medido acima do ponto PK, onde a aresta de corte principal encontra a face paralela.



Figura 76 - Diâmetro da fresa [57]

Profundidade de corte [a_p (mm)] – A profundidade de corte (a_p) é a diferença entre o raio do furo não maquinado e o maquinado. A profundidade máxima é limitada principalmente pelo tamanho da pastilha e a potência da máquina.

Largura de corte [a_e (mm)] – É a largura radial da fresa (a_e) (Figura 77) envolvida no corte. Especialmente crítica no passo lateral da operação de mergulho e na fresagem de cantos, existindo a ocorrência de vibrações sobretudo se for usada a largura de corte máxima.

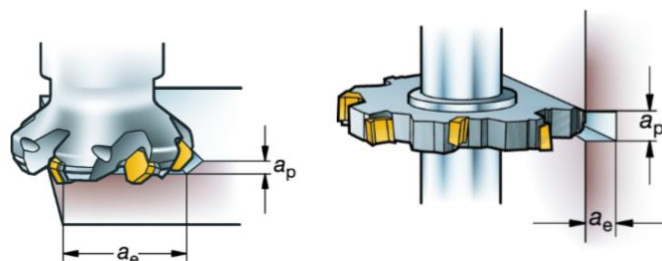
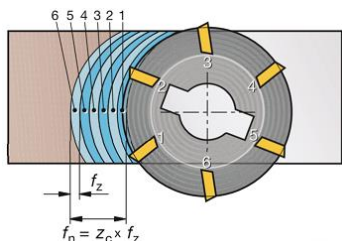


Figura 77 - Largura e profundidade de corte [57]

Número de arestas de corte [z_c] – Essencial para determinar o avanço da mesa (v_f) e a produtividade. Geralmente tem uma influência crítica sobre o escoamento da aparta.

Avanço por dente [f_z (mm/dente)] - Um valor básico para cálculo dos dados de corte, como o avanço da mesa. Também é calculado tendo em conta a espessura de apra máxima (h_{ex}) e o ângulo de posição (k_r) (Equação (6.3)).



$$f_z = \frac{v_f}{n \times z_c} \quad (6.3)$$

v_f - Avanço da mesa (mm/min)

n - Velocidade (r/min)

z_c - Número de dentes

Figura 78 - Avanço por dente Largura e profundidade de corte [57]

- Principais operações (Figura 79)



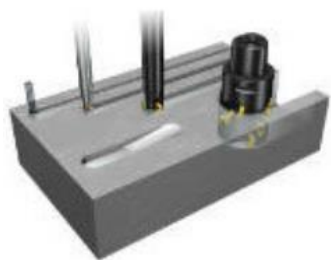
Fresagem de cantos a 90 graus



Faceamento



Fresagem de perfis



Fresagem de canais



Furos e cavidades



Fresagem de engrenagens

Figura 79 - Principais operações de fresagem [58]

- **Equipamentos (Figura 80)**



Fresadora horizontal



Fresadora vertical

Figura 80 - Equipamentos para fresagem

6.1.3 Furação

- **Definição**

A furação define-se como um processo para a obtenção de furos geralmente cilíndricos, em que há rotação e deslocamento segundo uma trajetória retilínea da peça ou ferramenta (próprias para o efeito ex: brocas), coincidente ou paralela ao eixo principal da máquina. [3]

- **Parâmetros básicos**

Velocidade de corte [V_c (m/min)] – É o parâmetro principal, juntamente com a dureza do material, afetando a vida útil da ferramenta e consumo de energia. Corresponde à velocidade periférica da ferramenta de corte (Figura 82).

Número de rotações [n (rpm)] – Refere-se ao número de rotações realizadas pela ferramenta (Figura 81 - Broca helicoidal) por minuto. Este valor está relacionado com a capacidade da máquina.

Avanço [f_n (mm/r)] – É o movimento da ferramenta durante a furação da peça. Define-se como o incremento do avanço da ferramenta por cada rotação da peça (Figura 82).

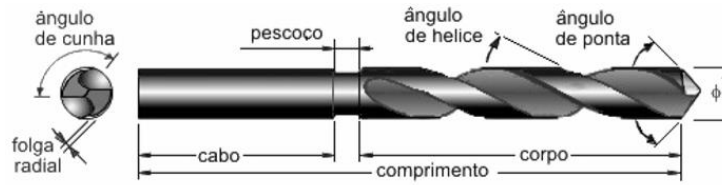
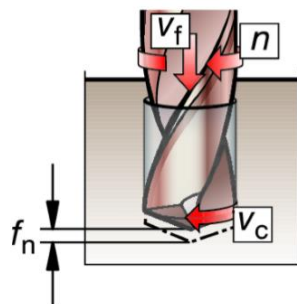


Figura 81 - Broca helicoidal

Velocidade de avanço [V_c (mm/min)] – Velocidade de penetração da ferramenta, que pode ser calculada segundo a equação 6.4.



$$V_c = f_n \times n \quad (6.4)$$

Figura 82 - Principais parâmetros de furação [57]

- Principais operações (Figura 83)

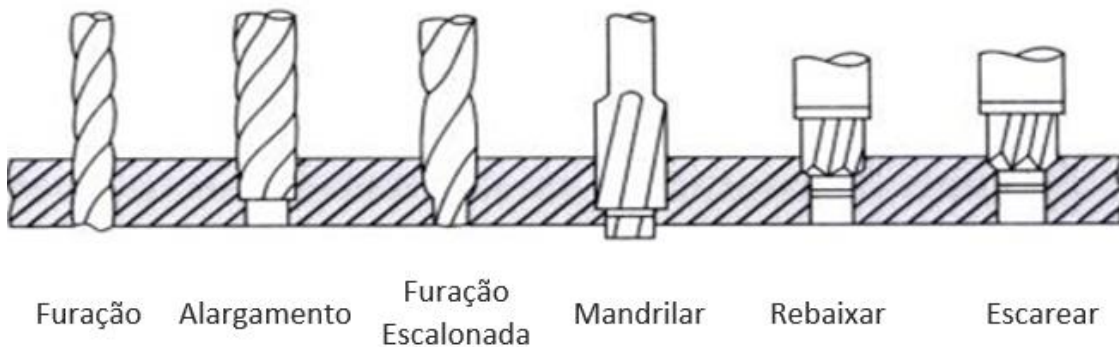


Figura 83 - Principais operações da furação

- Equipamentos (Figura 84)

