



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**OPTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE MAQUINAGEM DE
COMPONENTES PARA A INDÚSTRIA AUTOMÓVEL**

João Pedro Rodrigues Ala de Matos



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

OPTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE MAQUINAGEM DE COMPONENTES PARA A INDÚSTRIA AUTOMÓVEL

João Pedro Rodrigues Ala de Matos

1121016

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 Francisco José Gomes da Silva, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP e com a Co-orientação do Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP.

Júri

Presidente	Doutor Manuel Joaquim Pereira Lopes <i>Professor Coordenador, Instituto Superior de Engenharia do Porto</i>
Orientador	Doutor Francisco José Gomes da Silva <i>Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto</i>
Co-Orientador	Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho <i>Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto</i>
Arguente	Doutora Maria Teresa Ribeiro Pereira <i>Professora Adjunta, Escola Superior de Estudos Industriais e de Gestão do IPP</i>

Agradecimentos

Ao longo do Mestrado em Engenharia Mecânica tive o verdadeiro privilégio de conhecer pessoas fantásticas, que de alguma forma marcaram a minha vida, quer tenha sido pelo companheirismo, quer seja pela amizade. A todos eles um grande bem-haja e um singelo muito obrigado.

Ao Eng. Francisco Silva, pela amizade, pelas excelentes orientações dadas no desenvolvimento deste trabalho, pela dedicação e tempo despendido, bem como pelo constante estímulo para ir mais além.

Ao Eng. Campilho, pelo excelente trabalho e orientação bem como pela constante disponibilidade em me auxiliar na prossecução dos meus objetivos.

Aos meus companheiros de mestrado, pela união, pela partilha de conhecimentos, pela entreatajuda, bem como pela amizade.

À Elsa Vieira, ao Ricardo Macedo e à Bibiana Martins, pela amizade, pela confiança demonstrada, pela ajuda dentro e fora da empresa, pelo interesse demonstrado, e claro, por toda a orientação dada. E, como não poderia deixar de ser, pela paciência também.

À Cristiana Vieira, pela amizade, pelos conselhos dados, pelo apoio incondicional e por toda a força dada durante este projeto e mais uns quantos.

Ao Gustavo Pinho, pela amizade, pelas críticas construtivas, pelo interesse demonstrado e por toda a força ao longo de todos os meus projetos.

À minha namorada, Diana Ferreira, pela amizade, companheirismo, empatia, entreatajuda, motivação, amor, dedicação em ter estado sempre a meu lado, e todo o apoio demonstrado ao longo de todo este trabalho.

Aos meus pais, pela ajuda, pela confiança, pelos conselhos dados e pelo apoio incondicional, não só durante este projeto, como também ao longo de todos os meus projetos.

Todos vocês são parte integrante deste trabalho, sem vocês este trabalho não seria possível.

A todos vós, um grande muito obrigado.

Resumo

A indústria automóvel exige, em geral, elevados índices de produtividade e qualidade. Para corresponder às exigências deste tipo de indústria, são requeridos métodos avançados de produção, tentando eliminar ao máximo operações que não gerem valor acrescentado e que possam introduzir problemas no processo de garantia da qualidade.

A maquinagem por arranque de apara é um processo utilizado de forma intensiva na indústria automóvel. No entanto, enquanto em componentes críticos como o motor, os processos estão já altamente otimizados, o mesmo não se verifica na maior parte dos sistemas periféricos, normalmente realizados por empresas mais pequenas que gravitam em torno dos principais fornecedores da cadeia de produção de automóveis. Os sistemas responsáveis pela movimentação dos limpa pára-brisas e elevação dos vidros, entre outros, encontram-se neste grupo.

Este trabalho visa essencialmente otimizar o processo de maquinagem de componentes periféricos de automóveis, sujeitos a diferentes operações em vários planos. No entanto, e tal como em muitas outras situações relacionadas com a variedade de versões existentes na indústria automóvel relativamente a cada sistema, pretende-se que o processo seja suficientemente versátil para poder ser aplicado em vários componentes de uma mesma família de produtos, necessitando de um número de ajustes o mais baixo possível.

O estudo passou por uma análise profunda das similaridades geométricas dos diferentes componentes, análise dos planos de maquinagem de cada componente, operações envolvidas, elencação da necessidade específica de ferramentas, elaboração de gabaritos de fabrico e apresentação da solução final, a qual passa pela introdução de um 4º eixo e do seu controlo através do sistema CNC já existente, assim como pela elaboração de novos programas.

Palavras-chave

Maquinagem por arranque de apara, Produtividade, Competitividade, Indústria automóvel, Processos flexíveis

Abstract

The automotive industry generally requires high levels of productivity and quality. In order to achieve the usual requirements of this kind of industry, advanced production methods are needed, trying to avoid operations that do not generate added value and that introduce problems in the quality assurance process.

Machining is an intensively used process in the automotive industry. However, while in critical components such as the engine, the processes are already highly optimized, the same is not true for the most peripheral systems, usually fabricated by smaller companies gravitating around the production chain main suppliers. The wipers and door window motion systems, among others, are included in this group.

This work aims to optimize machining process of the automotive peripheral components, subject to different operations in several plans. However, as in many other situations related to the automotive industry, there is a large number of versions around each system. Thus, the final solution intends to be versatile enough to be able to be applied in several components of the same products family, requiring the fewest number of adjustments as possible.

The study was carried out passing by an in-depth analysis of the geometric similarities of the different components, analysis of each component, machining operations involved, enumeration of the specific tools needed, jigs drawing and presentation of the final solution, which passes by the introduction of the 4th axis and its control through the existing CNC system and development of new programs.

Keywords

Machining processes, Productivity, Competitiveness, Automotive industry, Flexible processes

Lista de Símbolos e Abreviaturas

Al_2O_3 – Alumina

ap – profundidade de corte (mm)

C - Carbono

CAD - *Computer-aided manufacturing*

CAM - *Computer-aided design*

CBN - Nitreto de Boro Cúbico

CNC – *Computer Numerical Control*

Co - Cobalto

Cr - Crômio

CVD - *Chemical vapor deposition*

D – Diâmetro (mm)

E – Módulo de elasticidade

F - Frequência de descarga elétrica

FeO – Óxido de ferro

f_n – Avanço por rotação (mm/rot)

f_z – Avanço por dente (mm/dente)

GAP - Distância ótima entre ferramenta e peça a maquinar

heq – Espessura de corte equivalente

h_{max} – Espessura máxima de cavaco

HSS - *High-speed steels*

HV – Dureza *Vickers*

I – Intensidade de corrente de descarga

K_r – Ângulo de posição (°)

m – Minuto

M1 - Índice de material relativamente ao atributo 1

M2 - Índice de material relativamente ao atributo 2

M3 - Índice de material relativamente ao atributo 3

M4 - Índice de material relativamente ao atributo 4

M5 - Índice de material relativamente ao atributo 5

M6 - Índice de material relativamente ao atributo 6

M7 - Índice de material relativamente ao atributo 7

MG – *Metallic gear housing*

mm - Milímetros

Mn - Manganês

MnS – Sulfeto de manganês

Mo - Molibdénio

n - Velocidade de rotação (rpm)

Nb – Nióbio

Ni – Níquel

PCD - Diamante policristalino

PVD - *Physical vapor deposition*

Rpm – Rotações por minuto

s - Segundo

Si - Silício

Si₃N₄ – Nitreto de Silício

SiC – Carboneto de Silício

Ta – Tântalo

Ti – Titânio

TiC – Carboneto de titânio

TiN – Nitreto de titânio

t_o – Tempo de pausa (μs)

V – Vanádio

V_c – Velocidade de corte (m/min)

v_f – Velocidade de avanço (mm/min)

W - Tungstênio

Z_c - Número total de arestas de corte efetivas na ferramenta

ZrO₂ - Óxido de Zircônio

ρ - Densidade

σ_f – Resistência à fadiga

Índice de Figuras

Figura 1 – Aspeto do tipo de produção baseada em capital-intensivo [24].....	29
Figura 2 - Aspeto do tipo de produção baseada em trabalho-intensivo [25]	30
Figura 3 - Evolução dos paradigmas produtivos [32].....	34
Figura 4 - Capacidade produtiva dos diferentes sistemas de produção [32]	34
Figura 5 - Torneamento CNC [40].....	39
Figura 6 - Torno paralelo convencional [41].....	40
Figura 7 - Torno automático [42].....	40
Figura 8 - Torno CNC [43].....	41
Figura 9 – Parâmetros principais para delinear uma estratégia de torneamento [35]	42
Figura 10 - Fresadora horizontal [44].....	43
Figura 11 - Fresadora vertical [45].....	44
Figura 12 - Centro de fresagem CNC [46].....	44
Figura 13 - Distintas ferramentas com diferente número de arestas [35]	45
Figura 14 - Representação gráfica da definição do avanço por dente [35]	46
Figura 15 - Representação da profundidade de corte em fresagem [35].....	46
Figura 16 - Diversos modelos de brocas [47].....	47
Figura 17 – Furadora de coluna convencional [49].....	48
Figura 18 - Furadora CNC de cabeça múltipla [50]	49
Figura 19 - Furadoras CNC de cabeçotes múltiplos [51]	49
Figura 20 - Processo de retificação plana [53].....	51
Figura 21 - Retificadora plana [55]	52
Figura 22 - Retificadora cilíndrica universal [56]	53
Figura 23 - Exemplo de operação numa retificadora cilíndrica universal [57].....	53
Figura 24 - Retificadora sem centro [58].....	54
Figura 25 - Equipamento de eletro-erosão por penetração [63].....	58
Figura 26 - Equipamento de eletro-erosão por fio [64]	58
Figura 27 - Baixa frequência/ desbaste [65]	59
Figura 28 - Frequência moderada/ semi-acabamento [65].....	60
Figura 29 - Alta frequência/ acabamento [65]	60
Figura 30 - Tabela de parâmetros de maquinagem por eletro-erosão por penetração [66]	61
Figura 31 - Diversos modelos de ferramentas em HSS [69]	64
Figura 32 - Diversos modelos de ferramentas em metal duro [70].....	64
Figura 33 - Diversos modelos de pastilhas cerâmicas [71]	65
Figura 34 - Diversos modelos de pastilhas em CBN [72].....	66

Figura 35 - Diversos modelos de pastilhas em PCD.....	66
Figura 36 – Aspeto de um revestimento multi-camada [77].....	73
Figura 37 – Apalpador por contato com transmissão por rádio da RENISHAW [80]	78
Figura 38 – Operação de definição automática do zero-peça [79].....	80
Figura 39 – Operação intermédia de medição durante a maquinagem [79].....	80
Figura 40 – Operação de inspeção final da peça maquinada [79].....	81
Figura 41 – Aspeto de um apalpador tridimensional da RENISHAW [81]	81
Figura 42 - Sistema de medição automática das ferramentas Renishaw [79]	82
Figura 43 - Aviso de ferramenta partida [79].....	82
Figura 44 - Sistema de análise da integridade de ferramentas por feixe de laser [83]	83
Figura 45 - Mesa rotativa Haas TR210 de 5 eixos [84]	83
Figura 46 - Rotação axial da mesa de trabalho.....	84
Figura 47 - Posição do sistema de extração de peças durante operação de maquinagem [85] ..	85
Figura 48 - Posição do sistema de extração após terminar o torneamento de uma peça [85]....	85
Figura 49 - Tapete rolante do sistema de extração de peças [85]	86
Figura 50 – Sistemas de alimentação automática para tornos CNC [86].....	86
Figura 51 - Sequência operacional de um sistema de alimentação para tornos CNC [87]	87
Figura 52 - Movimentação da segunda bucha para se efetuar a passagem da peça [88].....	87
Figura 53 – Passagem da peça da bucha principal para a bucha secundária [88]	88
Figura 54 - Peça fixa na segunda bucha [88]	88
Figura 55 - Gabarito com grampos [91].....	89
Figura 56 - Gabarito com batentes [92]	90
Figura 57 - Gabaritos de placa [93]	90
Figura 58 - Gabarito placa com peça a maquinar [94]	91
Figura 59 - Grampos magnéticos [95]	91
Figura 60 - Grampos magnéticos com peça por maquinar [96].....	92
Figura 61 - Grampos magnéticos sob a forma de mesa [97].....	92
Figura 62 - Cronograma da história de desenvolvimento da Delfingen	95
Figura 63 - Entrada da Delfingen PT Porto	97
Figura 64 - Componentes de motor limpa pára-brisas montados na Delfingen	97
Figura 65 - Proteção de cablagens.....	98
Figura 66 - Vedantes para portas e malas de carros	98
Figura 67 - Amostras padrão das diferentes referências a maquinar	100
Figura 68 – Exemplos de alguns modelos de carcaças metálicas 2D	101
Figura 69 - Exemplos de alguns modelos de carcaças metálicas.....	101

Figura 70 - Operações comuns de maquinagem	102
Figura 71 - Sequência operativa	103
Figura 72 – “ <i>Metalic gear housing</i> ” referência nº 324	106
Figura 73 - Fresa rosca macho M6 x 1 HSS [98].....	106
Figura 74 - Ferramenta especial de desbaste interno da Frezite®	107
Figura 75 - Broca macho M8 x 0.75 HSS.....	107
Figura 76 - Caçonete M16 x 1 HSS [99]	107
Figura 77 – Fresa de topo em HSS de diâmetro 12	108
Figura 78 - Equipamento CNC Hardinge VMC 600 II [102]	109
Figura 79 - Painel de controlo Fanuc 18-MC do equipamento CNC Hardinge VMC 600 II	110
Figura 80 - Placas do equipamento CNC para efectuar a interligação entre o equipamento CNC e outros equipamentos	111
Figura 81 - Ligações 21 pinos M26 e M27	111
Figura 82 - Aspeto genérico do sistema de apoio à maquinagem	113
Figura 83 - Vista frontal (a) e de topo (b) da <i>metallic gear housing</i> nº 324	114
Figura 84 - Zonas de desbaste interno no plano de topo.....	115
Figura 85 - Toleranciamento do furo de diâmetro 16 mm	116
Figura 86 - Toleranciamento do furo de diâmetro 22 mm	116
Figura 87 - Toleranciamento da face exterior de diâmetro 38 mm.....	117
Figura 88 - Haas HRT 210 HS [105].....	125
Figura 89 - Mesa de trabalho/suporte de gabaritos a acoplar ao sistema Haas HRT 210 HS ...	126
Figura 90 - Mesa de trabalho com guias orientadoras a diferentes distâncias	127
Figura 91 - Guias (1) e batentes (2) na extremidade da mesa de trabalho que será montada no sistema Haas HRT 210 HS	127
Figura 92 – Guias (1) e batentes (2) na extremidade que será montada no lado contrário ao sistema Haas HRT 210 HS	128
Figura 93 – Localização dos furos cónicos de posicionamento na mesa de trabalho	129
Figura 94 – Estudo de flexão com a mesa de trabalho suportada apenas em uma extremidade	130
Figura 95 – Diferentes vistas do apoio para a mesa de trabalho	130
Figura 96 - Estudo de flexão existente na mesa de trabalho com 15 mm de espessura, apoiada em cada uma das extremidades.....	131
Figura 97 - Ensaio de flexão com a mesa colocada na posição vertical	132
Figura 98 - Sistema de apoio à maquinagem com mesa de trabalho de 15 mm	134
Figura 99 - Chumaceira de flange Schaeffler modelo RCJT20-N-FA125	135
Figura 100 - Sistema de apoio à maquinagem com chumaceira de flange	136

Figura 101 - Placas controladoras do equipamento CNC.....	137
Figura 102 - Ligações de 21 pinos M26 e M27 no quadro do equipamento CNC.....	137
Figura 103 – Gabarito para alojamento das peças durante a maquinação	139
Figura 104 – Configuração da depressão destinada à montagem de uma peça a maquinação ...	139
Figura 105 - Grampos da marca GOODHAND, modelo GH-201-BSS, usados para fixar as peças a maquinação	140
Figura 106 - Grampo para fixar peças a maquinação montado na mesa de trabalho.....	141
Figura 107 - Grampos usados para fixar os gabaritos da marca GOODHAND, modelo GH-20752-B.....	141
Figura 108 - Grampo para fixar o gabarito, montado na mesa de trabalho.....	142
Figura 109 - Ativação do grampo de fixação de gabarito e respetivo pino cónico com mola...	142
Figura 110 - Sistema de apoio à maquinação com os respetivos gabaritos, grampos e peças	143
Figura 111 - Conectores M26 e M27 disponibilizados pelo equipamento.....	144
Figura 112 - Nova sequência operatória para 8 peças com 2 gabaritos.....	146
Figura 113 - Operações a efetuar no plano frontal	147
Figura 114 - Operações a efetuar no plano de topo.....	149
Figura 115 – Conectores M27 e M26 no quadro do equipamento Hardinge VMC 600 II	150
Figura 116 - Ferramenta especial para operação de desbaste interno e furo concêntrico.....	151
Figura 117 - Gabarito no processo de maquinação atual	152
Figura 118 – Posição inicial de maquinação	153
Figura 119 – Parametros de ligação entre operações de maquinação	154
Figura 120 - Roscagem interna M6x1.....	154
Figura 121 - Operação de roscagem externa	155
Figura 122 - Operação de desbaste interno	155
Figura 123 - Segundo posicionamento das peças a maquinação	156
Figura 124 - Operação de furação, roscagem e desbaste interno.....	157
Figura 125 - Terceiro posicionamento das peças a maquinação	158
Figura 126 - Segunda operação de roscagem interna M6x1	159
Figura 127 - Segunda operação de roscagem externa	159
Figura 128 - Segunda operação de desbaste interno	160
Figura 129 - Vista isométrica da ferramenta para calote e furo concêntrico.....	162

Índice

Lista de Símbolos e Abreviaturas	xiii
Índice de Figuras	xvii
Índice.....	xxi
1. Introdução.....	23
1.1. Enquadramento	23
1.2. Objetivos	24
1.3. Metodologia.....	24
1.4. Estrutura.....	25
2. Revisão Bibliográfica	27
2.1. A produção de componentes para a indústria automóvel.....	27
2.1.1. A indústria automóvel: Conceitos gerais	27
2.1.2. Mão-de-obra intensiva versus Capital intensivo	29
2.1.3. Automatização: modelos dedicados ou flexíveis?	32
2.2. Processos de maquinaria	37
2.2.1. Torneamento.....	38
2.2.2. Fresagem.....	42
2.2.3. Furação.....	47
2.2.4. Retificação.....	51
2.2.5. Eletro-erosão por fio	56
2.3. Materiais para ferramentas de corte	63
2.3.1. Materiais convencionais	67
2.3.2. Materiais avançados	69
2.3.3. Revestimentos para ferramentas de corte.....	71
2.4. Refrigeração e lubrificação na maquinaria por arranque de apara	75
2.5. A automatização de processos de maquinaria	77
2.5.1. Breve resenha histórica do aparecimento e evolução do CNC.....	78
2.5.2. Sistemas complementares	79
2.5.3. Gabaritos para maquinaria.....	89
3. Desenvolvimento	93
3.1. Objetivos específicos deste trabalho prático	93
3.2. Caracterização da empresa que acolheu o projeto.....	95
3.3. O problema	99
3.3.1. Identificação do problema	101

3.3.2. Análise ABC do histórico de montagem desta família de produtos.....	105
3.3.3. Breve caracterização das ferramentas utilizadas	106
3.4. Breve caracterização do Centro de Maquinagem existente	109
3.4.1. Particularidades do comando CNC	110
3.5. Solução encontrada	113
3.5.1. Análise dos planos de trabalho	114
3.5.2. Seleção de materiais para o sistema de apoio à maquinagem.....	117
3.5.2. Aplicação de 4º eixo.....	125
3.5.3. Projeto do novo gabarito	138
3.5.4. Passos necessários à colocação em funcionamento.....	144
3.5.4.1. Equipamento desenvolvido.....	145
3.5.4.2. Nova sequência operatória	146
3.5.4.3. Ferramentas necessárias.....	151
3.5.4.4. Alteração do programa de controlo CNC	152
3.5.4.5. Orçamentação.....	161
3.5.4.6. Estimativa de tempo de produção	164
4. Conclusões	167
5. Bibliografia e Outras Fontes de Informação.....	171
Bibliografia	171
Anexos.....	177

1. Introdução

1.1. Enquadramento

A indústria automóvel é uma forte utilizadora de quase todos os processos mais comuns na área da metalomecânica. No entanto, a estampagem, soldadura e maquinagem, serão certamente dos processos mais utilizados neste sector.