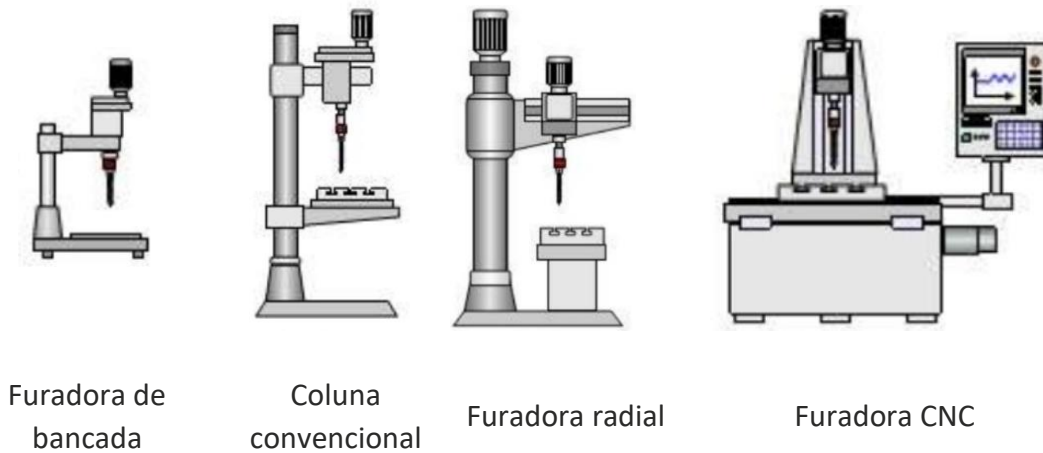


Figura 84 - Equipamentos de furação

6.1.4 Retificação

- Definição

Retificação para obtenção de superfícies lisas é um processo de maquinagem por abrasão, em que uma ferramenta abrasiva de revolução (rebolo, constituído de grãos abrasivos ligados por um aglutinante) gira e se desloca, juntamente com a peça, segundo uma determinada trajetória. A peça pode girar ou não. A retificação pode ser frontal ou tangencial. Esta última compreende a retificação cilíndrica, a retificação cónica, a retificação de perfis, a retificação sem centros, etc.

- Princípios básicos

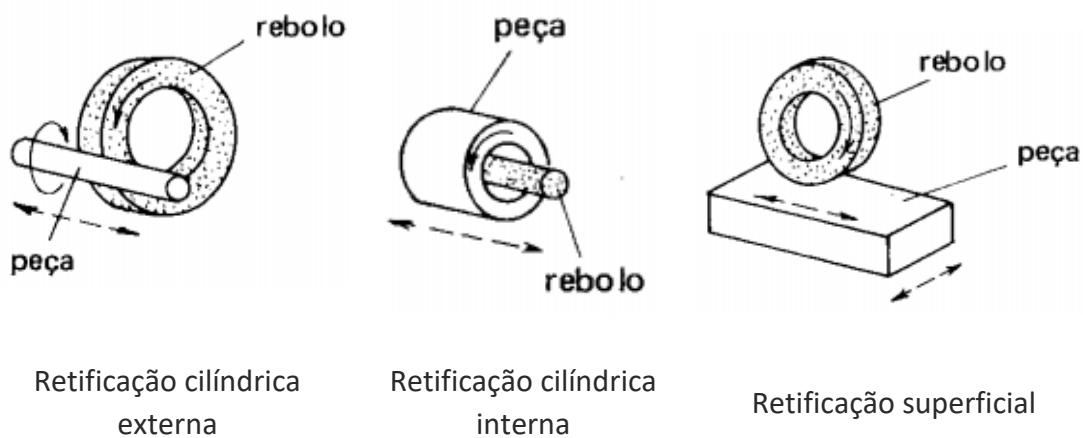
Velocidade de corte [V_c (m/min)] – A velocidade de corte refere-se à velocidade da mó a usar no processo de retificação (Equação 6.5).

$$V_c = \frac{\pi \times d \times n}{1000} \quad (6.5)$$

Diâmetro da peça [d (mm)]

Número de rotações por minuto [n (rpm)]

- Principais operações (Figura 85)



- Equipamentos (Figura 86)



As retificadoras podem ser manuais, semi-automáticas ou automáticas.

6.2 ANEXO 2 – Toleranciamento geométrico

Tabela 61 - Toleranciamento geométrico

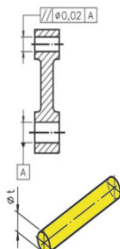
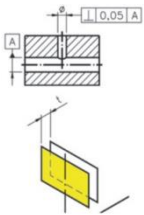
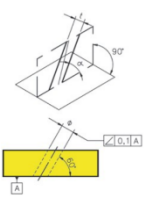
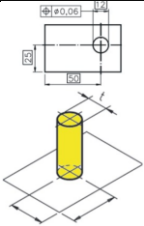
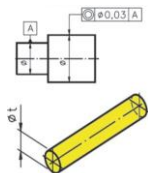
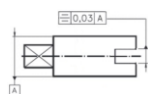
Classe	Símbolo	Característica da tolerância
Tolerâncias de orientação		<p>Paralelismo - É a condição de uma linha ou superfície ser equidistante em todos os seus pontos de um eixo ou plano de referência. Na figura ao lado o eixo superior deve estar compreendido em uma zona cilíndrica de 0.02 mm de diâmetro, paralelo ao eixo inferior “A”, se o valor for precedido pelo símbolo D</p>
		<p>Perpendicularidade - É a condição pela qual o elemento deve estar dentro do desvio angular, tomado como referência o ângulo reto entre o ângulo reto entre uma superfície, ou uma reta, e tendo como referência uma superfície ou reta. Entre duas retas o campo de tolerância é limitado por dois planos paralelos, distantes no valor especificado “t”, e perpendiculares à reta de referência.</p>
		<p>Angularidade - Existem dois métodos para especificar a tolerância angular. Pela variação angular, especificando o ângulo máximo e o ângulo mínimo (Ex: $75^\circ \pm 1^\circ$) ou então através da indicação de tolerância de angularidade, especificando o elemento que será medido e sua referência.</p>
Tolerâncias de posição		<p>Localização – Tolerância determinada por uma superfície esférica ou um círculo, cujo diâmetro mede a tolerância especificada. O centro do círculo deve coincidir com a posição teórica do ponto considerado (medidas nominais).</p>

Tabela 62 - Toleranciamento geométrico (Continuação)

Tolerâncias de posição

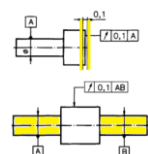


Concentricidade – Definida como a condição segundo a qual os eixos de duas ou mais figuras geométricas são coincidentes. Pode-se definir como tolerância de concentricidade ou excentricidade considerada num plano perpendicular ao eixo tomado como referência. O diâmetro B deve ser concêntrico com o diâmetro A, quando a linha de centro do diâmetro B estiver dentro do círculo de diâmetro, cujo centro está na linha de centro do diâmetro A.

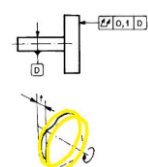


Simetria – A zona de tolerância é limitada por dois planos paralelos, afastados por uma distância igual à sua tolerância “t” e dispostos simetricamente em relação à linha de referência.

Tolerâncias de batimento



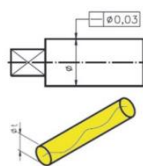
Batimento circular – O batimento circular pode ser radial, axial, em qualquer direção ou numa direção especificada e diz respeito a linhas circulares. Na figura ao lado estão apresentados os batimentos circulares axial, em cima, e radial em baixo. No primeiro caso a zona de tolerância é definida em qualquer posição radial por duas circunferências idênticas, afastadas por uma distância igual à tolerância “t”, definindo assim uma superfície cilíndrica. No caso do batimento circular radial a zona de tolerância é limitada em qualquer plano perpendicular à linha de centro, por dois círculos concêntricos, afastados por uma distância igual à tolerância “t”, cujos centros coincidem com a linha de referência [7].



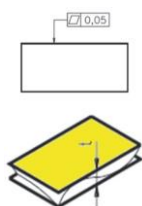
Batimento total - O batimento total é um desvio global, que conjuga desvios de forma, de orientação e de posição (coaxialidade), verificado durante a rotação de um elemento em torno de um eixo de referência. O batimento total pode ser radial ou axial e diz respeito a superfícies de revolução ou circulares. O desvio de batimento total radial, figura ao lado, é o valor conjugado da coaxialidade e da cilíndricidade. O desvio de batimento total axial é o valor conjugado da perpendicularidade e da planeza da face medida.

Tabela 63 - Toleranciamento geométrico (Continuação)

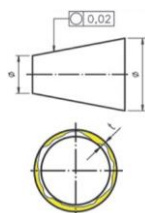
Tolerâncias de forma



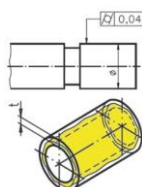
Retitude – É a condição pela qual cada linha deve estar limitada dentro de um valor de tolerância especificada. Se o valor da tolerância (t) for precedido pelo símbolo, o capô de tolerância será limitado por um cilindro (t), conforme figura x



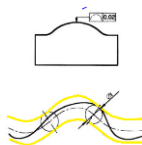
Planeza – Toda a superfície deve estar limitada pela zona de tolerância “ t ”, compreendida entre os dois planos paralelos, distantes “ t ”. O valor da tolerância está relacionado com o valor da tolerância dimensional do elemento. Quando, no desenho, não se especifica a tolerância da planeza, admite-se que ela possa estar limitada pela tolerância dimensional.



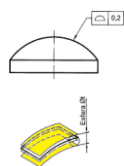
Circularidade – Qualquer círculo deve estar dentro de uma faixa definida por dois círculos concêntricos, distantes no valor da tolerância especificada. De acordo com o campo de tolerância, especificado na imagem ao lado, em qualquer secção transversal é limitado por dois círculos concêntricos e distantes 0.02 mm. Apenas se torna necessário especificar as tolerâncias de circularidade quando os erros permissíveis são muito pequenos.



Cilindricidade – Condição pela qual a zona de tolerância especificada é a distância radial entre dois cilindros coaxiais. Na figura ao lado a superfície deve estar compreendida entre dois cilindros coaxiais, cujos raios diferem 0.04 mm.



Perfil de uma linha qualquer – A zona de tolerância é limitada por duas linhas geradas por um círculo de diâmetro igual à tolerância, cujo centro se situa sobre a linha geométrica teórica [7].



Perfil de uma superfície qualquer – A zona de tolerância é definida por duas superfícies geradas por uma esfera de diâmetro igual à tolerância, cujo centro se situa sobre a linha geométrica teórica [7].

6.3 ANEXO 3 – Ferramentas convencionais de controlo

ESCALAS OU RÉGUAS GRADUADAS

As **escalas ou réguas graduadas** são instrumentos de medição mais utilizados na oficina e permitem, de forma fácil, medir comprimentos quando não é exigida grande precisão. A designação de escala é a mais vulgar.

Geralmente são construídas em aço inoxidável de boa qualidade, com um coeficiente de dilatação muito pequeno e com uma escala graduada num dos bordos ou em ambos (Figura 87), sendo que num dos bordos possui uma escala em milímetros e uma outra em polegadas.

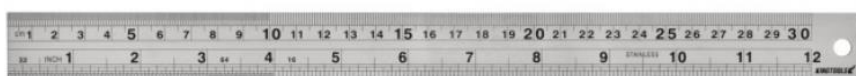


Figura 87 - Escala graduada em ambos os bordos

Para além da régua graduada existem variantes como a **fita métrica**, que podem ter uma capacidade de 1m a 20m e são construídas em aço ou noutro material resistente à deformação. Existe ainda o **metro articulado** com construção maioritária em alumínio ou madeira

PADRÕES LINEARES

Os padrões lineares são medidas materializadas e utilizadas sob diversas formas, entre as quais os blocos-padrão de faces planas e paralela, padrões cilíndricos de extremos planos e padrões cilíndricos para diâmetros.



Figura 88 - Bloco padrão

Os **blocos padrão** (Figura 88) são paralelepípedos de espessuras diversas, que, por sobreposição de uns sobre os outros, permitem diferentes comprimentos. Tendo em conta as suas propriedades e características metrológicas, os blocos-padrão são considerados padrões de referência na calibração de instrumentos de medição ou controlo. São instrumentos muito utilizados para verificação dimensional diretamente, individualmente ou associados, com ou sem acessórios específicos, podendo ainda ser empregues como calibres de limites de tolerâncias (Tipo Passa/Não Passa). Ao nível das propriedades físicas, químicas e mecânicas assume grande importância, pelo facto de ser necessário garantir a sua estabilidade dimensional, a resistência ao desgaste, a homogeneidade do material e a resistência à corrosão. Segundo a Norma ISO 3650:1998 os blocos padrão dividem-se em 5 classes de precisão ou qualidade [7].

- 00 (Padrão de referência em laboratório de metrologia);
- K (Mesma aplicação dos blocos classe 00, mas com menor precisão);
- 0 (Utilizado como padrão de referência na calibração dos blocos padrão de classe 1 e 2. Calibração de instrumentos);
- 1 (Mesma aplicação dos blocos classe 0, mas com menor precisão. Calibração de padrões de trabalho e instrumentos de medição);
- 2 (Uso geral, calibração de instrumentos de medição convencionais, medição e calibração de padrões de trabalho sempre que a precisão seja compatível). De igual importância referir que tem de garantir as tolerâncias para o paralelismo entre superfícies de medição e para a perpendicularidade entre superfícies de medição e lateral.

Os **padrões cilíndricos de extremos planos** (Figura 89) são utilizados maioritariamente na calibração de instrumentos. A norma BS 5317:1976 – *Specification. Metric length bars and their accessories* serve como referência para os padrões cilíndricos de extremos planos. Assim como nos blocos padrão esta norma também define classes de precisão ou de qualidade, que correspondem ao tipo de utilização: R (Referência); C (Calibração); I (Inspeção); W (Trabalho)



Figura 89 - Padrão cilíndrico de extremos planos

Existem ainda os **padrões cilíndricos para diâmetros: anéis** (Figura 90) e **tampões** (Figura 91) utilizados geralmente no controle e ajustamento de paquímetros e de micrómetros, exteriores e inferiores.



Figura 90 - Padrão cilíndrico - Anel



Figura 91 - Padrão cilíndrico - Tampão

PAQUÍMETROS

O paquímetro consiste essencialmente numa régua graduada (escala principal) à qual está acoplada uma outra régua graduada secundária, o nónio, que permite efetuar medições com maior precisão. O **nónio** é uma régua ou escala auxiliar acoplada à escala principal do instrumento de medida e que permite a obtenção de uma fração da menor divisão da escala principal [5].