A maquinagem assume particular preponderância nas peças às quais é exigido maior rigor dimensional. Para além do motor e sistema de transmissão dos automóveis, muitos outros componentes são também maquinados, estando dispersos por inúmeros sistemas tradicionalmente utilizados nos modelos mais recentes, tais como os sistemas de movimentação dos espelhos retrovisores, sistemas de elevação dos vidros, sistemas de movimentação dos limpa pára-brisas, entre outros.

Se os componentes ligados à parte motriz são normalmente desenvolvidos pelas próprias marcas, utilizando sistemas altamente produtivos e fiáveis, quase todos os outros componentes são desenvolvidos em conjunto com outros fabricantes ligados à produção de sistemas para a indústria automóvel. Assim, competirá aos mesmos assegurar os níveis de qualidade e competitividade exigidos pela marca destinatária dos sistemas, mas ficando com inteira liberdade para adotar os meios de produção que bem entenderem. Nesta perspetiva, alguns fabricantes de sistemas e componentes adotam inclusivamente estratégias de produção diferentes para cada unidade de produção/país fabricante, em função da marca destinatária, das quantidades que se perspetivam produzir, dos níveis de exigência do destinatário, dos custos de mão-de-obra do país onde estão instalados, do nível de qualificação dos recursos humanos e da envolvente tecnológica existente em cada mercado.

Neste contexto, verifica-se que os países com mão-de-obra menos qualificada e de custo inferior, acolhem normalmente os sistemas de produção mais assentes em mão-de-obra intensiva, enquanto os países com custos de mão-de-obra superiores, são os responsáveis pela produção de sistemas mais sofisticados, mais exigentes e com grau de automação associada mais elevada. Não será portanto estranho constatar que nos países de Leste e do Sul da Europa se assista à produção de componentes e sistemas fortemente assentes em mão-de-obra intensiva e com um investimento muito reduzido na automatização de processos.

No entanto, a automatização poderá muitas vezes ser conseguida com investimentos relativamente reduzidos, que serão facilmente amortizados pela poupança conseguida na mão-de-obra que se tornará excedentária.

1.2. Objetivos

Este trabalho, baseado numa necessidade industrial, teve como principal objetivo proceder à otimização do processo de maquinagem de uma família de produtos com fortes semelhanças geométricas, passando de um processo constituído por diversas operações manuais, intercaladas por outras efetuadas em Centro de Maquinagem CNC (controlo numérico computadorizado), para um processo exclusivamente efetuado num Centro de Maquinagem CNC.

Inicialmente, o processo envolvia uma ou mais operações executadas manualmente, algumas outras operações efetuadas no Centro de Maquinagem de 3 eixos, utilizando um gabarito próprio para a fixação de 4 peças em cada *setup*, sendo posteriormente necessárias mais uma ou duas operações manuais, para que a peça ficasse pronta para montagem. Foi definida como meta deste trabalho que todas as operações pudessem ser realizadas no Centro de Maquinagem, efetuando todas as alterações necessárias no Centro de Maquinagem e no gabarito, de forma a atingir esse desiderato.

Foi ainda estabelecido que estava completamente fora de questão solicitar aos clientes qualquer mudança geométrica nas peças. Ficou no entanto aberta a hipótese de poderem ser utilizadas ferramentas tipo 'produzidas à medida' para qualquer operação que se tornasse necessária.

Paralelamente à otimização dos processos de maquinagem, pretendem-se obter também reduções no tempo de maquinagem da peça e no *lead time*.

1.3. Metodologia

A elaboração do presente trabalho seguiu a metodologia que seguidamente se descreve:

- Análise aprofundada do processo inicialmente utilizado;
- Recolha dos modelos físicos e respetivos desenhos técnicos dos diferentes componentes a maquinar;

- Análise geométrica dos componentes em causa;
- Seleção de um componente para estudo, dado cada componente exigir um gabarito diferente, embora a metodologia de abordagem do problema seja a mesma para todas as peças da mesma família;
- Análise dos planos de trabalho necessários ao cumprimento de todas as operações de maquinagem necessárias;
- Análise das soluções técnicas que poderiam satisfazer os objetivos do trabalho;
- Análise da viabilidade de aplicação de um 4º eixo no Centro de Maquinagem CNC já existente, com controlo a partir do comando instalado no equipamento em uso;
- Desenho do gabarito para uma peça selecionada, de entre as muitas que constituem aquela família;
- Estudo do código do comando CNC existente, por forma a integrar as instruções de comando do 4º eixo;
- Estudo das operações e ferramentas necessárias;
- Desenho das ferramentas especiais necessárias ao processo de furação concêntrica a diferentes níveis;
- Otimização do programa de maquinagem;
- Realização do manual de instruções;
- Redação da presente dissertação.

1.4. Estrutura

A estrutura deste trabalho assenta essencialmente em duas partes: uma Revisão Bibliográfica inicial, onde se pretende enquadrar o leitor com os temas envolvidos nesta dissertação, passando em revista os desenvolvimentos técnicos e científicos que foram publicados em livros e periódicos técnicos e científicos dedicados à matéria, e o Desenvolvimento do Trabalho Prático propriamente dito, com referência à cronologia do desenvolvimento efetuado, condições e condicionalismos a que esteve sujeito, assim como vantagens e desvantagens da sua implementação.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. A produção de componentes para a indústria automóvel

2.1.1. A indústria automóvel: Conceitos gerais

Durante a última década verificou-se que a indústria automóvel iniciou a sua expansão dos tradicionais segmentos automóvel, para os apelidados veículos tipo “cross-over” e veículos de nicho de mercado [1-2].

Aos segmentos tradicionais de carros pequenos (por exemplo, Ford Ka e VW Fox), carros sub-compactos (como por exemplo, Ford Fiesta e VW Polo), carros compactos (por exemplo, Ford Focus e VW Golf), carros familiares (como por exemplo, Ford Mondeo e VW Passat) e classe Executiva (por exemplo, Mercedes classe E e BMW série 5) foram introduzidos os SUVs (veículos utilitários desportivos), bem como os MPVs (Veículos multifacetados). Verificou-se um aumento quantitativo de modelos disponíveis por toda a Europa. Esta tendência é comprovada pelo aumento de 187 modelos disponíveis ao consumidor final, no ano de 1990, para um total de 315 modelos em 2003 [3-4].

Assim, observou-se que as expectativas, bem como as atitudes dos consumidores, estão a evoluir a um ritmo cada vez mais elevado. Como resposta a este facto, estão a emergir novos modelos de fabrico mais centrados no consumidor, como a customização e personalização em massa. Para fazer face a tal desafio, as empresas do setor em questão devem ser capazes de se adaptar em tempo real à contínua mudança da procura no mercado [5].

De forma a possuírem esta capacidade de adaptação, as empresas pertencentes ao setor automóvel devem ser flexíveis, querendo com isto dizer que devem ter a capacidade de produzir uma gama alargada de produtos através de equipamentos versáteis [6].

A flexibilidade de um sistema de produção pode ser definida como um sistema integrado, quer em termos de automação, quer em termos do uso de máquinas-ferramentas de controlo numérico, que pode processar em paralelo diversos componentes [7, 8]. Shivanand *et al.* [9] adjectivou os robôs como sendo automaticamente controlados, reprogramáveis, manipuladores multiuso, programáveis múltiplos eixos [9-10].

Assim, os sistemas de automação industriais deverão ser modulares, ágeis e baseados no conhecimento, de forma a rapidamente se adaptarem às mudanças e condições exógenas como, por exemplo, às expectativas dos consumidores, à própria dinâmica do mercado, à inovação ou a novos materiais e componentes [11-13].

Posto isto, a indústria automóvel tem de ser capaz de fornecer uma enorme variedade de produtos de forma a continuar a ser competitiva, tendo como objetivo suprir as necessidades dos seus clientes, mantendo um grande enfoque ao nível das inovações tecnológicas [14-17].

A diversidade de produtos traz, assim, novos desafios devido ao aumento da complexidade de produção, sendo a maior preocupação a escolha por um nível ótimo e adequado de variedade. Atendendo a que o aumento da variedade implicará normalmente um aumento do custo, deve-se que providenciar produtos diferenciadores, para que as empresas possam expandir a sua quota de mercado e volume de vendas [16, 18].

Através da elaboração de produtos modulares, as empresas poderão gerar uma família de produtos tendo por base um design/necessidade base, sendo apenas necessária a sua combinação e mistura de vários módulos, pois através desta variação do produto será possível atingir um elevado nível de personalização [19-20].

A indústria automóvel requer, usualmente, uma elevada produção acompanhada por um nível de garantia de qualidade elevado, de forma a obter produtos finais caracterizados pela sua elevada qualidade e baixos custos. À medida que a variedade produtiva aumenta, a empresa irá sentir uma redução ao nível de performance devido à redução das suas economias de escala, originando um impacto negativo ao nível dos custos dos componentes, do *lead time*, e também da quantidade de componentes que é necessária aprovisionar [21].

Consequentemente, o desenvolvimento da tecnologia de informação e da engenharia têm sido a principal razão para o aumento da utilização de robôs ao nível de processos avançados de fabrico. Estes robôs possuem diferentes capacidades e especificações e estão disponíveis para uma ampla gama de aplicações, podendo ser programados de forma a manterem uma velocidade constante e uma qualidade pré-determinada aquando da realização de uma determinada tarefa repetitiva. Os robôs executam tarefas repetitivas, difíceis e com precisão, sendo que podem melhorar de forma significativa a qualidade e a reprodutibilidade e, consequentemente, a produtividade, se aplicados corretamente. Por isso, os fabricantes preferem usar robôs em diversas aplicações industriais onde é necessário executar tarefas repetitivas e/ou difíceis, como por exemplo, montagem, manuseio de materiais, pintura por

spray e soldadura. Para melhorar a qualidade do produto e aumentar a produtividade, a seleção de um robô sempre foi uma questão importante para as empresas produtoras [22].

Embora robôs com diferentes capacidades e especificações sejam vastamente utilizados nas empresas, a opção pelo robô mais apropriado tem sido especialmente difícil para os primeiros compradores, em muito devido à elevada variedade de modelos disponíveis para cada aplicação, pela consideração necessária de múltiplos critérios qualitativos e quantitativos, e também devido à falta de padrões de referência ao nível da avaliação de desempenho dos mais diversos tipos de robôs [10, 22].

2.1.2. Mão-de-obra intensiva versus Capital intensivo

Atualmente verifica-se que qualquer setor económico define como estratégia a seguir uma combinação de fatores produtivos apelidada como ótima, podendo ter por base um modelo de capital-intensivo ou trabalho-intensivo. A primeira combinação encontra-se relacionada com o uso intensivo de capital, ou seja, uso intenso de tecnologia (ver exemplo na Figura 1). Este modelo geralmente emprega um reduzido número de pessoas e requer um elevado investimento em tecnologia, por exemplo investimentos em sistemas computadorizados [23].



Figura 1 – Aspeto do tipo de produção baseada em capital-intensivo [24]

No que concerne ao modelo de produção baseado em trabalho-intensivo, este prima, tal como o seu nome refere, pelo uso intenso de mão-de-obra, tendo assim a necessidade de contratar um elevado número de empregados (a Figura 2 é representativa deste tipo de modelo). O setor

hoteleiro, venda a retalho e restauração são os setores que mais implementam este modelo de produção [23].



Figura 2 - Aspeto do tipo de produção baseada em trabalho-intensivo [25]

Como é facilmente perceptível, estes modelos de produção são modos de investimento que afetam diretamente a produção, sendo que a opção por determinado modelo terá como objetivo o ganho de algumas capacidades e diminuição de algumas fragilidades presentes na atividade produtiva. Assim, no caso de uma indústria que privilegia o uso intensivo de capital, esta terá como objetivo primordial dispor de uma produção controlada e mais eficiente. Algo que por um lado, originará uma diminuição do número de contratações, mas por outro lado irá provocar uma diminuição dos preços dos produtos/serviços [23].

No caso de indústrias de trabalho-intensivo, estas têm de adaptar a sua mão-de-obra à procura dos produtos produzidos/serviços prestados, ou seja, no caso de um aumento da procura, terão de contratar mais empregados e vice-versa [23].

Como não existe um modelo de produção perfeito, da aplicação de cada um deles advém vantagens e desvantagens.

Assim, da utilização do modelo de produção de trabalho-intensivo, tem-se como vantagens:

- Responder com facilidade através de, por exemplo, trabalhadores temporários a aumentos de procura;
- Capacidade de colocar no mercado um produto personalizado a cada consumidor, proporcionando assim, um serviço mais próximo do cliente;

- Possibilidade de usar a experiência do trabalhador para, por exemplo, melhorar o serviço de atendimento ou inovar/melhorar algum produto/serviço.

No que concerne às desvantagens da utilização deste tipo de modelo produtivo, as mesmas advêm do seguinte:

- Devido aos seus reduzidos níveis de produtividade, comparativamente à utilização de tecnologia apropriada, este tipo de modelo constitui a longo prazo um custo relativamente elevado, pois apresentará um custo unitário superior;
- Possibilidade de haver escassez de mão-de-obra com capacidade/características para determinada tarefa [26].

No que respeita à utilização do modelo de produção de capital-intensivo, dispõe-se como vantagens:

- A redução do erro humano, obtendo-se uma produção mais precisa;
- Uma maior cadência, proporcionando uma redução no custo produtivo por peça;
- Possibilitar a minimização possível de problemas ligados ao absentismo, possibilitando assim um planeamento mais objetivo e pragmático.

Ao nível da utilização deste modelo produtivo, o mesmo apresenta como desvantagens:

- Investimento inicial elevado;
- Custos com a formação inicial dos trabalhadores;
- Fraca iniciativa relativamente a propostas de inovação de produtos/serviços bem como melhoramento ao nível produtivo [26].

2.1.3. Automatização: modelos dedicados ou flexíveis?

Como é do conhecimento geral, surgiu em 1913 a invenção de uma linha de montagem em movimento por parte de Henry Ford que foi um marco no que toca ao paradigma da produção em massa. No entanto, já não será tanto do conhecimento geral que a produção em massa tornou-se possível apenas através da invenção de linhas dedicadas onde se produziam os principais componentes para os automóveis. Estas linhas de produção dedicadas possuíam uma elevada taxa de produção. No entanto, apesar destes sistemas serem extremamente rentáveis quando a procura de determinada peça é elevada, estes apenas se aplicam para uma peça em específico. Estas linhas produtivas dedicadas foram o sistema produtivo mais rentável para a produção de elevadas quantidades de produtos até meados dos anos 90 [27].

Após a segunda grande guerra mundial, vivenciou-se nos E.U.A. um enorme avanço industrial, que veio fortalecer ainda mais a sua economia. Este rápido avanço tecnológico levou ao aparecimento de servidores e lógica digital, entre outros [28]. O aparecimento desta tecnologia proveio da visão de Joseph Engelberger e de George Devol, sendo que este mais tarde viria a ser considerado o “Pai da robótica”. A parceria entre Joseph Engelberger e George Devol levou ao aparecimento do primeiro robô industrial, que foi entregue na General Motors, em *New Jersey*, tendo como função retirar material a elevada temperatura de um equipamento de fundição, um trabalho que requeria elevado esforço humano devido às condições em que se efetuava este tipo de trabalhos [28].

Em 1969, constatado o sucesso dos robôs de Engelberger e Devol, a General Motors tomou a decisão de utilizar 26 robôs para efetuar a montagem do chassis do Chevrolet Vega. Os japoneses, por sua vez, desenvolviam novas metodologias para a redução de custos inerentes à produção, graças à utilização de robôs nos seus processos produtivos [28].

Na década de 70 verificou-se o aparecimento do robô T3. Foi o primeiro robô industrial controlado por um microcomputador a ser comercializado. Era um equipamento com atuação hidráulica, e era utilizado em trabalhos considerados duros para o ser humano, como por exemplo, a soldadura de chassis automóveis e o carregamento das máquinas com as respetivas ferramentas. Nessa mesma década, o T3 foi ainda utilizado para operações de furação, e devido à sua fiabilidade, foi o primeiro robô a ser usado na indústria aeroespacial [28].

Assim, torna-se perceptível que a questão relacionada com a flexibilidade do equipamento aparece apenas quando um sistema robótico se encontra a laborar no máximo da sua capacidade, quer ao nível de velocidade, quer ao nível de rendimento [28].

Uma realidade que se tem vindo a comprovar ao longo de vários anos é que uma indústria deve estar constantemente a inovar ao nível de produtos, sendo que para tal deverá ser capaz de adaptar a sua produção, e deverá ser capaz de responder às necessidades dos seus clientes, através da produção de uma enorme variedade de produtos. Para tal, necessita de dispor de um sistema industrial eficiente para laborar num ambiente consumista em constante mutação [29-31].

Perante esta necessidade, a partir do final do século XX, tornou-se mais evidente a necessidade de usar microprocessadores. Os apelidados PLC's (*Programmable Logic Controllers*) foram introduzidos e melhoraram drasticamente o processo de controlo produtivo, além de proporcionarem uma maior capacidade para alterar com facilidade o processo produtivo [28].

No século XXI as indústrias viram-se confrontadas com um mercado extremamente volátil, com mudanças frequentes e imprevisíveis originadas em grande parte por uma cada vez maior competição global. De forma a se manterem competitivas, as empresas viram-se forçadas a projetar sistemas de produção que não produzissem apenas produtos de elevada qualidade a baixo preço, mas também que permitissem uma resposta rápida às alterações de mercado e necessidades do consumidor, tal como se poderá verificar através da Figura 3 [27].

Assim, com a globalização, e com a experiência que se foi adquirindo ao longo destes últimos anos, alteraram-se algumas metodologias produtivas, sendo que agora as indústrias deverão lutar incessantemente por serem capazes de dar uma rápida resposta ao mercado e seus consumidores, sendo também capazes de produzir ao mais baixo custo possível e de aumentar a qualidade dos seus produtos [32].

Através da Figura 4 é possível efetuar uma análise comparativa entre os diferentes tipos de sistemas produtivos existentes e quais as respectivas evoluções ao nível da quantidade, como também ao nível da capacidade de reestruturação das operações produtivas.