Para os paquímetros existem três sistemas de leitura que se destacam na Figura 92 como é o caso do analógico com nónio retilíneo (A), analógico com escala circular (B) e por último o digital (C).

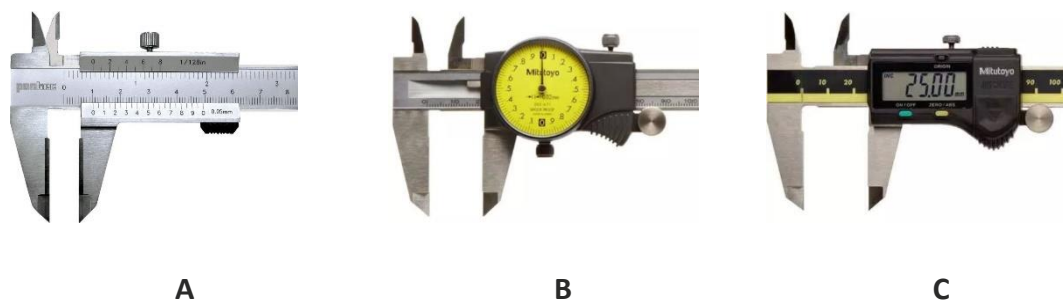


Figura 92 - Sistemas de leitura nos paquímetros

No que respeita às resoluções, no caso do sistema analógico com nónio retilíneo, esta depende do número de divisões do nónio. No segundo sistema, analógico com escala circular, é geralmente utilizada uma resolução de 0.01 mm ou de 0.02 mm, e por último, no sistema digital, uma resolução de 0.01 mm.

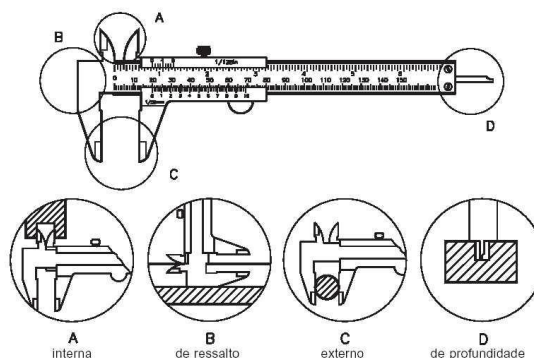


Figura 93 - Utilizações do paquímetro

O paquímetro convencional apresenta várias opções de utilização na medição de peças. Destaca-se então, como comprova a Figura 93, a medição de diâmetros interiores e exteriores, distâncias entre faces, espessuras, profundidades e ressaltos. Pode ainda ser acrescentado que funciona ainda como instrumento auxiliar na traçagem e na verificação de perpendicularidades e paralelas.

Existem variantes do paquímetro convencional com diferentes utilizações. Abaixo são apresentados três paquímetros diferentes, considerados paquímetros especiais. Na Figura 94, o paquímetro (A) que tem por objetivo a medição de profundidades, ressaltos e saliências. De seguida, o paquímetro (B) auxilia a medição da profundidade de escatéis. Por último, o paquímetro especial (C) para a medição da distância entre centros.

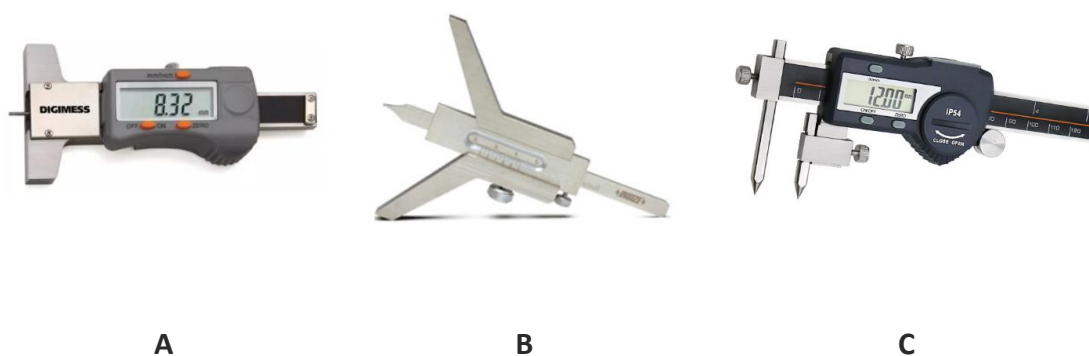


Figura 94 - Tipos de paquímetros

GRAMINHOS

O graminho surge como um instrumento derivado do paquímetro e que tem diversas aplicações, nomeadamente na medição, traçagem, verificação e comparação de medidas. O mais comum dos sistemas de leitura nos graminhos é o analógico com nónio retilíneo e o digital. De salientar que tanto os sistemas de leitura como as resoluções são análogas ao paquímetro [7].

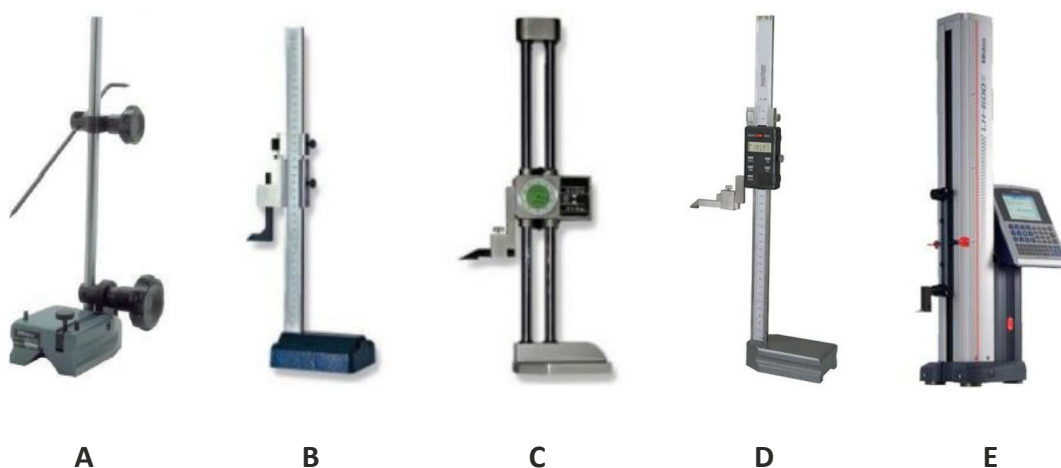


Figura 95 - Tipos de graminhos

Assim como nos paquímetros, os graminhos também sofrem vários tipos de utilização. Estes diferenciam-se pelas suas utilizações, no entanto, em alguns deles, o recurso a acessório torna-os aptos para realizar diferentes tipos de medições, verificações e comparações de medidas. Na Figura 95 são apresentados exemplos de utilização. Enquanto o primeiro exemplo A faz referência a um graminho para uma simples traçagem, o caso B, C, D e E menciona graminhos de medição com diferentes sistemas de leitura. Os graminhos B e C são ambos com sistema de leitura analógica, retilíneo e circular respetivamente enquanto D e E são de leitura digital com o acréscimo do processador no último exemplo.

Como já foi referido anteriormente as utilizações dos graminhos dependem dos acessórios, contudo existem utilizações correntes de medição e verificação com distancia entre faces ou ressaltos, paralelismo entre faces e perpendicularidades.

MICRÓMETROS

O princípio de funcionamento do micrómetro assemelha-se ao do sistema parafuso e porca. Assim há uma porca fixa e um parafuso móvel que, se der uma volta completa, provocará um deslocamento igual ao seu passo. O micrómetro é um instrumento de medição direta (Figura 96) [7].

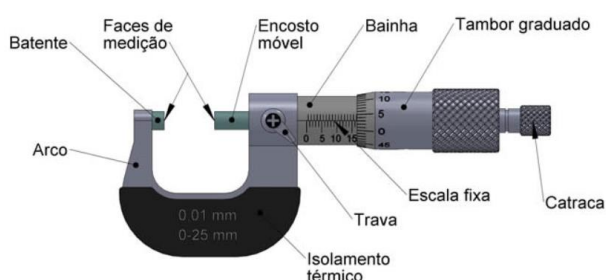


Figura 96 - Micrómetro e componentes

Maioritariamente são utilizados micrómetros analógicos com nônio em tambor (A), digitais (B) ou analógico-digital (C) (Figura 97). Quanto à resolução, no caso do sistema analógico com nônio, esta depende das escalas gravadas nos tambores acoplados e do número de divisões do respetivo nônio. Já no caso do sistema digital ou no analógico-digital tem geralmente uma resolução de 0.001 mm.

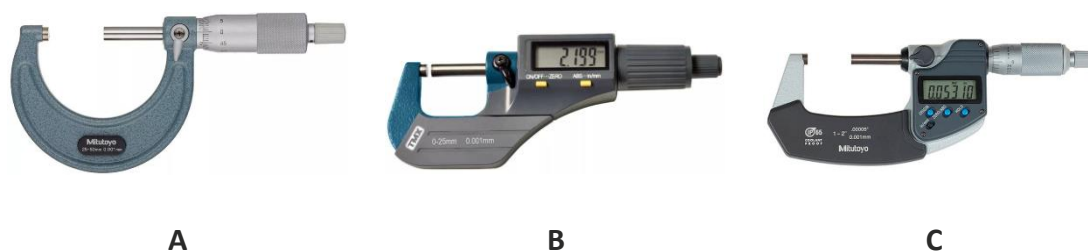


Figura 97 - Sistemas de leitura de micrómetros

É apresentado, na Figura 98, os tipos de micrómetros predominantemente usados. Para além do micrómetro para exteriores apresentado na Figura 97, de uso corrente, existem os micrómetros de duas e três pontas para interiores (A), o micrómetro para medição de profundidades (B), o micrómetro de roscas (C) e por último o micrómetro de pratos (D).

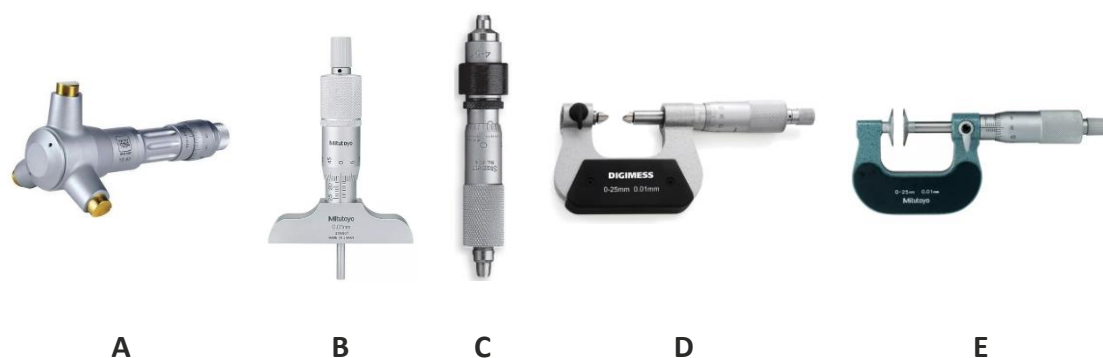


Figura 98 - Tipos e utilizações dos micrómetros

RELÓGIO COMPARADOR

Como o próprio nome indica o comparador é um instrumento que nos permite medir através de comparação, ou seja, conhecer o estado de determinada grandeza de uma peça, comparando-a com um padrão de valor conhecido (Figura 99).

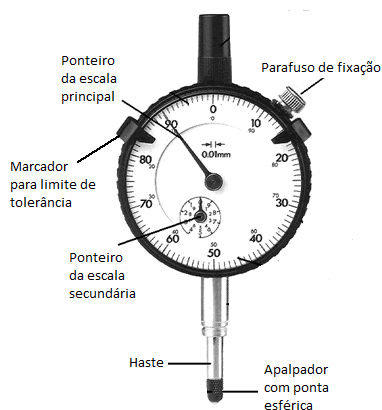


Figura 99 - Relógio comparador e componentes

A fiabilidade do sistema de amplificação da medida dita o maior ou menor rigor de um sistema de leitura metrológica. No caso dos relógios comparadores, a amplificação pode ser obtida através de vários tipos de transmissão de movimento nos quais se destacam os mecânicos, os pneumáticos, os elétricos e os eletrónicos. Os sistemas de amplificação mais utilizados são o mecânico e o eletrónico, com a vantagem de o eletrónico permitir uma leitura rápida e instantânea no visor, conversão de unidades e a ligação na um microprocessador de dados. Quanto aos sistemas de leitura metrológica os mais utilizados são os analógicos (A) e os digitais (B), apresentados na Figura 100.



Figura 100 - Sistemas de leitura de relógios comparadores

No que respeita à resolução pode variar, normalmente, entre 0.01 mm, 0.002 mm, 0.001 mm e 0.0005 mm (digitais). Quanto aos cursos de apalpador varia consoante o tipo, mas os mais comuns são de 1 mm, 3 mm, 5 mm e 10 mm.