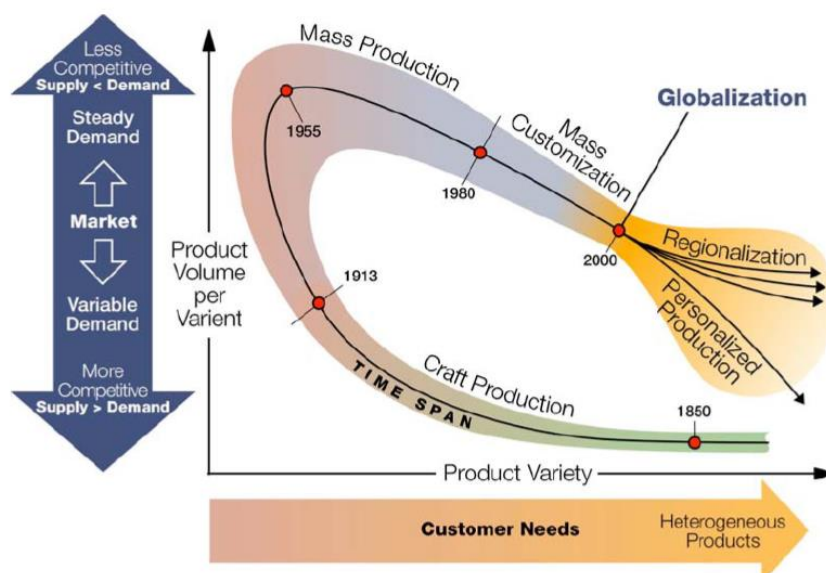


Figura 3 - Evolução dos paradigmas produtivos [32]

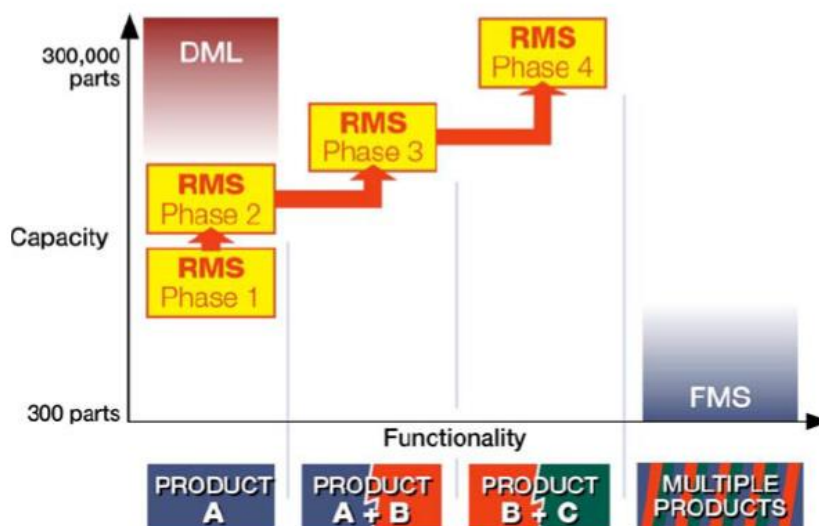


Figura 4 - Capacidade produtiva dos diferentes sistemas de produção [32]

Desta forma, verifica-se que o sistema DML (*Dedicated Manufacturing Lines*) é ótimo para elevadas quantidades de produção mas restringe a sua capacidade apenas a isso, não sendo capaz de produzir outros produtos com características díspares [32].

O sistema FMS (*Flexible Manufacturing Systems*) é capaz de adaptar o sistema produtivo a outros produtos. No entanto, ao nível de quantidade produzida, fica aquém das expectativas, ou seja, não é capaz de responder positivamente a flutuações abruptas de mercado, como por exemplo, à variação de procura [33].

Já no caso do sistema RMS (*Reconfigurable Manufacturing Systems*) verifica-se que este é um sistema dinâmico, estando constantemente em evolução, com o objetivo de tornar o sistema produtivo capaz de se adaptar, com facilidade e a baixo custo, às alterações que se fazem sentir diariamente numa indústria, através da reconfiguração do sistema produtivo.

Comparativamente com o sistema FMS, o RMS vai além dos objetivos daquele, uma vez que possibilita a redução do tempo de *setup*, quer para a reconfiguração de novos sistemas, quer para o lançamento de novos produtos [32].

Assim, através do RMS pretende-se agrupar o melhor de dois mundos, ou seja, projetar um sistema capaz de produzir em elevadas quantidades e um leque alargado de produtos dispares [32].

Dia após dia sente-se que o mundo se encontra em constante mutação. A procura varia semana após semana e novos produtos aparecem a uma velocidade estonteante. Tendo conhecimento desta realidade, o sucesso de uma indústria depende largamente da capacidade do seu sistema produtivo ser flexível e capaz de se reconfigurar de acordo com as novas exigências provenientes do mercado [32, 34].

2.2. Processos de maquinagem

Primeiramente, é relevante referir que a maquinagem é um processo amplo no que diz respeito ao processo de tratamento/modelação do metal ao nível mecânico da indústria produtiva, sendo possível maquinar quase qualquer formato. Como principais processos de arranque de apara pode-se considerar a furação, o torneamento, a fresagem e a retificação, os quais irão ser abordados mais ao pormenor *à posteriori* [35].

No entanto, apesar da sua versatilidade, é necessário ter em consideração alguns parâmetros antes de iniciar a maquinagem de uma peça, sendo fulcral saber, *à priori*, quais as principais características d forma da peça a maquinar, material da peça a maquinar, formato e quantidade a maquinar, as características do equipamento de maquinagem, bem como as ferramentas ideais a usar. Assim, torna-se fundamental dispor-se de dados relativamente a [35]:

- Profundidade de maquinagem – deverá optar-se por uma profundidade que possibilite um baixo nível de desgaste na ferramenta, e ao mesmo tempo permita obter um tempo de ciclo reduzido, através da remoção de uma quantidade significativa de material [36];
- Avanço – de forma a definir o valor ideal para este parâmetro, torna-se necessário saber qual o material da ferramenta a usar em determinada operação de maquinagem e o acabamento superficial pretendido, bem como a potência do equipamento de maquinagem. Desta forma, se se utilizar um avanço elevado, será possível obter uma diminuição de energia consumida. No entanto, como este parâmetro influencia o acabamento, é necessário optar por valores reduzidos de avanço aquando de operações de acabamento [37];
- Velocidade de corte – este parâmetro é o que mais influencia a vida útil das ferramentas. Assim, aquando de uma operação de desbaste torna-se fulcral usar uma velocidade de corte reduzida. Já numa operação de acabamento, a velocidade de corte deverá ser superior à utilizada numa operação de desbaste. Estas considerações são válidas no caso de se projetar a estratégia de maquinagem com o avanço ideal para cada operação de maquinagem [37];
- Ao nível das características da peça a maquinar, torna-se fundamental ter conhecimento de que tipo de operações é que serão necessárias executar na referida peça, pois pode-se utilizar uma ferramenta com um comprimento inadequado para efetuar a operação pretendida, originando assim não conformidades, pois a peça final não se encontrará nas condições ambicionadas [35];

- Relativamente à peça a maquinar, torna-se fulcral o conhecimento do material a maquinar, de forma a adaptar a estratégia de maquinagem ao material. Isto porque se se projetar uma estratégia de maquinagem para um determinado material, e se colocar outro, não só irá ter uma enorme probabilidade de danificar a ferramenta como também não se irá conseguir produzir uma peça com a qualidade desejada [35];
- Outro parâmetro importantíssimo prende-se com as capacidades do equipamento de maquinagem de que se dispõe. Ou seja, é necessário saber quais as operações a executar na peça, pois se se pretender executar operações em diferentes planos de trabalho, irá ser necessário dispor de um equipamento de 4 ou 5 eixos. No entanto, se o objetivo for maquinar apenas num só plano de trabalho ou em planos ortogonais, necessita-se unicamente de um equipamento com 3 eixos [35].

Assim, é fundamental ter-se conhecimento de todos estes parâmetros, de forma a elaborar uma estratégia adaptada à realidade produtiva. Para tal, é necessário optar pelas ferramentas mais apropriadas, bem como estabelecer os dados de corte ideais de forma a não danificar as ferramentas, garantir uma produção com a qualidade desejada e, simultaneamente, ter um tempo de ciclo reduzido. Todos estes fatores irão proporcionar uma maior economia ao nível do custo de produção [35].

2.2.1. Torneamento

Apesar de já ser conhecido há mais tempo, foi apenas no início do século passado que o torneamento se tornou num dos processos de maquinagem mais completos ao nível de produção mecânica. Isto deve-se ao facto de ser um processo de maquinagem que produz essencialmente peças de revolução necessárias para as mais variadas indústrias, usando o próprio eixo da peça de trabalho para produzir peças cilíndricas ou cónicas (exemplo desta estratégia de maquinagem representado através da Figura 5) [38, 39].

Este processo de maquinagem consiste numa tecnologia de corte de metal, ou seja, retirada progressiva de cavaco da peça a ser trabalhada. O movimento de rotação é transmitido à peça de trabalho, enquanto a ferramenta (que deverá possuir uma dureza claramente superior à da peça a trabalhar) executa apenas movimentos auxiliares (longitudinais e transversais) [38, 39].

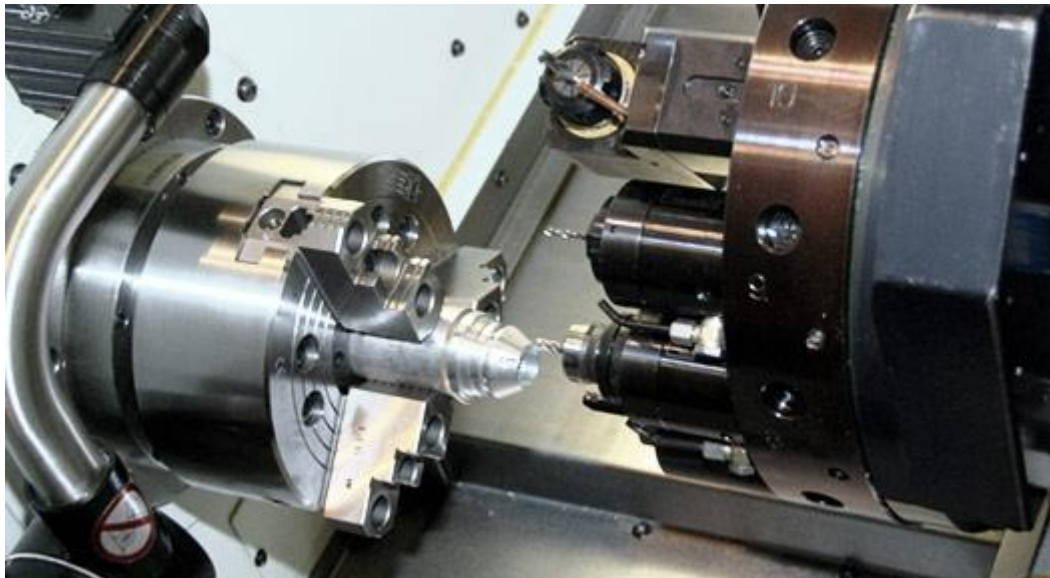


Figura 5 - Torneamento CNC [40]

Assim, de forma a executar o torneamento de uma determinada peça, são necessários três movimentos relativos à peça a ser trabalhada e à ferramenta, sendo esses:

- Movimento de corte – resume-se ao movimento de rotação da peça a trabalhar. Este é um movimento fulcral para a retirada progressiva do cavaco;
- Movimento de avanço – consiste no movimento linear efetuado pela ferramenta ao longo da superfície da peça;
- Movimento de penetração – define-se como sendo o movimento que delimita a profundidade de corte ao movimentar a ferramenta em direção ao interior da peça, possibilitando controlar a espessura do cavaco e da profundidade do passo.

O equipamento capaz de executar as operações referidas é apelidado de torno. Este equipamento é muito versátil tendo capacidade de executar várias operações dentro do torneamento, como por exemplo:

- Facejamento;
- Torneamento paralelo ou cilíndrico;
- Torneamento cónico;
- Torneamento perfilador;
- Sangramento (seccionamento);
- Abertura de roscas ou filetagem [38, 39].

Nas imagens seguintes encontram-se representados alguns exemplos de equipamentos capazes de executar este processo de maquinagem.



Figura 6 - Torno paralelo convencional [41]



Figura 7 - Torno automático [42]



Figura 8 - Torno CNC [43]

De referir que, aquando do planeamento da estratégia de torneamento, há certos parâmetros que deverão ser tidos em consideração de forma a tornear peças com a qualidade desejada, os quais se passa a explicar (Figura 9):

- n - a velocidade de rotação (rpm) que consiste na velocidade a que uma peça de trabalho apertada na bucha do torno se encontra a rodar [35];
- V_c – a velocidade de corte (m/min) que se resume à velocidade (periférica) a que a ferramenta se encontra a cortar na superfície da peça de trabalho [35];

$$V_c = \frac{\pi \times D \times n}{1000} \text{ m/min} \quad (2.1)$$

- f_n – avanço por rotação (mm/rot), que se define como o incremento do avanço da ferramenta por cada rotação da peça [35];
- a_p – profundidade da avara (mm), que não é mais que a profundidade da avara no sentido perpendicular ao avanço [35];
- K_r – ângulo de posição ($^\circ$) que é o ângulo entre a aresta de corte e a direção do avanço [35].

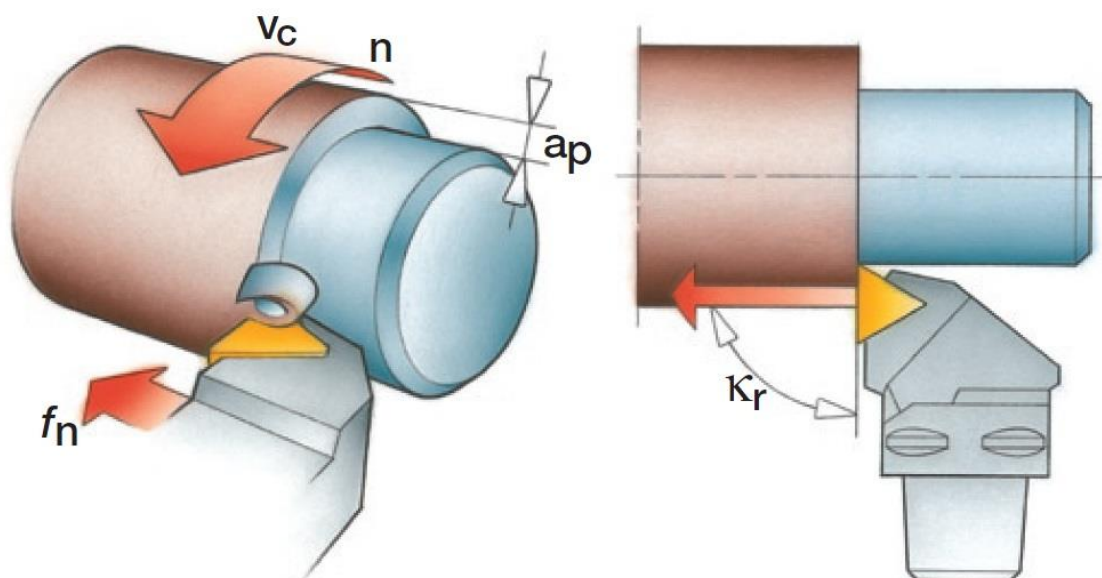


Figura 9 – Parâmetros principais para delinear uma estratégia de torneamento [35]

Apenas a título de exemplo, se se pretender obter uma peça com reduzida rugosidade, deverá-se optar por uma estratégia de torneamento com elevada velocidade de corte, associada a um reduzido avanço [35].

2.2.2. Fresagem

A fresagem é o processo de maquinagem efetuado por equipamentos apelidados de fresadoras e por ferramentas especiais com o nome técnico de fresas [35, 38].

Este processo de maquinagem consiste numa tecnologia de corte de metal, ou seja, retirada do excesso de metal existente no bloco a trabalhar, sendo que o objetivo final é produzir uma peça com o acabamento e forma desejadas. A remoção do metal deverá ser efetuada através da combinação do movimento da rotação da fresa, e da movimentação da mesa de trabalho do equipamento de maquinagem. É, assim, considerado um processo flexível, capaz de produzir peças com os mais variados formatos, sendo usado frequentemente para a produção de ranhuras, caixas, superfícies planas, entre outras operações [35, 38].

Para tal é necessário que a peça de trabalho seja fixa por meio de grampos à mesa de trabalho do equipamento, enquanto a ferramenta (fresa) apresenta o movimento de rotação no sentido

de corte. As fresas disponíveis para este tipo de maquinagem poderão ter variadas configurações ao nível de geometria, bem como ao nível do número de dentes de cada fresa. A mesa poderá movimentar-se nos eixos XX' , YY' e em alguns dos casos em ZZ' [35, 38].

A flexibilidade que se verifica neste processo de maquinagem faz com que seja necessário dispor de todas as informações relativas à produção que se irá efetuar, pois existem diversas variáveis presentes no processo, como por exemplo, a escolha da fresa ótima em função do material a trabalhar [35, 38].

As fresadoras são classificadas em função da posição do eixo das ferramentas relativamente à mesa de trabalho [38]. Assim, estão disponíveis fresadoras horizontais, fresadoras verticais e fresadoras universais, as quais podem ser descritas da seguinte forma:

- Fresadora horizontal – equipamento representado na Figura 10, que possui o eixo das ferramentas paralelo à mesa de trabalho do equipamento;



Figura 10 - Fresadora horizontal [44]

- Fresadora vertical – equipamento representado na Figura 11, que possui o eixo das ferramentas perpendicular à mesa de trabalho do equipamento;



Figura 11 - Fresadora vertical [45]

- Fresadora universal – equipamento representado na Figura 12 que possui elevada flexibilidade de posicionamento do eixo de trabalho (árvore).



Figura 12 - Centro de fresagem CNC [46]

No que concerne ao planeamento de estratégias de fresagem, há certos parâmetros que deverão ser tidos em consideração de forma a produzir peças com a qualidade desejada, os quais se passa a explicar:

- V_c – a velocidade de corte (m/min), que se resume à velocidade que a ferramenta se encontra a cortar na superfície da peça de trabalho (para diferentes materiais ter-se-á diferentes velocidades de corte) (ver equação 2.1) [35];
- n - a velocidade de rotação da fresa (rpm) que consiste no número de rotações que a fresa faz por minuto. Este valor depende da capacidade da máquina, do material a maquinar e da ferramenta e é calculado a partir da velocidade de corte recomendada para determinada operação de maquinagem [35];
- Z_c - número total de arestas de corte efetivas na ferramenta. Este parâmetro tem uma forte influência no que toca à retirada de cavacos e também ao nível da estabilidade operacional, uma vez que é através deste parâmetro que se consegue ter conhecimento de qual o avanço em mm/min da fresa, e assim ter acesso à taxa de remoção de aparada referida fresa em determinado material [35];

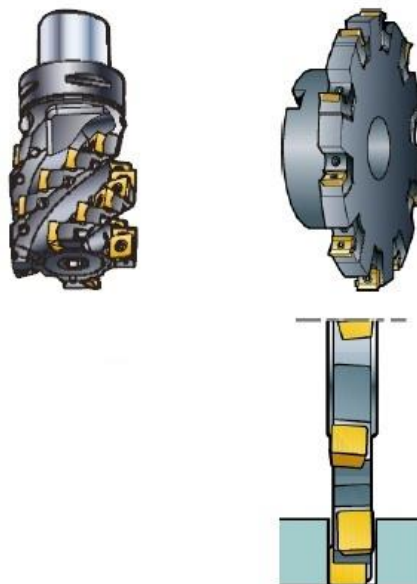


Figura 13 - Distintas ferramentas com diferente número de arestas [35]

- f_z – avanço por dente (mm/dente), que se define como um dado fulcral para efetuar os cálculos de corte, como por exemplo o avanço em mm/min [35];

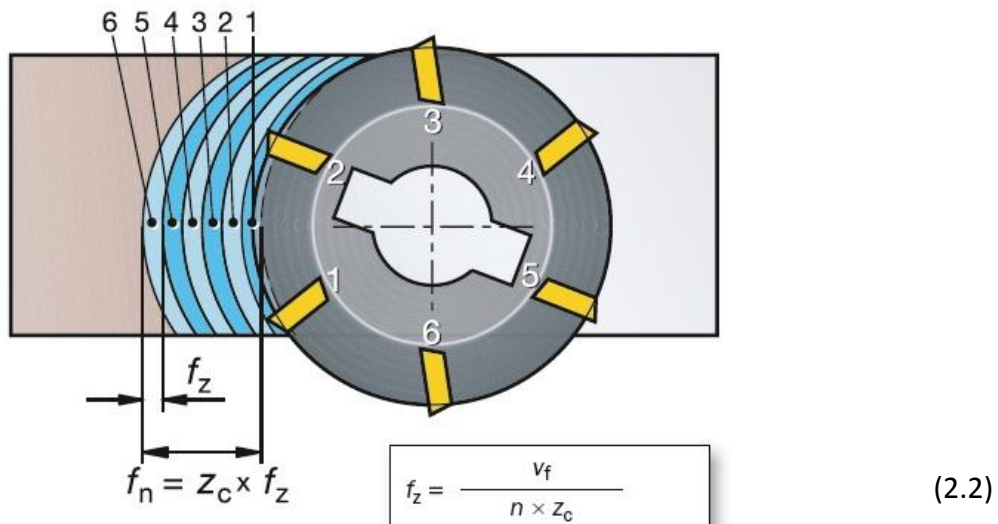


Figura 14 - Representação gráfica da definição do avanço por dente [35]

- a_p – profundidade de corte (mm), que não é mais que a profundidade de corte no sentido do avanço, ou seja, a diferença entre a altura da peça por maquinar e a altura da peça maquinada, tal como se poderá verificar através da Figura 15 [35];

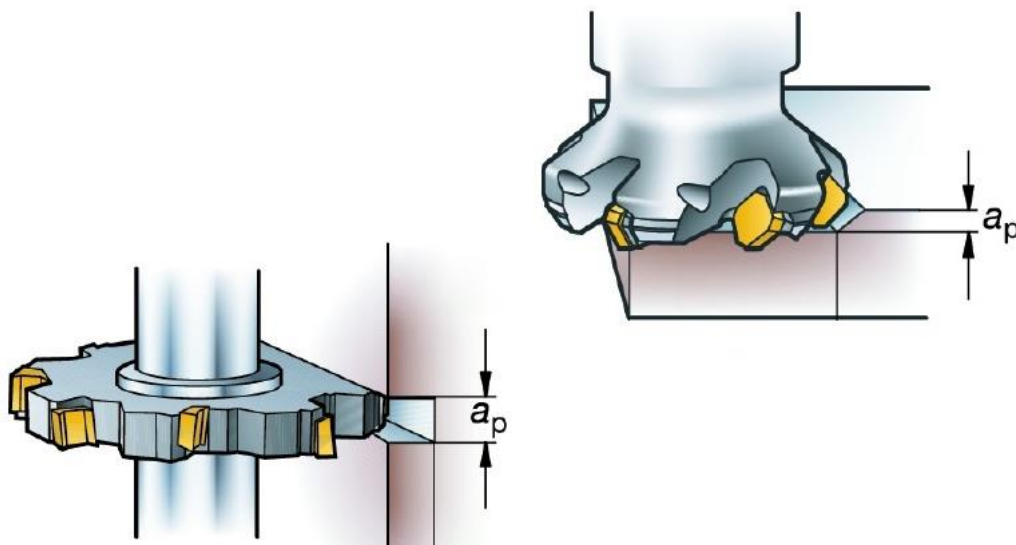


Figura 15 - Representação da profundidade de corte em fresagem [35]

2.2.3. Furação

O processo de furação foi concebido há mais de 4000 anos, consistindo em obter um furo cilíndrico através da penetração numa superfície, de uma ferramenta cortante que gira em torno do seu eixo [35, 38].