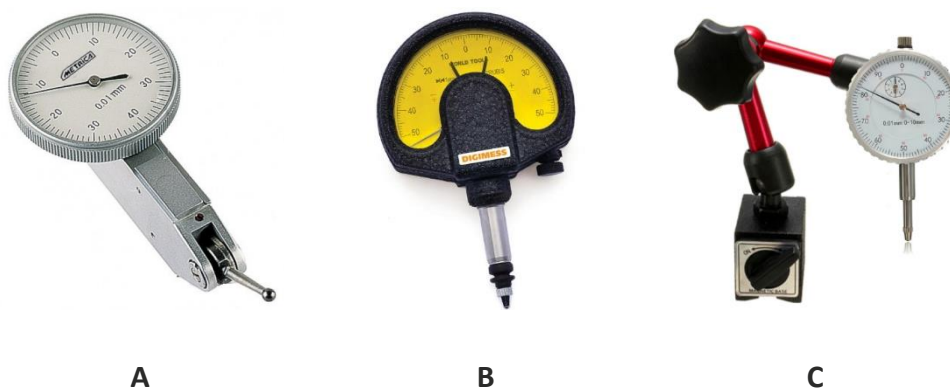


Figura 101 - Tipos de relógios comparadores

Existem vários tipos de comparadores e acessórios no mercado, que permitem inúmeras aplicações, alguns deles exemplificados na Figura 101. Nesta imagem são apresentados três diferentes tipos de comparadores de amplificação mecânica, mas que se podem dividir em dois grupos distintos. No caso (A) estamos perante um comparador de alavanca enquanto no caso (B) e (C) são comparadores de engrenagens. Os comparadores de engrenagens são maioritariamente utilizados quando se pretende deslocar a haste segundo o seu eixo, já o comparador de alavanca, que é considerado uma variante do comparador, é utilizado, principalmente, quando se pretende uma deslocação lateral do apalpador. Algumas das utilizações correntes passam por [7]:

- Medição de comprimentos e diâmetros;
- Verificação de paralelismos entre faces, planezas;
- Verificação de circularidade e da cilindricidade;
- Verificação de perpendicularidades;
- Medição de folgas.

SUTAS

As sutas são instrumentos que permitem medir, verificar por comparação e ainda transferir ângulos, ou seja, permite conhecer o estado de determinada grandeza, comparando-a com um padrão de valor conhecido (Figura 102).

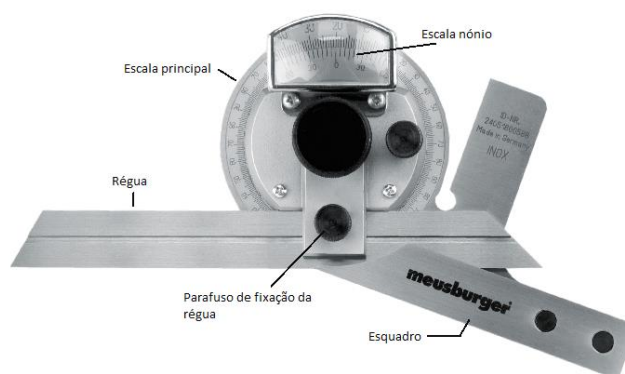


Figura 102 - Suta e componentes

Os sistemas de leitura baseiam-se no analógico com nónio circular (A), digital (B) e analógico-digital com escala circular (Figura 103).



Figura 103 - Sistemas de leitura de sutas

BLOCOS ANGULARES

Como o próprio nome indica, os blocos angulares (Figura 104), devido às suas propriedades e características metrológicas, são utilizados principalmente no controle de ângulos. A norma de referência para estes tipos de bloco é a Norma ISO 3650:1998 – *Geometrical Product Specifications (GPS) – Length standards – Gauge blocks*.

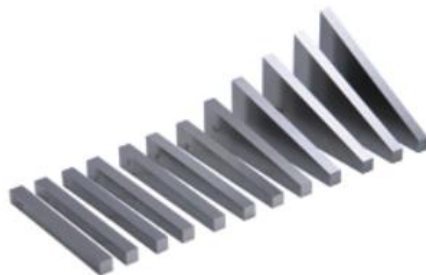


Figura 104 - Blocos angulares

Assim como os blocos padrão podem ser associados para formar ângulos variados. No que respeita aos blocos angulares existem dois tipos de conjuntos:

- Tipo A – 41°; 27°; 9°; 3°; 1°; 27'; 9'; 3'; 1'; 30''; 18''; 6''; 3''
- Tipo B – 45°; 30°; 15°; 5°; 3°; 1°; 30'; 20'; 10'; 5'; 3'; 30''; 10''

ESQUADROS

São caracterizados por terem, pelo menos, duas arestas, entre as quais se forma um ângulo de 90°. Normalmente são constituídos por duas réguas de seção retangular ligadas entre si e com lados desiguais (Figura 105). Para os esquadros em aço a norma de referência é a Norma DIN 875-1:2005 *Geometrical Product Specifications (GPS) – Squares 90° - Part 1: Steel squares 90°*.



Figura 105 - Esquadro

Na Figura 106 são apresentados cinco tipos de esquadros diferentes mais frequentes. Embora a conceção dos esquadros seja variável consoante o tipo de utilização destacam-se alguns como é o caso do esquadro cilíndrico ou padrão (A), geralmente utilizado como esquadro padrão no controle de outros esquadros. De seguida o esquadro plano (B), designado também por esquadro simples, é utilizado principalmente para a verificação de esquadrias e perpendicularidades. Na terceira imagem está representado um esquadro de cepo (C), em que a sua base, com maior espessura, permite que fique de pé e se possa encostar a face da superfície da peça. Na imagem D, conhecido como esquadro de cantos, e um misto entre o esquadro plano e o de cepo. Por último o esquadro de centros (E) que é uma variante dos esquadros anteriores e é utilizado para determinar ou traçar o centro de secções circulares [7].

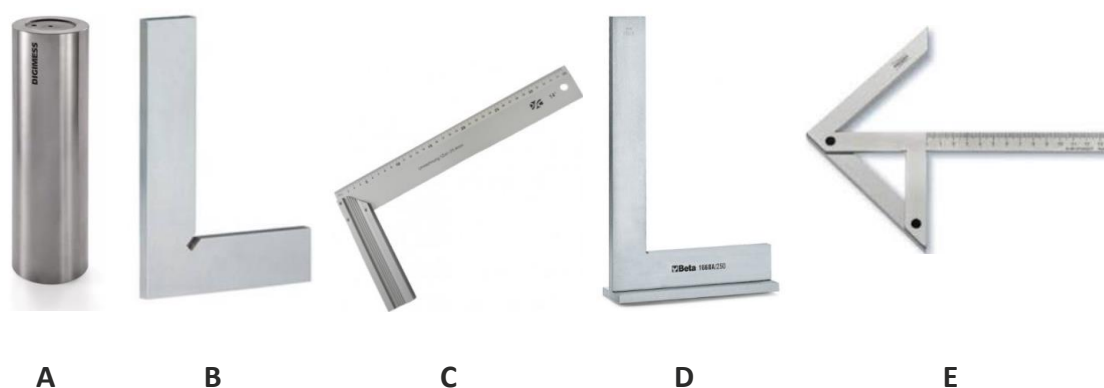


Figura 106 - Tipos de esquadros

Segundo a norma DIN 875-1:2005 os esquadros estão divididos por classes de precisão, mencionadas abaixo, às quais correspondem erros máximos admissíveis de perpendicularidade, entre as arestas ou superfícies de medição dos esquadros. A variação de perpendicularidade corresponde ao desvio (d), em mm, da aresta do esquadro, relativamente a uma linha perpendicular à superfície plana de referência, medido na altura (L).

- 00 - $\pm (0.002+L / 100000)$
- 0 - $\pm (0.005+L / 50000)$
- 1 - $\pm (0.010+L / 20000)$
- 2 - $\pm (0.00+L / 10000)$

CALIBRES DE LIMITES DE TOLERÂNCIAS (TIPO PASSA/NÃO PASSA)

As dimensões de um determinado elemento de uma peça podem ser controladas através de medição com recurso a instrumentos diversos ou com recurso a verificadores especiais designados por calibres de limites ou calibras Passa/Não-Passa (Figura 107).