Este processo de maquinagem tem como principal objetivo abrir furos, pelo que há operações que dependem da operação de furação, como por exemplo o processo de abertura de rosca, escareamento de furos, entre outras, que também são produzidas em furadoras [35, 38].

A execução do furo deverá ser realizada através do uso de uma ferramenta, apelidada de broca (Figura 16), que apresenta um movimento de rotação (responsável pelo processo de corte do metal) e um movimento de avanço (responsável pela penetração na peça a trabalhar). De referir que as brocas possuem usualmente entre 2 e 4 arestas de corte [35, 38].



Figura 16 - Diversos modelos de brocas [47]

Os equipamentos de furar poderão ser classificados em função de uma maior ou menor necessidade de mão-de-obra, e pela quantidade de furos capazes de executar em simultâneo [48].

Assim, existem furadoras de coluna, furadoras de cabeça múltipla e furadoras CNC, que passam a ser descritas:

- Furadoras de coluna – equipamento representado pela Figura 17, em que o operador é o principal responsável pelo avanço da ferramenta. Este tipo de equipamento possui motores de potência reduzida, possibilitando efetuar furos de pequena dimensão (entre 1 a 16 mm) [48];



Figura 17 – Furadora de coluna convencional [49]

- Furadoras de CNC de cabeça múltipla – equipamento representado pela Figura 18, que possui diversas brocas de forma a executar operações de furação simultâneas ou sucessivas numa peça ou em várias peças ao mesmo tempo [48].

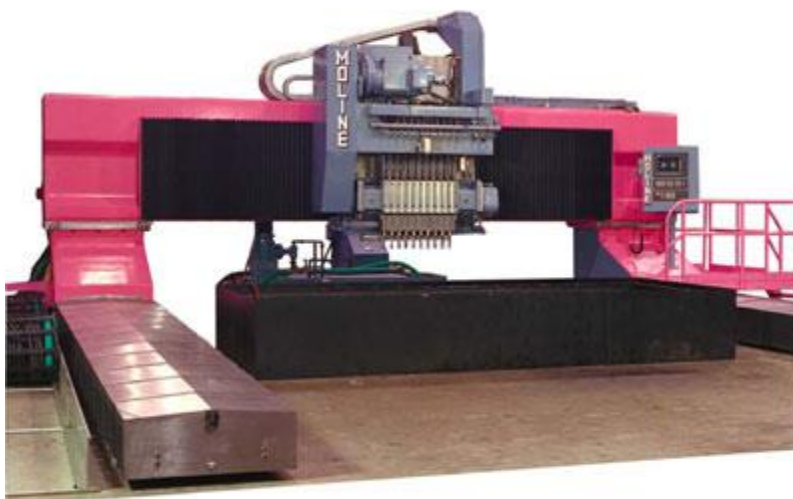


Figura 18 - Furadora CNC de cabeça múltipla [50]

- Furadoras CNC de cabeçotes múltiplos – equipamento representado pela Figura 19, que possui uma ou mais árvores capazes de ser controladas de forma independente através de controlo numérico, executando assim tarefas díspares e em série numa peça [48].



Figura 19 - Furadoras CNC de cabeçotes múltiplos [51]

Estes equipamentos são capazes de executar outras operações para além da furação, como por exemplo:

- Escareamento de furos;
- Rebaixamento de furos;
- Furação escalonada;
- Abertura de roscas;
- Furos de centro;
- Mandrilar furos com precisão [48].

No entanto, aquando do planeamento da estratégia de furação, há certos parâmetros que deverão ser tidos em consideração de forma a produzir peças com a qualidade desejada, os quais se passa a explicar:

- V_c – a velocidade de corte (m/min) corresponde à velocidade periférica da ferramenta de corte;
- n - a velocidade de rotação da ferramenta (rpm) que consiste no número de rotações que a broca realiza por minuto. Este valor depende da capacidade da máquina, e é calculado a partir da velocidade de corte recomendada para determinada operação de furação [35, 52];
- Z_c - número total de arestas de corte efetivas na ferramenta [35, 52];
- f_z – avanço por dente (mm/dente) que se define como um dado fulcral para efetuar os cálculos de corte, como por exemplo o avanço em mm/min [35, 52];
- v_f – velocidade de avanço (mm/min) não é mais que a velocidade de penetração da ferramenta. É representada pela fórmula seguinte [35, 52]:

$$v_f = f_n \times n \quad (2.3)$$

2.2.4. Retificação

O processo de retificação consiste num processo de retirada por abrasão de minúsculos cavacos da peça a maquinar, através da incidência da superfície abrasiva da mó constituída, por exemplo, por grãos de óxido de alumínio, sobre a superfície da peça (como se pode verificar através da Figura 20).



Figura 20 - Processo de retificação plana [53]

Este processo de maquinagem tem como objetivo principal corrigir irregularidades existentes nas superfícies das peças, sendo usado principalmente para:

- Reduzir rugosidades ou saliências de superfícies anteriormente maquinadas através dos processos já referidos, garantindo um melhor acabamento;
- Proporcionar peças com elevada precisão;
- Corrigir peças que tenham sofrido uma deformação ligeira aquando de um processo de tratamento térmico;
- Remover camadas finas de material endurecido por cementação ou têmpera [38, 54].

Os equipamentos de retificação poderão ser classificados como retificadoras manuais, semi-automáticas e automáticas, em função da quantidade a retificar.

Assim, estão disponíveis retificadoras planas, retificadoras cilíndricas universais e retificadoras cilíndricas sem centros, as quais passam a ser descritas [38, 54]:

- Retificadora plana - equipamento representado pela Figura 21, onde a peça a retificar se encontra fixa à mesa do equipamento numa placa magnética. Por sua vez, a mesa de trabalho do equipamento executa movimentos da esquerda para a direita e vice-versa, de forma a retificar plenamente as superfícies das peças. Este tipo de equipamento retifica todos os tipos de superfícies planas, sejam paralelas, inclinadas ou perpendiculares [38, 54].



Figura 21 - Retificadora plana [55]

- Retificadora cilíndrica universal - equipamento ilustrado na Figura 23, onde a peça é fixa numa placa universal dotada de movimento de rotação.



Figura 22 - Retificadora cilíndrica universal [56]

O processo de retificação (Figura 23) dá-se quando a mó em rotação entra em contacto com a peça que apresenta um movimento rotacional em sentido contrário ao daquela, e desta forma se remove o material desejado. Este tipo de equipamentos é capaz de retificar superfícies cilíndricas, internas ou externas, e em alguns casos de superfícies planas em eixos rebaixados que exijam facejamento [38, 54].

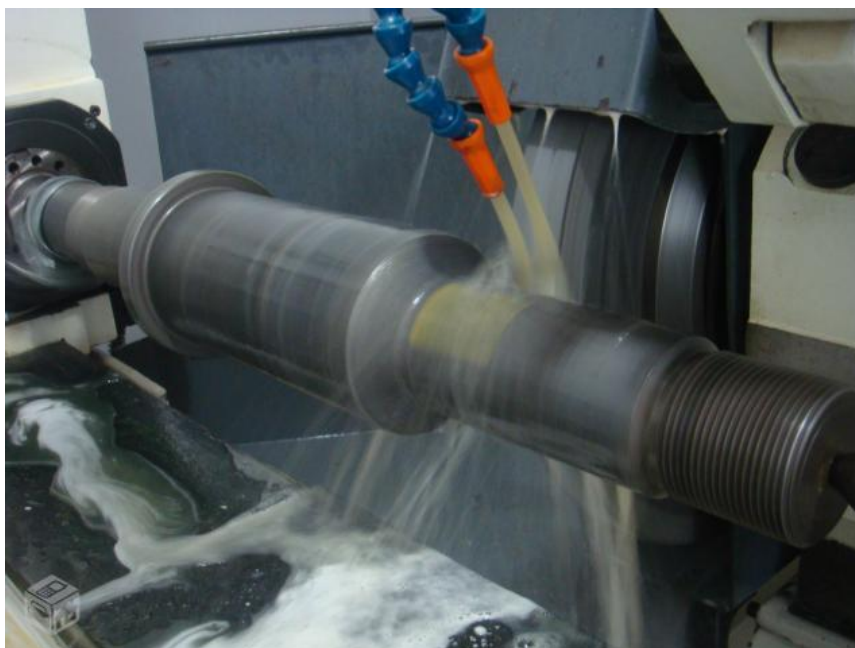


Figura 23 - Exemplo de operação numa retificadora cilíndrica universal [57]

- Retificadora sem centro - equipamento representado pela Figura 24, sendo também apelidado de retificadora *centerless*. Neste tipo de equipamentos, a peça é conduzida pela mó e pelo disco de arrasto, sendo este o principal responsável pelo avanço da peça, bem como por proporcionar à peça um movimento de rotação e assim facilitar o seu avanço longitudinal. Usualmente, este tipo de equipamento é automático, sendo usado na produção em série [38, 54].



Figura 24 - Retificadora sem centro [58]

Aquando do planeamento da estratégia de retificação, há certos parâmetros que deverão ser tidos em consideração de forma a produzir peças com a qualidade e toleranciamento desejado, conforme se descreve de seguida:

- Acabamento superficial – as superfícies das peças maquinadas pelos processos descritos anteriormente apresentam irregularidades distintas, pelo que para elaborar um acabamento apropriado à superfície a tratar, é necessário determinar em que estado se encontram as superfícies a maquinar (como por exemplo, o nível da rugosidade da superfície, a existência de falhas e a direção das irregularidades). De forma a se efetuar a medição da rugosidade superficial, deve-se recorrer a um rugosímetro [59].

- V_c - velocidade da mó (velocidade de corte) a usar no processo de retificação é variável mediante o ligante usado. No caso de ligante vitrificado, a velocidade poderá rondar os 45 m/s a 60 m/s. Já no caso dos ligantes resinóides especiais, as velocidades de funcionamento poderão atingir os 100 m/s. A quebra do ligante é umas das principais causas de desgaste das mós [59].
- Área de contacto – de forma a definir perfeitamente a estratégia de retificação, torna-se fulcral decidir qual a área de contacto a usar entre a mó e a superfície da peça e só após isso, passar para a seleção da mó a utilizar no processo. Quanto maior a área de contacto, mais macia e porosa deverá ser a mó, bem como ser constituída por grãos de maior dimensão [59].
- heq – espessura de corte equivalente, que se define como o avanço da ferramenta, e é definido pela seguinte expressão [59]:

$$heq = a \frac{V_p}{V_c} \quad (2.4.)$$

- $hmax$ – espessura máxima de cavaco, que não é mais que a dimensão do metal retirado relativamente à velocidade de corte e à velocidade da peça. Este parâmetro é definido pela expressão seguinte [59]:

$$hmax = \frac{V_p}{V_c} \cdot \sqrt{\frac{a}{d}} \quad (2.5.)$$

2.2.5. Eletro-erosão por fio

O processo de eletro-erosão, também designado em inglês por *Electrical Discharge Machining* (EDM), é o mais conhecido na panóplia de processos de maquinagem não-convencionais [60].

Este processo consiste na aproximação da ferramenta/fio à peça a maquinar, sendo que ambos se encontram ligados a uma fonte de corrente contínua, em que a peça possui polaridade negativa e a ferramenta usada polaridade positiva. Tanto a ferramenta como a peça a trabalhar encontram-se mergulhadas em fluido dielétrico, que poderá ser óleo, querosene ou água desionizada, sendo que os primeiros raramente são utilizados devido a razões ambientais [60-62].

O processo de eletro-erosão inicia-se quando a ferramenta se encontra a uma determinada distância, apelidada de GAP, a qual varia normalmente entre 5 e 100 μm devido à intensidade de corrente aplicada. De referir que quando a ferramenta e a peça se encontram à distância pretendida, o fluido dielétrico deixará de atuar como isolante, e passará a atuar como condutor elétrico, tornando-se assim num meio de transferência de iões da ferramenta para a peça. Atingindo o GAP, produz-se um arco elétrico responsável pelo sobreaquecimento da peça, originando a fusão do material [60-62].

As partículas fundidas são removidas do local de maquinagem graças à ação do fluido dielétrico, que neste caso tem como funcionalidade a limpeza e a refrigeração da superfície da peça [60, 62].

Verifica-se a paragem do fornecimento de corrente elétrica quando o eletrodo se afasta da peça, sendo que quando o GAP é atingido novamente, o ciclo de fornecimento de corrente elétrica reinicia-se. Estas movimentações da ferramenta são controladas eletronicamente e efetuadas num intervalo de tempo bastante reduzido, na ordem dos microssegundos [60, 62].

Assim, a maquinagem por eletro-erosão é um processo de maquinagem demorado que consiste no uso controlado de sucessivas descargas elétricas, tendo como principal objetivo vaporizar e fundir pequenas quantidades de material, o que por sua vez irá originar a remoção de partículas da superfície [60-62].

O processo de maquinagem em estudo poderá ser usado na produção de peças com geometria complexa e de dureza elevada, bem como em peças que necessitem de um acabamento

superficial com reduzida rugosidade e com elevado rigor dimensional. Assim, é amplamente utilizado no setor automóvel (principalmente de competição), aeroespacial, aeronáutico, bem como na produção de artigos de joalheria, protótipos e componentes cirúrgicos [60-62].

Devido a não haver contacto entre a ferramenta (fio ou eléctrodo) e a peça a maquinar, este processo de maquinagem apresenta algumas vantagens comparativamente com os demais processos de maquinagem anteriormente descritos, entre as quais:

- Obtenção de melhor acabamento superficial, não sendo necessário qualquer outro tipo de acabamento (retificação);
- Eliminação das tensões criadas em processos de maquinagem comuns (torneamento, fresagem);
- Dispensa do uso de sistemas de fixação robustos, como por exemplo gabaritos, reduzindo assim o tempo de *setup* [62].

Este processo de maquinagem poderá ser utilizado também em materiais não condutores elétricos, como por exemplo materiais poliméricos ou cerâmicos. No entanto terão de ter um tratamento superficial, capacitando-os de condutividade elétrica [62].

Os equipamentos deste processo de maquinagem poderão ser classificados mediante o processo de eletro-erosão, que poderá ser por penetração ou por fio [62].

Assim, nas imagens seguintes encontram-se representados alguns exemplos de equipamentos deste processo de maquinagem.



Figura 25 - Equipamento de eletro-erosão por penetração [63]



Figura 26 - Equipamento de eletro-erosão por fio [64]

No que concerne ao planeamento de estratégias de eletro-erosão, há certos parâmetros que deverão ser tidos em consideração de forma a produzir peças com a qualidade desejada, os quais se passa a explicar:

- F - a frequência de descarga elétrica, que consiste no número de ciclos por unidade de tempo, ou seja, ao número de vezes, num determinado intervalo de tempo, que o fornecimento de corrente elétrica é ligado e desligado [62, 65].

Através das figuras seguintes é possível verificar que o acabamento superficial obtido depende da frequência da descarga elétrica. No caso da Figura 27, pode-se verificar que a frequência da descarga elétrica é inferior à verificada na Figura 28, pelo que se poderá constatar que no caso da Figura 28 o acabamento não é tão grosseiro como o verificado na Figura 27. Já no caso da Figura 29, verifica-se que o acabamento é mais fino comparativamente com o ilustrado na Figura 27 e na Figura 28.

Assim, se o objetivo for obter um acabamento mais fino, torna-se relevante ter em mente que o desgaste do eletrodo e também o tempo de maquinagem aumentam, pois a velocidade de progressão é mais reduzida.

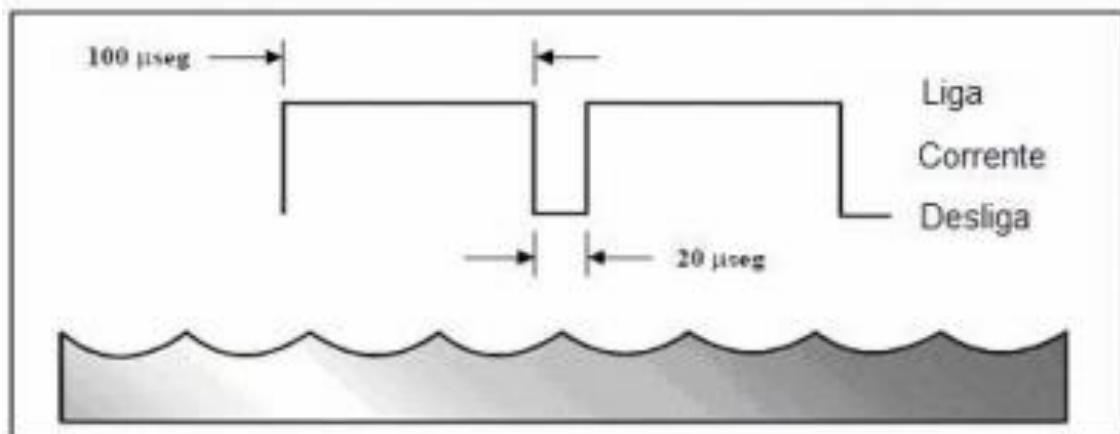


Figura 27 - Baixa frequência/ desbaste [65]

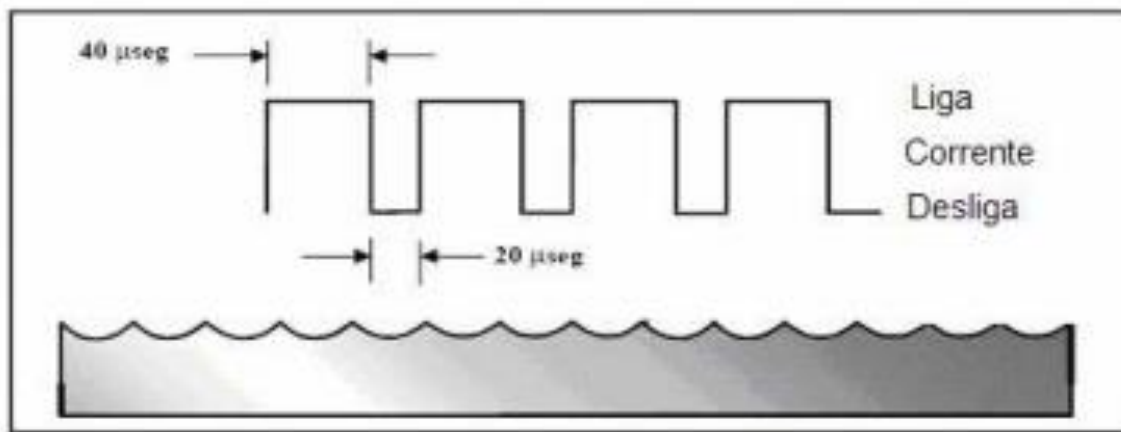


Figura 28 - Frequência moderada/ semi-acabamento [65]

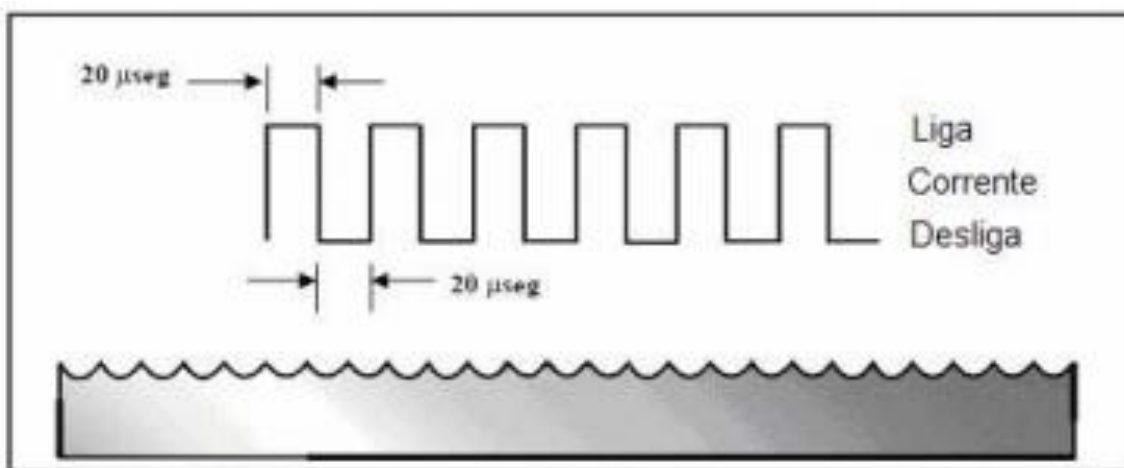


Figura 29 - Alta frequência/ acabamento [65]

Aquando do planeamento da estratégia de eletro-erosão, há certos parâmetros que deverão ser tidos em consideração de forma a produzir peças com a qualidade e toleranciamento desejado, os quais se passa a explicar:

- t_0 – tempo de pausa (μs) que se resume à relação do tempo de pausa entre duas descargas consecutivas, sendo representado pela fórmula seguinte [65]:

$$t_0 \% = \frac{t_e}{t_e + t_d} \times 100 \quad (2.6.)$$

- I – intensidade de corrente de descarga é um parâmetro importantíssimo no rendimento e na qualidade do processo de maquinagem em estudo. A intensidade de corrente de descarga encontra-se diretamente relacionado com a distância ótima entre ferramenta e peça a maquinar (GAP). De referir que a seleção da intensidade a usar depende do

acabamento desejado, da velocidade de maquinagem, da área de contacto entre a ferramenta e a peça, das características térmicas do eléctrodo, entre outras [65].

$$I = \text{Área erodida} \times \text{Coeficiente amperagem} \quad (2.7.)$$

De seguida apresenta-se um exemplo de tabelas fornecidas pelos fabricantes de equipamentos de eletro-erosão por penetração, onde constam alguns parâmetros de maquinagem de aço com um eléctrodo de cobre usando uma intensidade de corrente aplicada de 8 Amperes.

Intensidade da corrente	Tempo de impulso	Tempo de pausa	GAP (µm)	Capacidade de erosão (mm ³ / min)	Desgaste do electrodo (%)	Área mínima de erosão (mm ²)	Rugosidade (µm)	≠ entre medida final e medida do electrodo (mm)
	1	1	17	1	40	5	7	0,048
	2	2	20	2	30	5	8	0,056
	3	2	25	2	20	5	10	0,070
8 A	4	2	30	3	15	5	13	0,086
	5	3	35	5	10	5	18	0,106
	6	3	40	6	7	5	20	0,120
	7	3	45	5	5	5	22	0,134
	8	3	50	5	4	5	28	0,156
	9	3	55	4	4	5	30	0,170

Figura 30 - Tabela de parâmetros de maquinagem por eletro-erosão por penetração [66]

2.3. Materiais para ferramentas de corte

Aquando da escolha do material de uma ferramenta para executar determinada operação de maquinagem, é necessário ter em mente não só qual o material que se pretende maquinar mas também qual a estratégia de maquinagem que se pretende levar a cabo (estabelecendo as velocidades de trabalho, avanço, etc.). Assim, por exemplo, se determinada operação de maquinagem se caracterizar pela elevada temperatura de serviço, dever-se-á optar por uma ferramenta cerâmica, pois assim conseguir-se-á garantir não só qualidade da operação efetuada como também um aumento da vida útil da ferramenta utilizada.

Desta forma, para executar as mais variadas operações de maquinagem, existem no mercado ferramentas de:

- Aço rápido;
- Metal duro;
- Cerâmicas;
- Nitreto de Boro Cúbico (CBN);
- Diamante policristalino (PCD) [67].

As ferramentas em aço rápido ou *High-speed steels* (HSS) têm como principais características:

- Baixo custo;
- Elevada resistência a temperaturas elevadas;
- Elevada resistência a rutura transversal;
- Velocidades de trabalho reduzidas;
- Menor resistência ao desgaste comparativamente com as ferramentas em metal duro [68].



Figura 31 - Diversos modelos de ferramentas em HSS [69]

No caso de ferramentas de metal duro, também apelidado por *Cemented carbide tools*, estas possuem:

- Uma elevada resistência ao desgaste;
- Uma dureza idêntica, quando comparadas com as ferramentas de aço rápido, no entanto podem ser utilizadas em operações de maquinagem projetadas para velocidades de corte superiores [68];
- Ao nível de vida útil da ferramenta, pode-se referir que uma ferramenta em metal duro apresenta um ganho a rondar os 300%, quando comparado com a vida útil de uma ferramenta em aço rápido [35, 39].



Figura 32 - Diversos modelos de ferramentas em metal duro [70]

As ferramentas cerâmicas têm como principais propriedades:

- Elevada resistência ao desgaste;
- Elevada estabilidade química;
- Alta dureza a temperaturas elevadas;
- Baixa probabilidade de criar arestas postiças de corte;
- Probabilidade reduzida de desgaste por oxidação [68].

Graças às características referidas, as ferramentas cerâmicas são capazes de produzir superfícies com excelente qualidade e precisão. Este tipo de ferramentas pode ser usado não só a elevadas velocidades de corte, como também em operações em que é necessária alguma profundidade de corte [68].

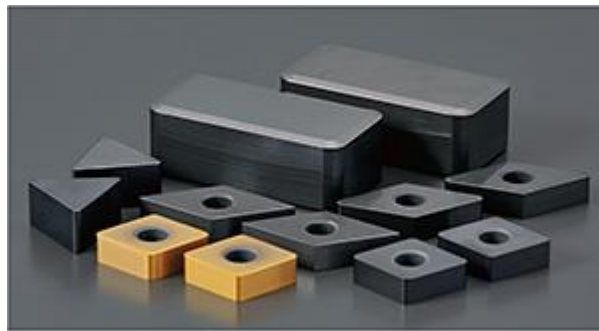


Figura 33 - Diversos modelos de pastilhas cerâmicas [71]

Já no que toca às ferramentas de CBN, estas apresentam como principais características:

- Dureza elevada;
- Dureza elevada a temperaturas de serviço a rondar os 2000° C;
- Elevada resistência ao desgaste abrasivo;
- Boa estabilidade química durante as operações de maquinagem [68].

Este tipo de ferramentas é usualmente utilizado quando se pretende efetuar um corte generoso e a alta velocidade, que será suscetível de originar elevadas tensões de corte e uma elevada temperatura de serviço [68].



Figura 34 - Diversos modelos de pastilhas em CBN [72]

Por fim, relativamente às ferramentas em PCD, estas apresentam como principais propriedades:

- Uma elevada dureza, sendo considerado o material mais duro para ferramentas;
- Uma enorme resistência ao desgaste abrasivo [68].

Este tipo de ferramentas deve ser utilizado em operações de acabamento, quando é necessária uma elevada precisão de maquinagem, bem como uma elevada qualidade superficial. Em termos comparativos, uma ferramenta de PCD tem uma vida útil pelo menos 10 vezes superior à de uma ferramenta em metal duro [68].



Figura 35 - Diversos modelos de pastilhas em PCD

2.3.1. Materiais convencionais

Os aços rápidos consistem numa liga de aço composta por:

- 0,75% a 1,5% C;
- Até 12 % Co;
- 4% a 4,5% Cr;
- 0,3% Mn;
- 10% a 20% Mo;
- 10% a 20% W;
- Até 5% V.

De referir que este tipo de material necessita de tratamento térmico, atingindo temperaturas de austenitização que rondam os 1150° C e os 1250° C. De seguida, com o objetivo de evitar a fissuração a quente, procede-se à têmpera em duas fases, reduzindo primeiramente para uma temperatura entre os 500° C e os 600° C, e após este estágio reduz-se para um estágio à temperatura ambiente [39, 73].

Este tipo de material é usualmente utilizado para a produção de ferramentas de acabamento e desbaste, brocas helicoidais, caçonetes, alargadores e escareadores [35, 39, 68,73].

Relativamente ao metal duro, este consiste numa liga de tungsténio composta por uma mistura de grãos de carboneto, tendo na sua composição química:

- 81% W;
- 6% C;
- 13% Co [39] [73].

De forma a produzir este material, é necessário recorrer à sua moldação, só após este processo passar à sinterização com temperaturas a rondar os 1450° C [39, 73].

Mediante a finalidade das ferramentas a produzir, dispõe-se de três classes de metal duro, as quais se passa a explicar:

- Metal duro à base de WC – Co – apresenta uma elevada resistência à compressão, e é usualmente utilizado para trabalhos em materiais não ferrosos, resistentes ao calor, em aço macio, madeira, pedra, entre outros;
- Metal duro à base de WC – (Ti, Ta, Nb)C – Co – é aconselhável a sua utilização para aços de apara longa, e comparativamente com a classe anterior apresenta melhores propriedades a altas temperaturas;
- Metal duro à base de TiN – TiC – Co, Ni (Cermets) – são usualmente utilizados para o torneamento e operações de acabamento, pois apresentam uma baixa adesão, elevada resistência a quente e apresentam uma elevada dureza [39, 73].

Este tipo de material é usualmente utilizado para a produção de insertos para diversos tipos de ferramentas, brocas para furação profunda, fresas de topo, ferramentas de acabamento e desbaste, entre outras ferramentas [39, 73].

2.3.2. Materiais avançados

No que concerne a este subcapítulo, irão analisar-se alguns materiais avançados, nomeadamente as cerâmicas, o CBN e o PCD.

Assim, as cerâmicas de corte poderão subdividir-se em dois grupos principais: cerâmicas óxidas e cerâmicas não óxidas. A nível das cerâmicas óxidas dispõe-se de [39, 73]:

- Cerâmicas óxidas:
 - Al_2O_3 ;
 - $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$.
- Cerâmicas mistas:
 - $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$;
 - $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{TiC}$.
- Cerâmicas reforçadas:
 - $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiC}$.

Pelo que se poderá constatar, o componente principal é a alumina (Al_2O_3).

No que concerne às cerâmicas óxidas, são materiais usados para o torneamento de desbaste e acabamento de ferro fundido cinzento, de aços temperados e extrudido, como também de aços cementados [39, 73].

Quando se compara as cerâmicas mistas com as cerâmicas óxidas, verifica-se que estas possuem uma melhor resistência ao desgaste, melhor tenacidade, maior resistência a choques térmicos e uma maior dureza [39, 73].

Usualmente as cerâmicas mistas são materiais usados para trabalhos leves ao nível de torneamento e fresagem de ferro fundido cinzento e são também usadas para executar a maquinagem de aços cementados e temperados [39, 73].

Por fim, as cerâmicas reforçadas são um material que apresenta uma boa resistência a choques térmicos, apresenta uma melhor tenacidade (cerca de 60%) quando comparado com as cerâmicas mistas, e são largamente usadas no corte com fluido lubrificante [39, 73].

Relativamente às cerâmicas não óxidas tem-se:

- Cerâmicas de Nitreto de Silício;
 - Si_3N_4 + aditivos sinterizados;
 - Si_3N_4 + Sialon + aditivos sinterizados;
 - Si_3N_4 + metal duro + aditivos sinterizados.

Ao nível de material para ferramentas ultra-duras e não metálicas ir-se-á analisar o CBN e o PCD [39, 73].

Comparativamente às ferramentas cerâmicas, as ferramentas ultra-duras e não metálicas de CBN e PCD são substancialmente mais duras que as ferramentas em Al_2O_3 e Si_3N_4 [39, 73].

No que concerne ao CBN, este é um material que não existe na natureza, pelo que tem de ser sintetizado sob elevada pressão e temperatura. A propriedade mais relevante deste material é a sua elevada dureza a quente, daí que ferramentas de CBN são perfeitas para a maquinaria de aço endurecido, ou peças fundidas, pois são capazes de maquinar materiais com durezas até 68 HRC. No entanto, o CBN tem a tendência a reagir com óxidos quando a temperaturas elevadas, como por exemplo FeO, sulfuretos e MnS. Pelo que poderá dar-se a fadiga térmica das ferramentas de CBN aquando do contacto com determinados óxidos [35, 39, 67, 68, 73].

De forma a produzir ferramentas de CBN, é necessário num primeiro estágio recorrer ao uso de elevadas temperaturas e pressão de forma a criar os grãos de CBN. No segundo estágio, os grãos de CBN são unidos pelo intermédio de ligantes. É relevante referir que cada classe de ferramenta é constituída, ou por um ligante à base de cerâmica, usualmente Al_2O_3 (de forma a capacitar a ferramenta de elevada dureza), ou à base de metal, geralmente sinterizado ou por carbonetos de cerâmica (com o objetivo de produzir uma ferramenta mais tenaz) óxidos [39, 67, 68, 73].

No que toca ao PCD, este é composto por carbono puro, sendo produzido sinteticamente sob elevada pressão e temperatura óxidos [39, 67, 73].

O método produtivo de ferramentas em PCD é em tudo idêntico à produção de ferramentas de CBN, ou seja, num primeiro estágio é necessário recorrer a elevadas temperaturas e pressões, de forma a criar os grãos de PCD. No segundo estágio, os grãos de PCD são unidos por intermédio de ligantes. Relevante referir que no caso das ferramentas em PCD, estas são constituídas por um ligante à base de cerâmica, usualmente SiC (com o objetivo de capacitar a ferramenta

de elevada dureza), ou à base de metal, geralmente através de Co (de forma a produzir uma ferramenta mais tenaz) [24, 39, 67, 73].

O PCD considerado o material de corte mais duro quando comparado com os demais. Dado este facto, não só apresenta uma resistência ao desgaste excecional, como também uma longa vida útil [39, 67 73]. É pouco tenaz.

As ferramentas em PCD não devem ser usadas na maquinagem de ligas ferrosas, no entanto são largamente utilizadas na maquinagem em série de ligas não-ferrosas e não-metálicas, como por exemplo óxidos [39, 73]:

- Ligas de alumínio com elevado teor em silício (superior a 12%), devido ao facto de serem um material muito abrasivo;
- Compósitos reforçados com fibra de vidro, uma vez que as arestas de corte afiadas da ferramenta evitam a ocorrência de delaminação do próprio compósito;
- Cobre e as suas ligas, bem como latão e bronze;
- Prata, ouro e platina.

O PCD é um material extremamente duro, e por si só muito frágil, é bastante sensível ao calor e ao impacto, pelo que necessita de certas condições de maquinagem, como por exemplo, elevadas velocidades de corte. Assim, pode-se facilmente concluir que as ferramentas de PCD são geralmente utilizadas em operações de acabamento, principalmente quando se pretende alcançar uma rugosidade superficial inferior a 0,1 mm e uma velocidade de corte a rondar os 2000 m/min [39, 67, 68, 73].

2.3.3. Revestimentos para ferramentas de corte

Primeiramente é fulcral reconhecer que o revestimento de ferramentas de corte tem uma enorme influência no processo de corte. Assim, após isso, é necessário ter em conta o material base da ferramenta a revestir, bem como o processo que se pretende utilizar para efetuar o respetivo revestimento. Como processos disponíveis a efetuar o revestimento das ferramentas de corte tem-se:

- O CVD, que é o processo de revestimento por deposição química em fase de vapor, também apelidado por *chemical vapor deposition*. Assim, durante o revestimento

ocorre uma reação química aquando da deposição dos átomos ou moléculas ou a combinação destes [68, 74];

- O PVD, que simboliza o processo de revestimento por deposição física em fase de vapor, ou em inglês, *physical vapor deposition*. Podendo proceder ao revestimento de peças através de deposição de arco catódico, laser pulsado, pulverização, entre outros [68, 75];

Usualmente os revestimentos em ferramentas de corte são efetuados nas pontas de ferramentas em metal duro, os quais poderão ser efetuados através de ambos os processos de revestimento. No entanto, também é possível efetuar revestimentos em ferramentas cerâmicas, sendo que estas apenas são usualmente revestidas através do processo de revestimento por deposição física em fase de vapor [75].

Os materiais mais usados para efetuar o revestimento das ferramentas de corte são:

- Nitreto de titânio, que promove uma maior resistência ao aparecimento de crateras;
- Carboneto de titânio, usado para aumentar a dureza e a resistência mecânica da ferramenta de corte;
- Óxido de alumínio (alumina), tem como objetivo proporcionar uma maior dureza a temperaturas elevadas, bem como um aumento da resistência à abrasão e à oxidação;
- Nitreto de titânio alumínio, usado para aumentar a resistência à oxidação e a dureza a temperaturas elevadas [76].

A espessura do revestimento normalmente situa-se entre 2 a 15 μm . Por vezes o revestimento possui mais do que uma camada, mediante a finalidade do revestimento, conforme se poderá verificar na Figura 36 [76].

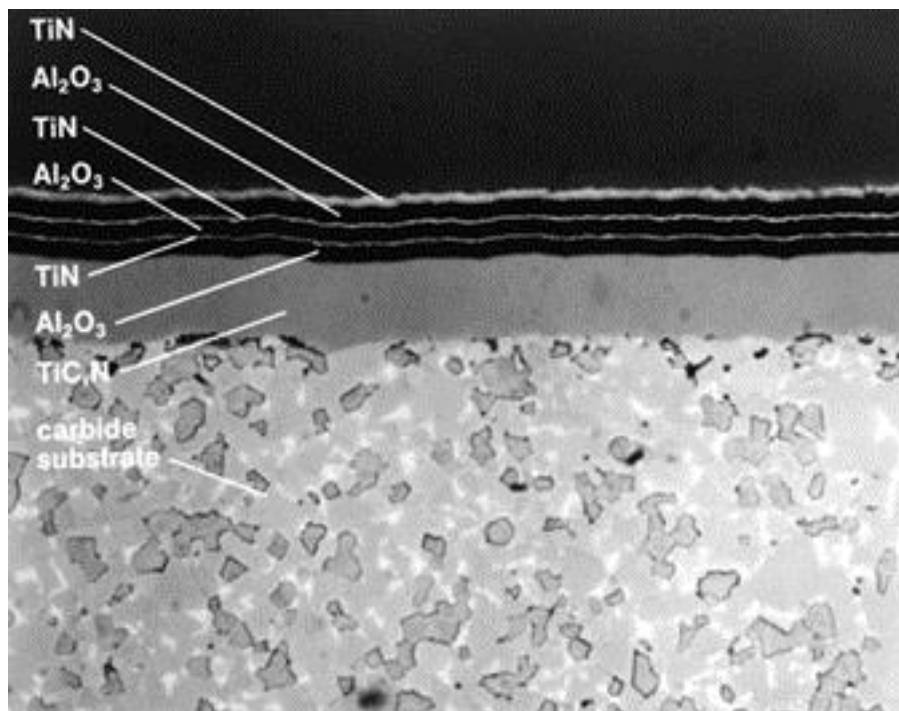


Figura 36 – Aspeto de um revestimento multi-camada [77]

Ao nível produtivo, proceder ao revestimento das ferramentas de corte proporcionará certas vantagens na estratégia de maquinagem, entre as quais:

- Aumento da vida útil da ferramenta;
- Velocidade de corte superior;
- Melhoria da qualidade superficial obtida nas peças maquinadas;
- Melhoria da operação de maquinagem sem fluido de corte, devido à rápida difusão do calor proveniente da operação de maquinagem [68, 73].