Desta forma os calibres materializam as tolerâncias dimensionais e/ou geométricas definidas, sendo utilizados para garantir que as cotas vão de encontro aos requisitos estabelecidos numa norma e/ou especificação. As utilizações destes instrumentos recaem principalmente sobre a verificação de furos, veios e roscas [7].

Tendo em conta todo o desgaste, devido ao processo de utilização por verificação, os calibres são sujeitos a tratamentos e a uma escolha cuidadosa do material de construção com o principal objetivo de lhes conferir maior resistência ao desgaste e boa estabilidade dimensional. Devem ser conservados secos e isolados de qualquer humidade.

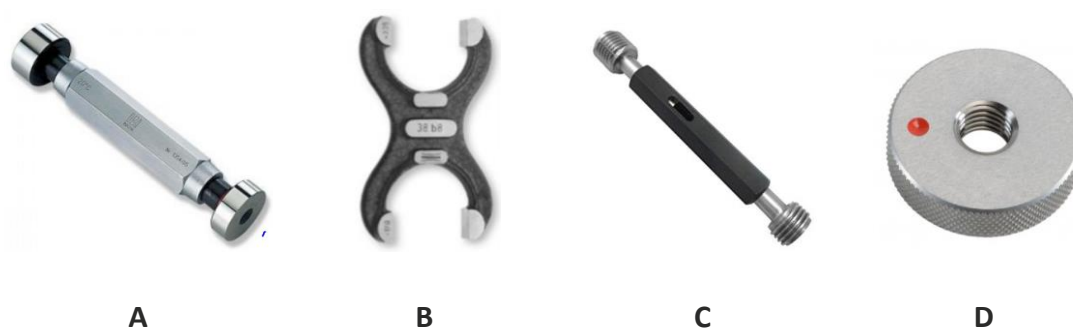


Figura 107 - Tipos de calibres

Na Figura 107 estão representados um calibre para verificação de furos (A – Tampão cilíndrico), um calibre para verificação de veios (B – Plano com maxilas), um calibre para verificação de furos roscados (C – Calibre tampão cilíndrico de roscas) e por último um calibre para verificar veios roscados (D – Calibre anel cilíndrico de roscas)

Os calibres podem ser avaliados quanto à sua forma, construção e utilização. No que diz respeito à forma pode ser classificado como calibre de forma completa, incompleta e com contacto integral ou como calibre de forma incompleta e com contacto parcial. Para a sua construção podemos considerar o calibre com limite fixo (Utilizado apenas para a dimensão ou forma materializada), calibre com limite ajustável (Utilizado, após ajustamento da dimensão ou forma limite, para verificar determinado comprimento) ou, por último, o calibre com indicador (Permite indicar o valor dos desvios em relação à dimensão ou forma limite). Quando à sua utilização podemos considerar os calibres para verificação de veios ou para verificação de furos. Para a verificação de veios existe o anel cilíndrico e o plano com maxilas, para os furos existe o tampão cilíndrico e o plano com sector circular [7].

Para a correta utilização destes calibres e para além da sensibilidade e experiência do controlador existem ainda condições que são essenciais:

- Temperatura: Segundo a ISO 1:1975, a temperatura de referência para medidas de comprimento é de 20°C (68°F). A peça deverá estagiar por um período que permitirá que fique estabilizada a nível dimensional.
- Força a utilizar: Os resultados podem ser falseados com a utilização de força excessiva. A utilização manual dos calibres de limites na verificação exige vários cuidados de força aplicada e posicionamento em relação ao elemento que é verificado. A incorreta utilização pode mesmo deformar a peça ou até mesmo o calibre.

Na verificação o calibre deverá ter um diâmetro igual à cota mínima especificada, para o elemento da peça que se pretende verificar. Por outro lado, o calibre não deverá ter um diâmetro igual à cota máxima especificada, para o elemento da peça que se pretende verificar.

Geralmente os calibres de limites de tolerâncias têm inscritos alguns dos seguintes dados:

- Registo de indicação: P (Passa) ou NP (Não Passa);
- Dimensão nominal (mm);
- Tolerância;
 - Segundo a norma ISO (Ex: 20h7);
 - Segundo a representação direta (Ex: $20_0^{+0.021}$);
- Cota máxima ou cota mínima;
- Desvios limite (Desvio Superior ou Desvio Inferior);
- Fase do processo em que o calibre de limites é utilizado;
- Código de identificação (registo) do calibre;

ESCANTILHÕES

Os escantilhões (Figura 108) materializam a forma ou geometria de determinado elemento definido no desenho técnico e são utilizados para assegurar a conformidade desse elemento para com os requisitos estabelecidos por uma norma ou numa especificação. Geralmente os elementos mais verificados por estes instrumentos são os raios, perfis de roscas, folgas e diâmetros.

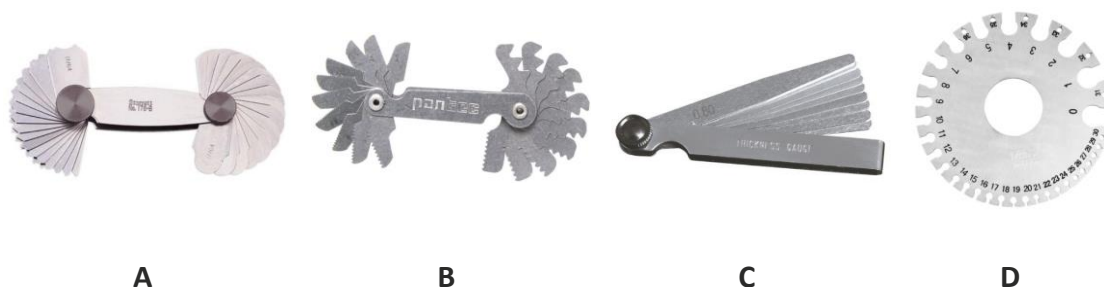





Figura 108 - Tipos de escantilhões








Assim sendo, no que diz respeito à sua utilização existem os escantilhões de raios (A - Côncavos e convexos), escantilhões de perfis de roscas (B), escantilhões de folgas (C - Apalpa folgas) e por último os escantilhões de diâmetros (D).

A utilização dos escantilhões é simples, rápida e económica. É muito utilizada na produção em série pelo próprio operador do equipamento de produção, permitindo uma intervenção corretiva imediata quando necessária. São construídos maioritariamente em aço de liga tratado, em chapa e com espessuras variáveis consoante a sua aplicação [7].