No que toca às ferramentas, a escolha adequada do revestimento da ferramenta de corte proporcionará:

- Uma maior proteção do material de base da ferramenta, promovendo assim uma maior resistência à abrasão;
- Maior isolamento térmico do material de base da ferramenta;
- Aumento da dureza na interface apara/ferramenta de corte;

- Redução de atrito na interface apara/ferramenta, proporcionando assim, forças de corte mais reduzidas;
- Redução do aparecimento de arestas postiças [68, 77].

2.4. Refrigeração e lubrificação na maquinagem por arranque de apara

O método mais usado para promover a refrigeração e lubrificação nos processos de maquinagem é o uso de fluido de corte. Este é largamente utilizado na maquinagem de diversos tipos de metais à exceção do ferro fundido, que poderá ser maquinado a seco [67].

O uso generalizado de fluido de corte nos processos de maquinagem é explicado por determinados benefícios inerentes à sua aplicação, dos quais se destaca:

- Melhora o acabamento superficial;
- Aumento da vida útil das ferramentas de corte;
- Promove a dureza e a precisão dimensional das ferramentas durante mais tempo, devido a temperaturas de serviço mais reduzidas;
- Permite velocidades de corte mais elevadas;
- Reduz a potência necessária para o processo;
- Diminuição do consumo energético do equipamento;
- Aumento da produtividade e diminuição dos custos de maquinagem;
- Aumento da eficiência relativamente à remoção de apara [77].

Após se referir os benefícios do uso de fluido de corte, é fulcral perceber-se quais as suas principais funções, entre as quais refere:

- Uma melhor refrigeração da peça e da ferramenta;
- Uma lubrificação adequada da ferramenta e da peça a maquinar, durante a operação de corte;
- Uma maior proteção da peça maquinada contra a corrosão;
- Uma eliminação mais facilitada da aresta postiça de corte [77].

Tendo em consideração tudo o que foi descrito anteriormente, torna-se necessário aquando do planeamento da estratégia de maquinagem ter em consideração certos parâmetros de forma a optar-se pelo fluido de corte mais adequado à operação de maquinagem em questão, de forma a usufruir dos benefícios da sua utilização. Assim dever-se-á ter em atenção:

- O material da peça a maquinar e o material da ferramenta de corte;
- O processo de maquinagem;
- A estratégia de maquinagem (parâmetros de corte);
- Equipamentos a utilizar e as séries a produzir;
- Rigor dimensional e acabamento superficial desejado;
- Armazenamento, limpeza e tratamentos posteriores das peças maquinadas;
- Sistema de recirculação do fluido de corte;
- Análise económica;
- Segurança;
- Condições de fornecimento [77].

2.5. A automatização de processos de maquinagem

Um marco relevante, no que concerne à automatização de processos de maquinagem, dá-se na década de 70 com a introdução na indústria de centros de maquinagem CNC. Esta inovação proporcionou cerca de 50% de poupança no tempo de ciclo e de *setup* [73].

A redução do tempo de ciclo, em muito se deve ao facto de nos equipamentos CNC, todos os movimentos inerentes a determinada operação de maquinagem serem efetuados por motores independentes, e coordenados eletronicamente por computador, o que possibilita uma redução no tempo de movimentação das ferramentas de corte entre operações de maquinagem [73].

Após 1980 foram desenvolvidos sistemas de troca automática de ferramentas, bem como o desenvolvimento de sistemas de troca de mesas de trabalho, as quais possibilitavam a preparação para maquinagem de determinada peça, enquanto uma outra se encontrava a ser maquinada [73].

No que concerne ao software CAD/CAM, a sua introdução na indústria proporcionou aos colaboradores uma maior capacidade para efetuar o devido tratamento e análise de desenhos/projetos, tornando o seu trabalho mais facilitado e rápido.

Posto isto, pode-se concluir que o software CAD/CAM promoveu certas melhorias na produção e no projeto, entre as quais:

- Redução do tempo de projeto;
- Redução do tempo de preparação de trabalho;
- Maior interligação entre o CAD/CAM presente no computador do colaborador e o equipamento de maquinagem;
- Tratamento de dados mais facilitado, possibilitando uma análise mais rápida da melhor estratégia de maquinagem;
- Eliminação de possíveis erros ao nível de conceção [78].

Mais recentemente, foram introduzidos no mercado sistemas de medição automática de peças, também conhecidos como apalpadores, tal como se poderá verificar na Figura 37. Este tipo de

sistema proporciona, entre outras funcionalidades, efetuar uma adaptação das coordenadas da estratégia de maquinagem às dimensões da peça a maquinar. Por outras palavras, este sistema é capaz de efetuar o zero peça automaticamente antes de ser efetuada a maquinagem, e após isso adapta-se a tais dimensões recolhidas, proporcionando uma peça maquinada de acordo com o projetado inicialmente [79].



Figura 37 – Apalpador por contato com transmissão por rádio da RENISHAW [80]

2.5.1. Breve resenha histórica do aparecimento e evolução do CNC

Na década de 50, foram introduzidas na indústria máquinas-ferramentas CN (Controlo numérico), ou por outras palavras, máquinas com controlo numérico. Após imensos estudos, cujo tema central era a produtividade desses equipamentos, comprovou-se que esses equipamentos apenas produzem cerca de 20% do tempo. Assim, concluiu-se que cerca de 60% do tempo aqueles equipamentos não estavam a laborar, ou seja, todo esse tempo era usado para efetuar o respetivo *setup* nos equipamentos, bem como efetuar a carga de peças por maquinar e a descarga de peças maquinadas. No tempo restante, os equipamentos não eram utilizados de todo [73].

Tendo estes dados em mente, iniciou-se uma fase de investimento e investigação que conduziu a um melhoramento produtivo em que o principal objetivo seria a redução de desperdícios, não só relativamente ao tempo de produção, como também relativamente ao tempo não produtivo (*setup*) e tempo de inatividade dos equipamentos [73].

Posto isto, desde a década de 70 que se verificou um crescimento ao nível da introdução de equipamentos CNC na indústria, bem como novas formas na organização da produção [73].

Estes equipamentos foram introduzidos para substituir os equipamentos com CN sendo que rapidamente demonstraram o seu valor, reduzindo os tempos de *setup* e o tempo de movimentação no espaço das ferramentas de corte entre operações de maquinagem, por outras palavras, o tempo de ciclo. Esta redução pode ser explicada pelo facto, de nos equipamentos CNC, todos os movimentos inerentes a determinada operação de maquinagem serem efetuados por motores independentes, e coordenados eletronicamente por computador [73].

No que concerne à utilização de software CAD/CAM, esta iniciou-se na década de 50 num teste militar. No entanto, durante a década de 60 algumas empresas do setor automóvel adotaram esta nova tecnologia com o objetivo de facilitar o projeto da estrutura metálica dos automóveis. Desde essa altura que a utilização deste tipo de software se difundiu para outros setores da indústria [78].

2.5.2. Sistemas complementares

Após tudo o que foi descrito, é fulcral fazer referência aos sistemas complementares que gravitam à volta do CNC: desde sistemas de realização automática do zero-peça, até aos sistemas automáticos de passagem de peça de uma bucha para outra.

Assim, no que toca aos sistemas de medição automática, dispõe-se de apalpadores capazes de efetuar medições antes, durante e após a maquinagem.

De forma a efetuar as diferentes medições, é necessário apenas um apalpador e um sistema (FANUC, RENISHAW, entre outros) capaz de rececionar os dados recolhidos e proceder ao seu devido tratamento [79].

No caso das medições efetuadas numa fase de pré-maquinagem (Figura 38), o apalpador envia o zero-peça e as coordenadas exatas do bloco que se pretende maquinar, com o objetivo de se obter a peça perfeitamente maquinada conforme planeado inicialmente. O uso deste sistema proporciona algumas vantagens ao processo de maquinagem, entre as quais:

- Eliminação de erro humano aquando da realização do zero-peça;
- Redução do número de peças defeituosas;
- Redução do tempo de *setup*;
- Maior produtividade e flexibilidade na produção [79].



Figura 38 – Operação de definição automática do zero-peça [79]

No que concerne às medições realizadas durante a maquinagem, o apalpador envia as coordenadas exatas das operações já realizadas no bloco, de forma a que a próxima operação de maquinagem se adapte às coordenadas recolhidas, conforme se poderá verificar através da Figura 39. Assim, este tipo de medição possibilita:

- A medição das peças durante a maquinagem, promovendo uma correção automática de quaisquer desvios existentes;
- Uma maquinagem flexível, capaz de produzir peças com variação dimensional muito reduzida [79].



Figura 39 – Operação intermédia de medição durante a maquinagem [79]

Relativamente às medições realizadas após a maquinagem (Figura 40), o apalpador envia as coordenadas exatas dos pontos definidos pelo utilizador e comprova se estas se encontram

entre os limites de toleranciamento estabelecidos. Assim, com este sistema é possível reduzir o tempo de paragem dos equipamentos que aguardam os resultados da inspeção inicial, bem como efetuar nas produções seguintes uma atualização (se necessário) da estratégia de maquinação ao nível das suas coordenadas [79].



Figura 40 – Operação de inspeção final da peça maquinada [79]

De referir que existem apalpadores tridimensionais (Figura 41) capazes de efetuar todas as medições referidas anteriormente dispondo ainda de maior flexibilidade [79].



Figura 41 – Aspeto de um apalpador tridimensional da RENISHAW [81]

Os sistemas de medição de ferramentas (Figura 42) são facilmente instalados nos centros de maquinação, e proporcionam imensas vantagens ao nível da produção, entre as quais:

- Redução do tempo em que o equipamento se encontra parado;
- Elimina os erros humanos, relativamente ao ajuste manual;

- Possibilita a medição do diâmetro e comprimento das ferramentas;
- Efetua os cálculos relativos aos desvios das ferramentas e efetua automaticamente as respetivas compensações dimensionais;
- Permite uma redução da sucata [79].



Figura 42 - Sistema de medição automática das ferramentas Renishaw [79]

Através deste sistema, é também possível detetar ferramentas partidas, sendo que para tal, apenas será necessário adicionar um ciclo de verificação da condição da ferramenta à estratégia de maquinagem já delineada. No caso de a ferramenta não se encontrar conforme para prosseguir com a maquinagem de outras peças, aparecerá uma notificação no monitor do equipamento idêntica à representada na Figura 43 [79].

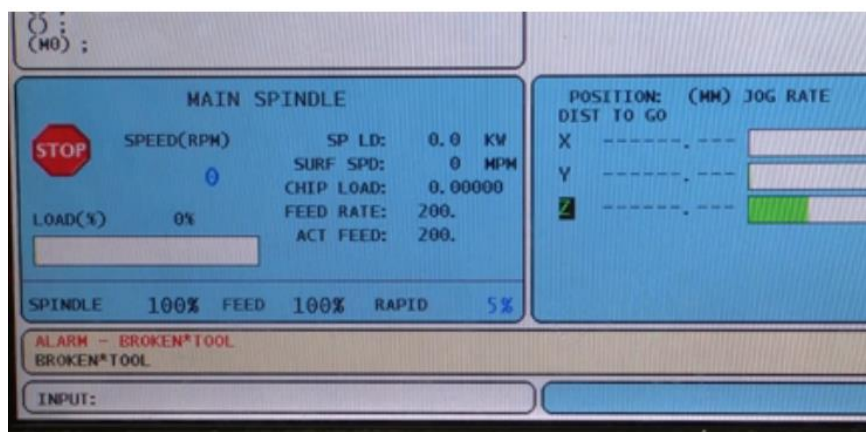


Figura 43 - Aviso de ferramenta partida [79]

De referir que também é possível através de feixe de laser, efetuar uma análise das ferramentas em zonas definidas pelo utilizador, antes e depois de qualquer operação de maquinagem. O

objetivo principal deste sistema é garantir a maior precisão possível ao processo de maquinação CNC no menor tempo possível e sem intervenção humana [82].

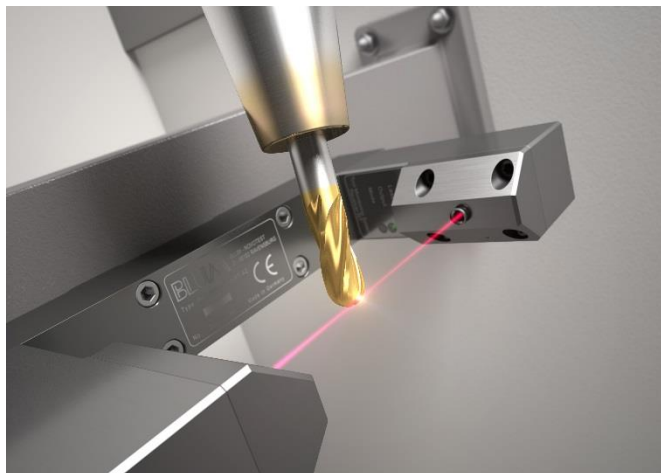


Figura 44 - Sistema de análise da integridade de ferramentas por feixe de laser [83]

Outro sistema complementar de maquinação CNC com elevada relevância são as mesas rotativas (Figura 45).



Figura 45 - Mesa rotativa Haas TR210 de 5 eixos [84]

Este sistema é largamente utilizado em centros de maquinação de 3 eixos, com o objetivo de lhes conceder maior versatilidade, tornando-os capazes de laborar em 4 ou 5 eixos. Isto acontece, devido ao facto de se pretender reduzir ao máximo a intervenção humana, e o tempo em que os equipamentos se encontram parados devido à necessidade de efetuar o *setup* sempre que se altera de plano.

Após fixar as peças na mesa rotativa, esta encarrega-se de efetuar as movimentações axiais necessárias para efetuar toda a maquinagem com sucesso, ou seja, com um *setup* é possível efetuar a maquinagem de toda uma peça (exceto face de fixação), conforme se poderá verificar através da Figura 46. De referir que as mesas rotativas possuem uma rapidez de rotação a rondar os 100 ° / segundo e uma precisão de cerca 0.00417°.

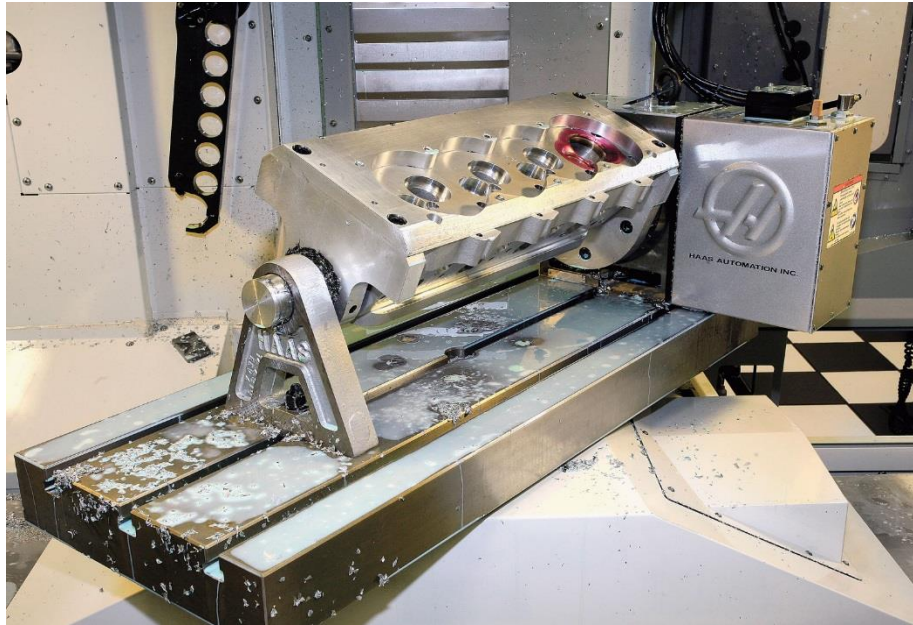


Figura 46 - Rotação axial da mesa de trabalho

Assim, com o uso deste sistema complementar é possível reduzir o número de *setups* necessários para maquinar uma peça, reduzir o tempo em que os equipamentos se encontram parados (tempo utilizado para efetuar os diversos *setups*), aumentar a produtividade e aumentar os níveis de qualidade dos produtos acabados.

No que concerne a tornos CNC, dispõe-se também de sistemas que visam o aumento da produtividade e qualidade. Exemplos desses sistemas são:

- Os sistemas de extração automática de peças torneadas. Através do exemplo ilustrado pela Figura 47 é possível verificar que durante a operação de torneamento o sistema de extração de peças se encontra desativado, não possibilitando a extração de peças e garantindo que não possibilita a extração de aparas através deste sistema [85].



Figura 47 - Posição do sistema de extração de peças durante operação de maquinagem [85]

No caso da Figura 48 pode-se verificar que a posição do sistema de extração se encontra preparada para receber a peça torneada e extraí-la para o tapete rolante (Figura 49), sendo que através do tapete rolante a peça irá ser conduzida para a zona de acondicionamento de peças finais [85].



Figura 48 - Posição do sistema de extração após terminar o torneamento de uma peça [85]



Figura 49 - Tapete rolante do sistema de extração de peças [85]

De forma a reduzir a intervenção humana, bem como os tempos de *setup*, desenvolveram-se sistemas de alimentação automática de matéria-prima. Assim, através de Figura 50 encontram-se representados alguns modelos de alimentação automática de matéria-prima.



Figura 50 – Sistemas de alimentação automática para tornos CNC [86]

Na Figura 51 encontra-se representada a sequência operatória de um sistema de alimentação automática apropriado para tornos CNC.

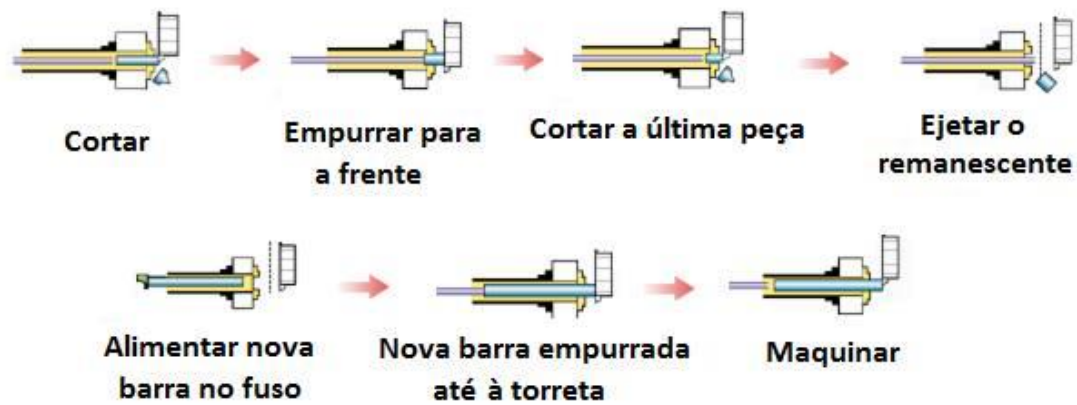


Figura 51 - Sequência operacional de um sistema de alimentação para tornos CNC [87]

Conforme se pode verificar através da Figura 50, os sistemas de extração poderão ser projetados de acordo com as necessidades produtivas dos clientes.