6.4 ANEXO 4 – Gama de produção

GAMA DE PRODUÇÃO			Editado no [REDACTED]
			Page : 1/3
Encomenda Número : [REDACTED] Posição N° : 0020 Encomenda interna [REDACTED] Quantidade encomendada <div style="border: 1px solid black; width: 100px; text-align: center; margin: 5px auto;">1</div>	Obra Número : [REDACTED] BRUT N° [REDACTED] Quantidade em stock Quantidade por produzir Prazo Obra <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 5px;"> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; text-align: center;">0</div> <div style="border: 1px solid black; width: 60px; text-align: center; font-weight: bold;">1,00</div> <div style="border: 1px solid black; width: 60px; text-align: center;">[REDACTED]</div> </div>		
Cliente [REDACTED]	O Nosso representante [REDACTED]		
NOTA: SANS TRAITEMENT SEM PINTURA + CERTIFICADO MATERIAL CCPU 3.1 E LISTAGEM DE TODAS AS COTAS SEGUINDO PROTOCOLO CTQ (CONTROLE A 100% DAS COTAS)			
GAMA E NOMENCLATURA Número : 11794629-01/A/STFOC Rang : 1 Modèle : 1	PEÇA Referência: [REDACTED] Designar : FC Peça Mãe : [REDACTED] Desenho:		
Nomenclatura Linha1			
Posição N°	Artigo	Qty Nomencl.	
10	[REDACTED] PEÇA CONFORME DESENHO [REDACTED] SUBCONTRATAÇÃO 0200144	1 (u)	
20	VST52Ø180 VARÃO ST52 Ø180 MM 98 MM SUBCONTRATAÇÃO Reservas : N°41771 Quant.:0.098 0200145	98 (mm) seja 19.58 kg	
30	TST52Ø273XØ223 TUBO ST52 Ø273 X Ø223 MM 312 MM SUBCONTRATAÇÃO 0200146	312 (mm) seja 49.14 kg	

GAMA DE PRODUÇÃO							Editado no [REDACTED]	
Obra: 78 318			Linha: 1		Peça: [REDACTED]			
Nomenclatura Linha1							Cont. 1	
Posição Nº	Artigo					Qty Nomencl.		
40	CAVILHA CIL. TEMPERADA Ø10X45 SOLDADURA  0200147					4 (u)		
50	PARAF.CAB.CIL. UMBRAKO M8 X 35 AÇO  0200148					6 (u)		
60	PALIER SUPERIEUR MAQUINAR PEÇA CONFORME [REDACTED]  0200149					1 (u)		
Gama RANG 1								
Fase	Designar	Centro de	Tempo previsto		Quantit é finie	Quantit é non	Visa	
			TP	TF (min)				
10	COMPRAS	NOMEN						
20	SUBS CORTE LASER [REDACTED] PEÇA CONFORME DESENHO Para mais detalhes, ver fase10 dans la nomenclature	STLAS						
30	SUBS MATERIAL	STMAT						
	Nomenclatura associada							
	Designar	Quantidade						
	VST52Ø180	VARAO ST52 Ø180 MM		98,000 mm				
40	SUBS MATERIAL TST52Ø273XØ223 (F0342) TUBO ST52 Ø273 X Ø223 MM Para mais detalhes, ver fase30 dans la nomenclature	STMAT						
50	SUBS MATERIAL CAVILHA CIL. TEMPERADA Ø10X45 (F0006) SOLDADURA Para mais detalhes, ver fase40 dans la nomenclature	STMAT						
60	SUBS MATERIAL PARAF.CAB.CIL. UMBRAKO M8 X 35 (F0006) AÇO Para mais detalhes, ver fase50 dans la nomenclature	STMAT						

GAMA DE PRODUÇÃO							
Obra: 78 318		Linha : 1		Peça : 11794629-01/A/STFOC			
				Tempo previsto		Quantit	Quantit
Fase	Designar	Centro de	TP	TF (min)	é finie	é non	Visa
70	SERROTE	SERR		0,01			
		N° da picagem 643334					
80	SUBCONTRATAÇÃO MAO DE OBRA [REDACTED] Para mais detalhes, ver fase80 dans la nomenclature	STUSF					
90	PINGAR	PINGA		20,00			
		N° da picagem 643336					
100	SOLDAR	SOLDA		20,00			
		N° da picagem 643337					
110	DESEMPENAR	DESEM		20,00			
		N° da picagem 643338					
120	TORNO INTEGRIX	INTEG	2,00	150,00			
		N° da picagem 643339					
130	ACABAMENTOS	ACAB		45,00			
		N° da picagem 643340					
140	CONTROLE/EMBALAGEM	CTEMB		0,01			
		N° da picagem 643341					

6.5 ANEXO 5 – Ficha de não conformidade do controlo de qualidade

	FICHA DE NÃO-CONFORMIDADE	
Obra: [REDACTED]	Construção: [REDACTED]	
Encomenda: [REDACTED]	Quant. NC: [REDACTED]	
Cliente: [REDACTED]		
Descrição da não conformidade:		
[REDACTED]		
Controlador: [REDACTED]	Data: [REDACTED]	Visa:
Tratamento da não conformidade:		
Retoque <input type="checkbox"/>	[REDACTED]	
Recusa <input type="checkbox"/>		
Outro <input type="checkbox"/>		
Responsável do cliente:	Data:	Visa:

6.6 ANEXO 6 - Ficha de não-conformidade

		Ficha de não conformidade [REDACTED]	
		FNC INTERNA - CLIENTE : [REDACTED]	
Obra N° [REDACTED]	Encomenda: [REDACTED]	GR N°: [REDACTED]	
Referência: [REDACTED]		[REDACTED]	
Nossa Ref. : [REDACTED]	Linha : [REDACTED]		
Peça [REDACTED]	Índice : [REDACTED]		
Qtd receb. : [REDACTED]	Qtd conforme : [REDACTED]	Qtd recusada : [REDACTED]	
Nome : [REDACTED]		Data : [REDACTED]	
TRATAMENTO DE NÃO CONFORMIDADE			
NÃO CONFORMIDADE DETECT En interne lors d'un contrôle intermédiaire			
DESCRIÇÃO DA NÃO CONFORMIDADE		Nome : [REDACTED]	[REDACTED]
Documentos vazios: [REDACTED]		Data : [REDACTED]	
DECISÃO CORRECTIV		Nome : [REDACTED]	[REDACTED]
		Data : [REDACTED]	
Retomada REJEITA RETORNO CLIENTE	1	<u>EM ESPERA DE RESPOSTA</u>	
		Documento : <u>DERROGAÇÃO</u> Aceite como tal :	Documento
		Reparação :	Documento
EFETUAR PEÇA NOVA			
TRATAMENTO DA ACÇÃO CORRECTIVA			
CAUSAS DA NÃO CONFORMIDADE		Nome : [REDACTED]	[REDACTED]
		Data : [REDACTED]	
CONSEQUÊNCIAS DA NÃO CONFORMIDADE		Nome : [REDACTED]	Assina
		Data : __/__/__	
ACÇÃO CORRECTIVA OU PREVENTIVA <i>ACTION CORRECTIVE</i>		Nome : [REDACTED]	[REDACTED]
		Data : [REDACTED]	PRAZO : [REDACTED]
VERIFICAR A RECORENCIA DA CAUSA DE MODO A VERIGUAR A NECESSIDADE DE SENSIBILIZAÇÃO/FORMAÇÃO			