Este sistema apresenta assim a vantagem de reduzir ao máximo o uso da força humana, bem como o tempo em que o equipamento se encontra parado, quer seja para efetuar o *setup* para determinada operação de maquinagem, quer seja para colocar material para tornear ou retirar material já torneado.

Por fim, torna-se relevante fazer referência aos sistemas que possibilitam a passagem automática da peça de uma bucha para outra bucha, sendo que para tal apenas será necessário proceder à respetiva programação aquando da estruturação da estratégia de maquinagem.

Assim, para proceder à passagem da peça para a bucha secundária, é necessário existir uma movimentação da bucha secundária em direção à bucha principal, conforme se poderá verificar pela Figura 52.

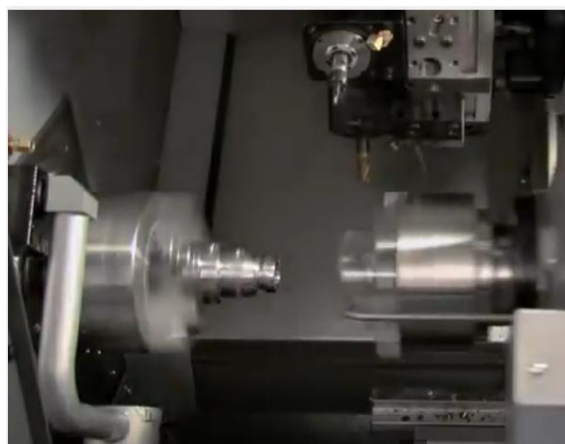


Figura 52 - Movimentação da segunda bucha para se efetuar a passagem da peça [88]

Após as buchas estarem perfeitamente localizadas e apresentarem uma velocidade rotacional igual, dá-se a passagem da peça da bucha principal para a bucha secundária, como se pode comprovar através da Figura 53.

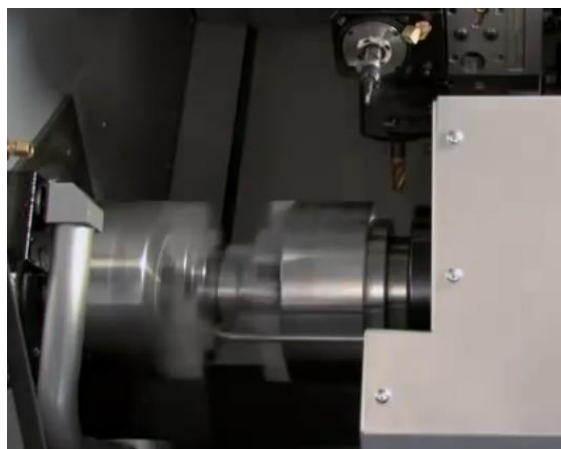


Figura 53 – Passagem da peça da bucha principal para a bucha secundária [88]

A última operação, após dispor da peça na bucha secundária, é verificar-se um afastamento entre as buchas (Figura 54), de forma a proporcionar espaço para se continuar a desenrolar a maquinação.



Figura 54 - Peça fixa na segunda bucha [88]

Este tipo de sistema é normalmente utilizado quando se pretende maquinar uma peça de ambos os lados, apenas com um único *setup*. Desta forma, minimiza-se não só o tempo de paragem do equipamento, bem como o tempo de manuseamento da peça por parte dos colaboradores, promovendo assim um aumento da disponibilidade do equipamento, o que se poderá traduzir num aumento da produtividade [89].

2.5.3. Gabaritos para maquinagem

Ao nível da maquinagem, os gabaritos são largamente utilizados, sendo projetados/construídos de acordo com as necessidades produtivas. Assim, dispõe-se de vários tipos de gabaritos, cada um com maior ou menor versatilidade [90].

Os gabaritos considerados mais rudimentares e largamente utilizados são aqueles que utilizam grampos ou batentes para fixar as peças a maquinar. Na Figura 55 pode-se verificar um exemplo de um gabarito em que são utilizados grampos para promover uma perfeita fixação das peças a maquinar.

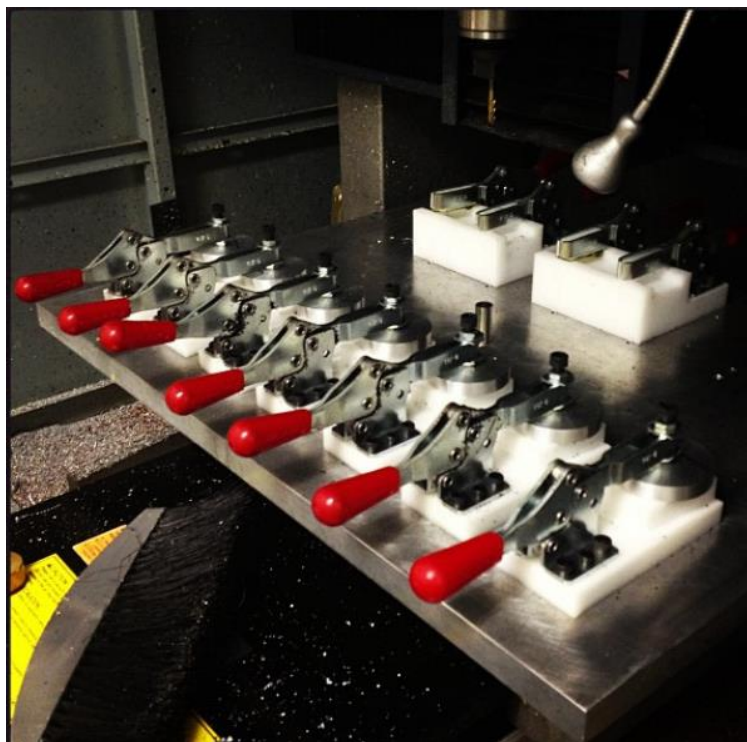


Figura 55 - Gabarito com grampos [91]

Através da Figura 56 encontra-se representado um exemplo de gabaritos em que são utilizados batentes para efetuar a correta fixação e localização das peças a maquinar.

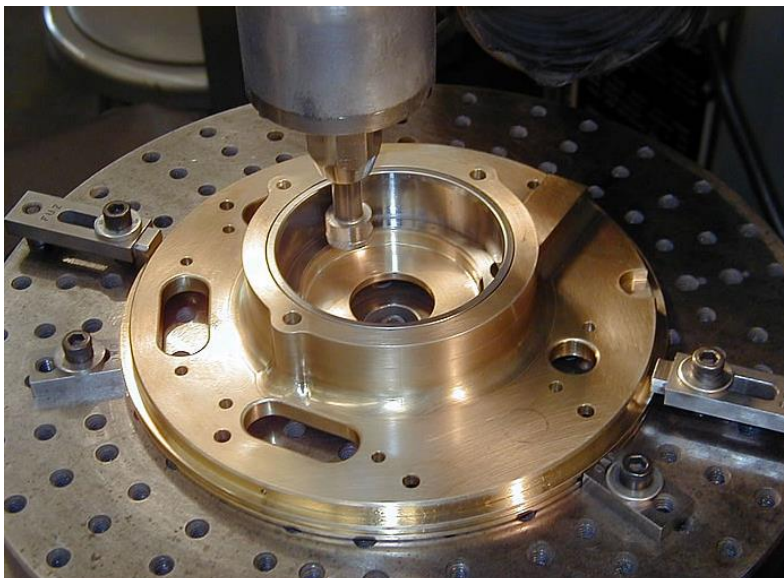


Figura 56 - Gabarito com batentes [92]

Estes gabaritos, apesar de proporcionarem um ótimo posicionamento e fixação das peças a maquinar, não são tão versáteis como os que irão ser apresentados de seguida, pois estes gabaritos apenas poderão ser usados para peças que cumpram as cotas usadas para proceder à respetiva fixação das peças.

Já no caso dos gabaritos de placa (Figura 57), estes são muito mais versáteis e existem em diversos tamanhos.

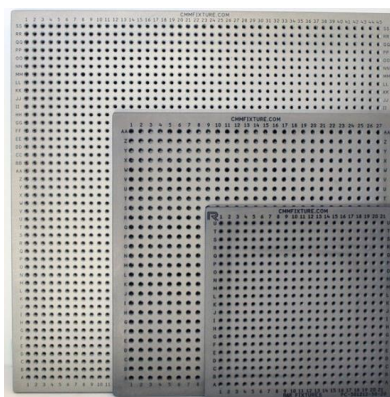


Figura 57 - Gabaritos de placa [93]

A Figura 58 comprova que todos os furos poderão ser utilizados para a montagem de grampos ou batentes, o que possibilitará maquinar diferentes modelos, tendo sempre a possibilidade de

adaptar o gabarito ao modelo a maquinar, tornando este tipo de gabaritos mais versátil que os anteriormente apresentados [80].

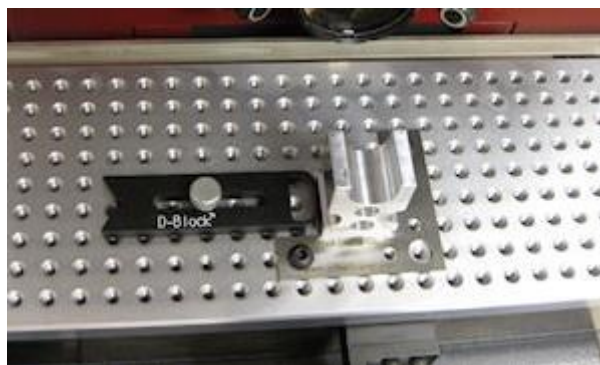


Figura 58 - Gabarito placa com peça a maquinar [94]

Tendo por base a versatilidade apresentada nos gabaritos de placa, torna-se fulcral fazer referência aos grampos magnéticos (Figura 59), pois estes não só proporcionam uma diminuição do tempo de *setup*, como também possibilitam a maquinagem de toda a superfície da peça, não havendo qualquer risco de embater em algum grampo ou batente, uma vez que as peças são fixas magneticamente.



Figura 59 - Grampos magnéticos [95]

Na Figura 60 encontram-se representados os grampos magnéticos, que poderão ser usados para a retificação de uma peça, onde não seja necessária a localização precisa da mesma.



Figura 60 - Grampos magnéticos com peça por maquinar [96]

Na Figura 61 é representado o sistema de grampos magnéticos sob a forma de mesa, que tem a mesma funcionalidade que o apresentado anteriormente, no entanto possibilita o posicionamento mais exato da peça a maquinar, através dos furos existentes na respetiva mesa.



Figura 61 - Grampos magnéticos sob a forma de mesa [97]

Os diferentes modelos de gabaritos a usar na maquinagem têm como principal objetivo reduzir o tempo de *setup* e promover a repetibilidade da maquinagem, garantindo que todas as peças, do mesmo modelo, irão ser posicionadas de uma forma precisa, simples e segura. Assim, é possível reduzir a quantidade de peças não conformes por não respeitarem os toleranciamentos pretendidos. Todos estes fatores potenciam a poupança de recursos, dotando as empresas de uma maior competitividade perante os demais concorrentes.

3. Desenvolvimento

3.1. Objetivos específicos deste trabalho prático

Dado que o presente trabalho trata de um sistema de apoio a um equipamento de maquinagem CNC, torna-se necessário que este seja o mais adequado possível às necessidades da empresa, devendo ser capaz de responder a todos os requisitos provenientes da área produtiva, bem como da qualidade. Tendo por base este contexto, surgem 2 cenários possíveis:

- a) Elaboração de um sistema que possibilitasse a integração de todas as operações de maquinagem;
- b) Elaboração de um sistema que executasse as tarefas mais usuais, no que toca à maquinagem das peças a tratar.

A escolha recaiu na opção b), atendendo aos valores institucionais patenteados pela empresa relativamente aos seus recursos humanos. Desta forma, a empresa que pretende implementar este sistema tem como objetivo principal libertar mão-de-obra para outras funções, o que foi tido em conta no desenho desta solução, pois a intervenção humana continuará a ser uma peça fundamental para o bom funcionamento do sistema, como será descrito de seguida.

3.2. Caracterização da empresa que acolheu o projeto

A empresa Delfingen surgiu apenas em 2007, tendo existido desde 1954 com o nome de Sofanou.

Após mais de 30 anos, a Sofanou decide focar-se na produção de proteções de cablagens para o setor automóvel.

Já em 1986 a Sofanou inicia a sua expansão europeia, e mais tarde em termos mundiais, lutando sempre por acompanhar os seus clientes, de forma a suprir as suas necessidades ao mais baixo custo possível.

Com auxílio do cronograma da história de desenvolvimento da Delfingen, pode-se constatar que em 2000 foi adquirida a primeira fábrica na Ásia, tendo desde então continuado a expandir-se em termos mundiais. A última fábrica adquirida foi em Lagendorf (Alemanha).

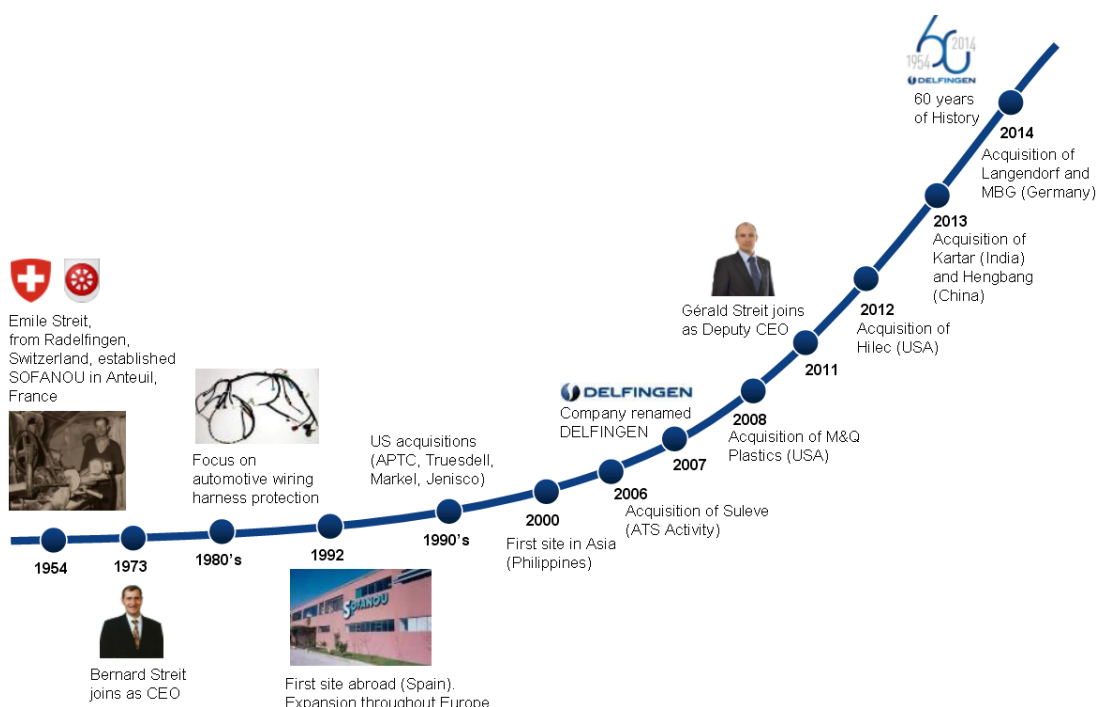


Figura 62 - Cronograma da história de desenvolvimento da Delfingen

A Delfingen pauta a sua atuação no mercado com base em 4 valores fundamentais, nomeadamente:

- A Partilha – resume-se à partilha de informação, saber – fazer, boas práticas, esforços, lucros;
- A Responsabilidade – consiste em respeitar e potenciar os colaboradores, respeitar compromissos do grupo bem como os individuais, responsabilidade em ser honesto e leal e fazer bem à primeira vez;
- A Melhoria contínua – ou seja, o compromisso de crescimento a nível pessoal de forma a potenciar a melhoria das funções individuais e da prestação global do grupo, desafiar a sua mudança e formalizá-las num processo;
- A Liberdade – no que toca a respeitar as diferenças, liberdade de expressão, tomar decisões e agir de acordo com os princípios do grupo.

Assim, regendo a sua atuação no mercado pelos quatro valores referidos, a Delfingen tem como principal missão:

- Desenvolver uma empresa sólida, duradoura e rentável;
- Garantir a satisfação dos seus clientes, colaboradores e acionistas.

Para atingir tão ambiciosa missão, a Delfingen tem como visão:

- Desenvolver uma rede de parceiros com capacidade técnica e competitiva acima da média;
- Ser reconhecida pelos seus clientes como uma referência nas suas áreas de atuação.

Desta forma a Delfingen apresenta como principais objetivos:

- A diversificação de clientes, mercados, produtos e serviços;
- Aumentar o seu posicionamento global.

Graças à sua expansão geográfica descrita anteriormente, foi possível à Delfingen diversificar as suas áreas de negócio, possuindo atualmente as seguintes:

- Sistemas de proteção de cablagens - VPS;

- Sistemas de transferência de fluidos - FTT;
- Sistemas de fixação de assentos automóvel - ITF;
- Montagem de componentes - MAS.



Figura 63 - Entrada da Delfingen PT Porto

A Figura 63 representa as instalações da Delfingen PT Porto, onde se efetua a montagem de diversos componentes automóveis como por exemplo, componentes constituintes de motores limpa pára-brisas (Figura 64), cablagens (Figura 65), soldadura de vedantes de borracha para portas e malas de automóveis (Figura 66), entre outros.

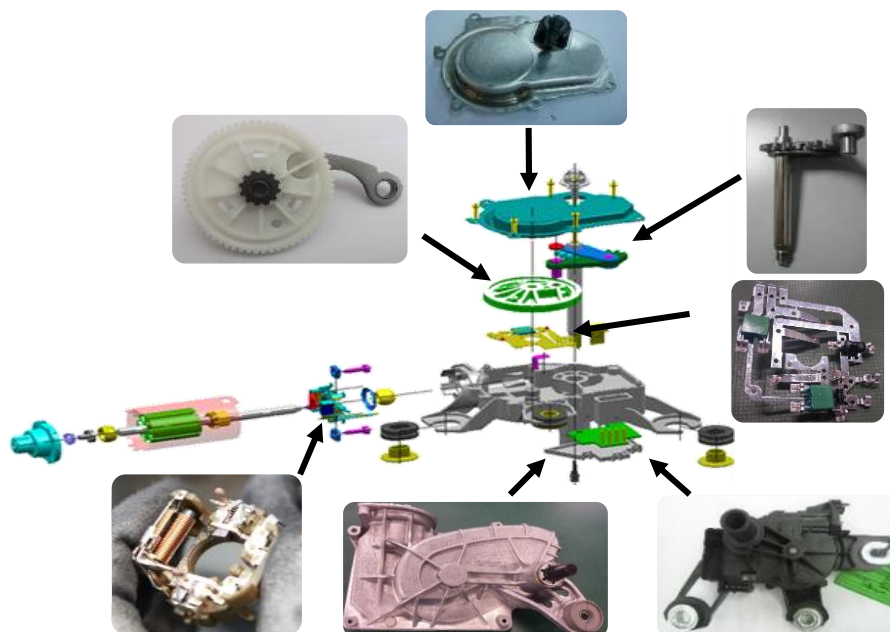


Figura 64 - Componentes de motor limpa pára-brisas montados na Delfingen



Figura 65 - Proteção de cablagens



Figura 66 - Vedantes para portas e malas de carros

3.3. O problema

O desafio passou pela automatização do processo de maquinagem de um grande número de peças de geometrias díspares (no total 20 referências), obtidas através do processo de injeção de alumínio, que apesar de terem operações comuns, sofrem maquinagem em diferentes coordenadas.

Desta forma, aquando do início do projeto, a Delfingen definiu os seguintes requisitos:

- Redução do tempo de ciclo;
- Redução da utilização de mão-de-obra;
- Apresentar melhorias ao nível da qualidade, através da produção de peças com uma maior precisão;
- Proceder à alocação de todas as operações de maquinagem efetuadas para o equipamento CNC;
- Solução terá de ser facilmente adaptável às diversas referências já existentes;
- Capacidade de esta solução se adaptar a novos modelos de *metallic gear housing*;
- Utilização das ferramentas já existentes;
- Apresentação de ferramentas especiais, de forma a proporcionar um tempo de ciclo mais reduzido.

Tendo todos estes requisitos em mente, optou-se por projetar uma solução para a referência com maior procura. De referir que a solução que irá ser apresentada dispõe de flexibilidade suficiente para se adaptar a diferentes referências. Através da Figura 67 é possível verificar a diversidade de referências existente.



Figura 67 - Amostras padrão das diferentes referências a maquinar

3.3.1. Identificação do problema

Como foi referido anteriormente, o problema central deste estudo reside no facto de existirem 20 modelos diferentes do componente a maquinar (*metallic gear housing*), sendo possível analisar alguns exemplares dos componentes a maquinar através da Figura 68 e da Figura 69.

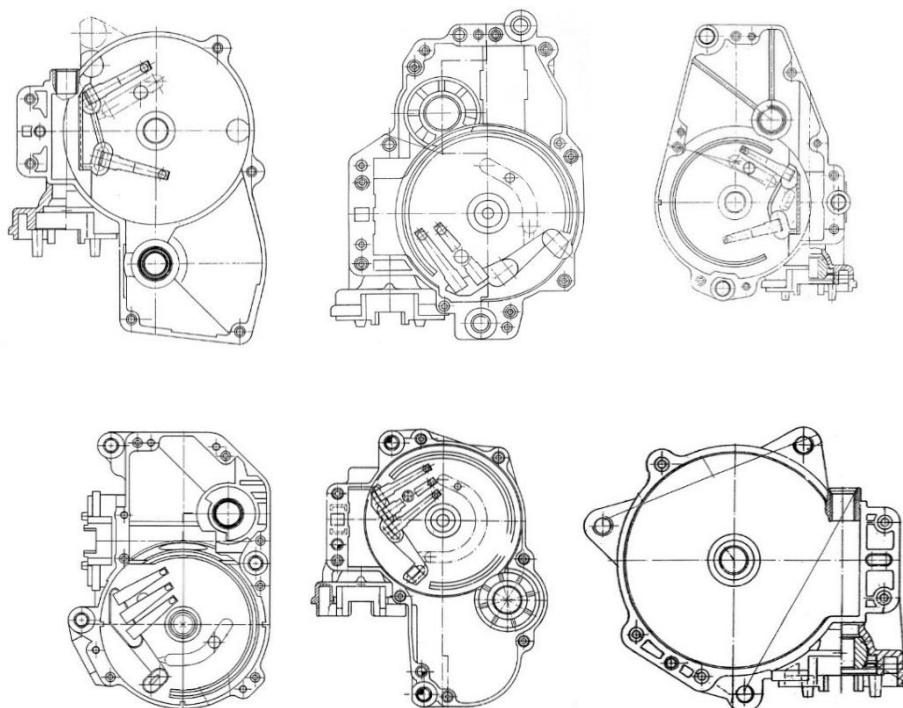


Figura 68 – Exemplos de alguns modelos de carcaças metálicas 2D



Figura 69 - Exemplos de alguns modelos de carcaças metálicas

Cada componente é montado num modelo automóvel específico, dependendo do sistema limpa pára-brisas utilizado. No entanto, foi possível verificar que nos diferentes modelos do componente a maquinar existem operações de maquinagem comuns, pelo que, devido às suas geometrias díspares, essas operações comuns terão de ser efetuadas em diferentes coordenadas, tornando-se fulcral dispor de um processo de maquinagem flexível e capaz de se adaptar com facilidade aos modelos a maquinar. Na Figura 70 encontram-se representadas as operações comuns nos diferentes modelos do componente a maquinar.

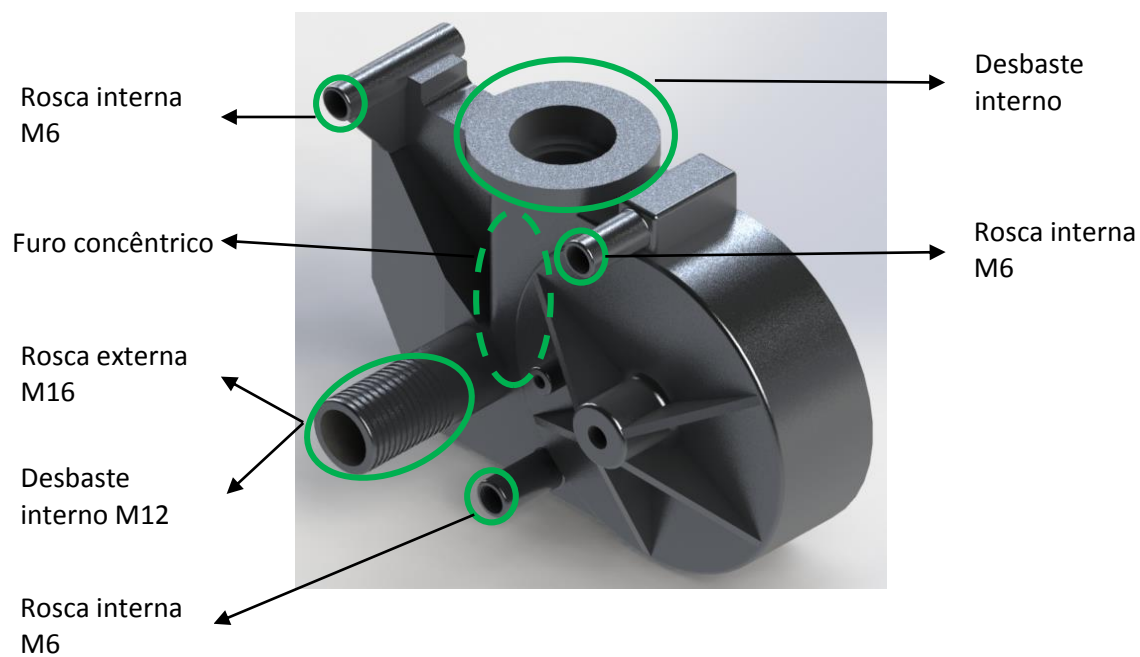


Figura 70 - Operações comuns de maquinagem

Atualmente, a gama operatória para produção das peças em análise apresenta a sequência operatória representada na Figura 71.

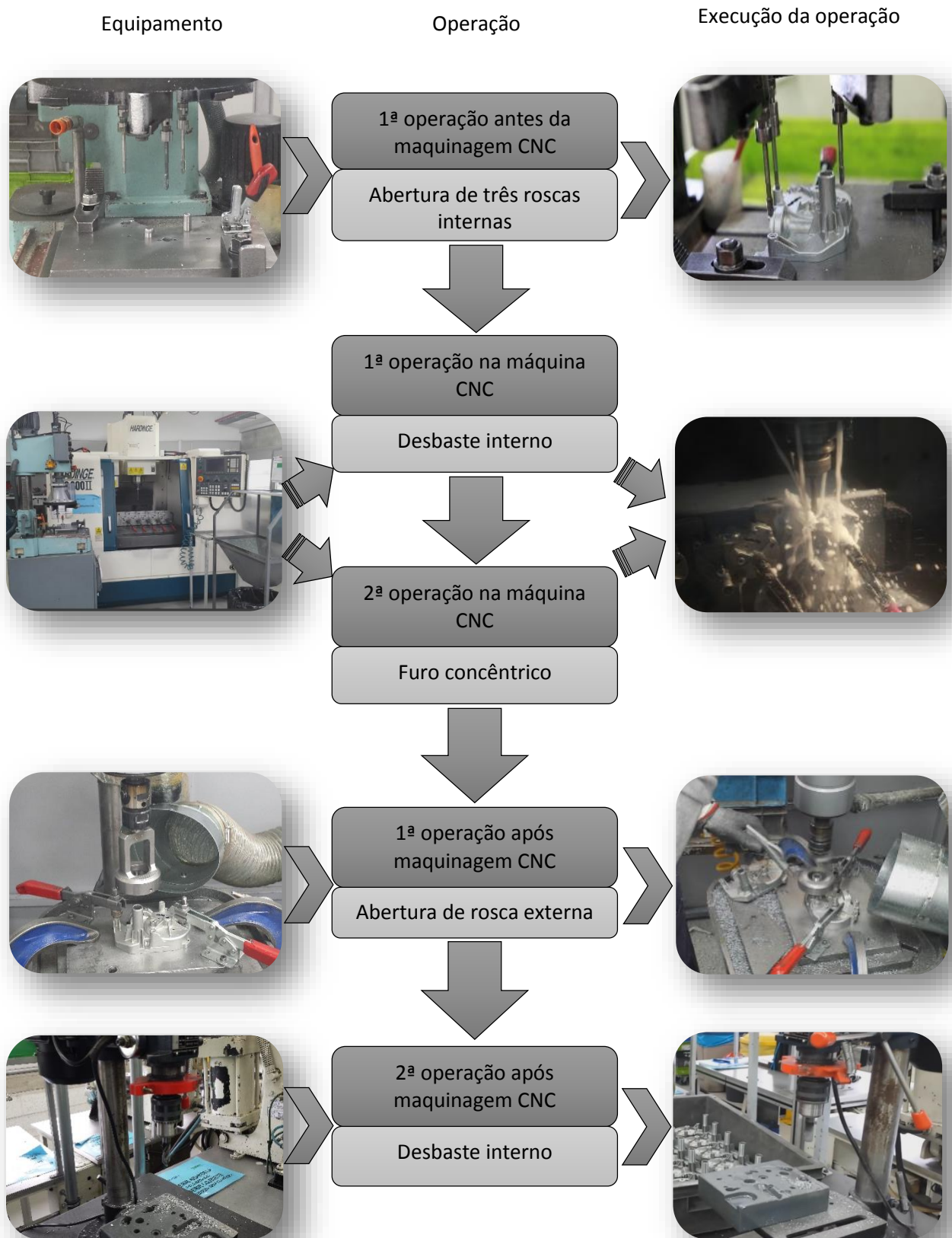


Figura 71 - Sequência operativa

De referir que após cada operação, o transporte das peças para os diferentes equipamentos é efetuada pelos operários, o que origina um aumento do tempo de ciclo, devido ao tempo utilizado na mudança de equipamento. De forma a estabelecer o tempo de ciclo gasto inicialmente, foi efetuada a medição do tempo de produção para 8 peças, para o qual foi obtido o resultado de cerca 502 segundos (ver a Tabela 1, com o descritivo de tempos por operação).

Tabela 1 – Tempo por operação no processo produtivo atual, relativo à maquinagem de 8 peças

Operação	Produção de 8 peças (s)
Rosca interna	82
Retirar peças do equipamento CNC (abertura de porta, grampos)	16
Colocação de peças no gabarito, fecho de grampos e fecho de porta	28
Operação CNC	164
Transporte	4
Operação de caçonete	166
Transporte	4
Operação de retirada de limalha acumulada na rosca externa	10
Desbaste interno	28
Total	502

Assim, e após se constatar o desperdício de tempo existente, bem como a ineficiente utilização do equipamento CNC, desenvolveu-se um processo semiautomático capaz de proporcionar uma maior taxa de ocupação do equipamento, bem como eliminar o tempo despendido nas deslocações das peças de equipamento para equipamento. Levando em conta os valores institucionais, optou-se por manter a mão-de-obra existente. Tendo-se como principal objetivo garantir não só a repetibilidade do processo de maquinagem, no que concerne à colocação das peças a maquinar no equipamento e extração das mesmas já maquinadas do equipamento, como também garantir a flexibilidade das operações complementares do processo de maquinagem, como por exemplo, a introdução de eixos e o aparafusamento de certos componentes.

É de salientar que todas as operações efetuadas após o trabalho no equipamento CNC terão de ter intervenção por parte do operário. A empresa em estudo pretende investir neste processo por forma a conseguir, mais facilmente, suprir as diferentes solicitações dos seus clientes e aumentar a sua quota de mercado. De facto, através deste sistema de apoio à maquinagem CNC, a empresa conseguirá ter nas suas instalações um equipamento mais capaz e flexível, tendo sempre em vista a garantia dos níveis de qualidade pretendidos e a redução do tempo de ciclo.

Por conseguinte, levará à redução de custos produtivos e, conseqüentemente à redução do preço de mercado do componente maquinado. Tudo isto irá tornar a empresa mais competitiva, perante as demais do seu setor.

3.3.2. Análise ABC do histórico de montagem desta família de produtos

De forma a se analisar o impacto que cada modelo de *metallic gear housing* tem na produção total desta família de componentes, elaborou-se uma análise ABC (ver Gráfico 1).

Através do referido gráfico é possível constatar que a peça com o modelo MG – 324 (Figura 72) apresenta maior importância que os demais modelos, sendo que a produção deste componente representa cerca 35 % da produção total da família de produtos em estudo.

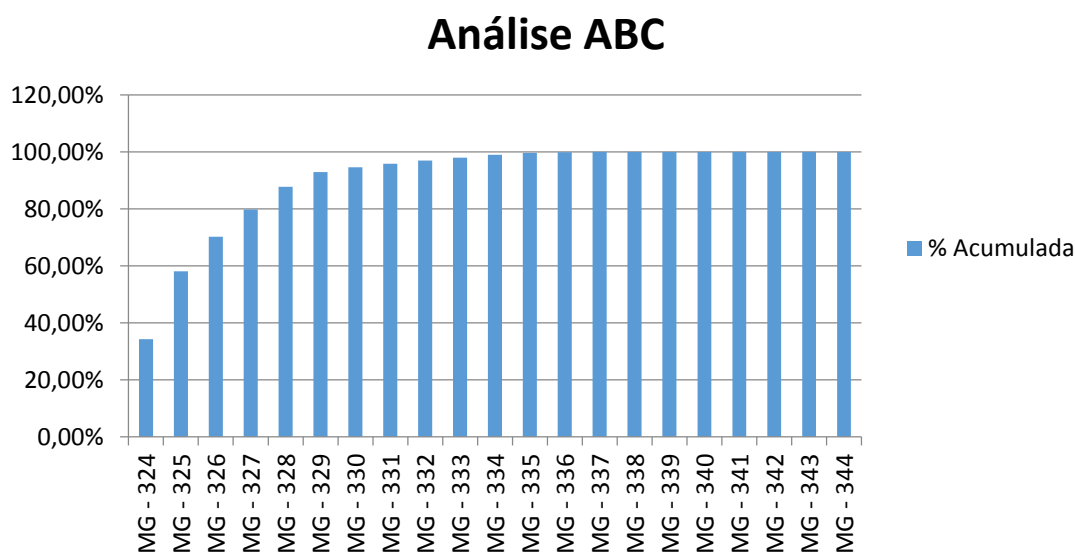


Gráfico 1 – Análise ABC do impacto dos diferentes modelos da família *metallic gear housing* na produção

Através da Figura 72 encontra-se ilustrada a peça utilizada para desenvolver o sistema de apoio à maquinagem CNC, selecionado para este trabalho.

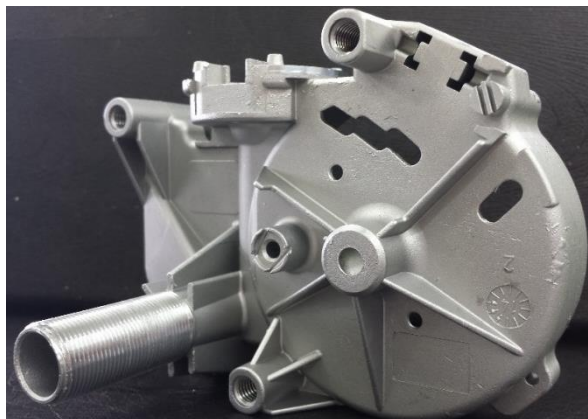


Figura 72 – “Metalic gear housing” referência nº 324

3.3.3. Breve caracterização das ferramentas utilizadas

Conforme é possível verificar através da Figura 70, existem 5 operações díspares que carecem da utilização de ferramentas dedicadas. Assim tem-se:

- Para a operação de abertura de três roscas internas, torna-se necessária a utilização de três fresas macho M6 x 1 da marca IZAR em HSS (sem revestimento), conforme se pode verificar pela Figura 73. Para obter mais informações relativas à ferramenta em questão, consultar anexo 1.



Figura 73 - Fresa rosca macho M6 x 1 HSS [98]

- No que toca à primeira operação de maquinagem no equipamento CNC (desbaste interno), é necessária a utilização de uma ferramenta “Taylor made” em HSS (sem revestimento), conforme se poderá verificar pela Figura 74. De referir que esta ferramenta foi fabricada pela Frezite®. Para, obter mais informações relativamente à ferramenta em questão, consultar anexo 2.



Figura 74 - Ferramenta especial de desbaste interno da Frezite®

- Relativamente à segunda operação de maquinagem no equipamento CNC (furo concêntrico), é utilizada uma broca macho M8 x 0,75 HSS, como se ilustra através da Figura 75. Para mais informações relativas à ferramenta em questão, consultar anexo 3.



Figura 75 - Broca macho M8 x 0.75 HSS

- Após as operações efetuadas no equipamento CNC, é necessário proceder à abertura de uma rosca externa, através da utilização de um caçonete M16 x 1 em HSS (sem revestimento), fornecido pela empresa F. Reis, Lda, conforme se pode verificar pela Figura 76.



Figura 76 - Caçonete M16 x 1 HSS [99]

- Por fim, torna-se necessário efetuar um desbaste interno, através de uma fresa de topo em HSS de diâmetro 12 (sem revestimento) com 4 arestas de corte, como se poderá verificar pela Figura 77.



Figura 77 – Fresa de topo em HSS de diâmetro 12

3.4. Breve caracterização do Centro de Maquinagem existente

Primeiramente, para projetar a solução relativa ao desafio proposto, é necessário ter em consideração as capacidades do equipamento CNC.

Assim, o equipamento que irá ser utilizado neste trabalho é da marca Hardinge, modelo VMC 600 II (Figura 78), e como principais características dispõe de [100] [101]:

- Dimensão da mesa de trabalho do equipamento CNC: 750 x 510 mm²;
- Volumetria de trabalho (X-Y-Z): 600 x 510 x 510 mm³;
- Rotação máxima da árvore do equipamento CNC: 8000 rpm;
- Carga máxima suportada pela mesa de trabalho: 700 kg;
- Tempo de ciclo médio de mudança de ferramenta: cerca de 7,5 segundos;
- Armazenamento para 20 ferramentas;
- Potência do motor de 17,54 CV a uma rotação de 8000 rpm;
- Controlador com sistema FANUC Oi-M CNC Control Unit.



Figura 78 - Equipamento CNC Hardinge VMC 600 II [102]

3.4.1. Particularidades do comando CNC

De forma a desenvolver uma solução adequada para este desafio, torna-se necessário analisar o equipamento CNC, ao nível das suas características principais.

Assim, é relevante ter-se em mente que o *software* usado pelo equipamento CNC Hardinge VMC 600 II é FANUC, e que apresenta o painel de operação demonstrado pela Figura 79.



Figura 79 - Painel de controlo Fanuc 18-MC do equipamento CNC Hardinge VMC 600 II

No que concerne ao desenvolvimento de estratégias de maquinagem no equipamento CNC em estudo, torna-se necessário proceder à programação das mesmas diretamente no equipamento. Tal deve-se ao facto de o equipamento não possuir meios para efetuar a introdução da informação proveniente de *softwares* CAD/CAM.

No entanto, é importante referir que o equipamento CNC em estudo dispõe de placas controladoras (Figura 80), possibilitando estabelecer a ligação com outros equipamentos essenciais para determinadas operações a efetuar durante a estratégia de maquinagem. Para estabelecer a ligação entre equipamentos, é necessário que os mesmos se encontrem conectados por intermédio de cabos de 21 pinos, uma vez que, através destes, será possível a ambos os equipamentos enviar e rececionar informações.

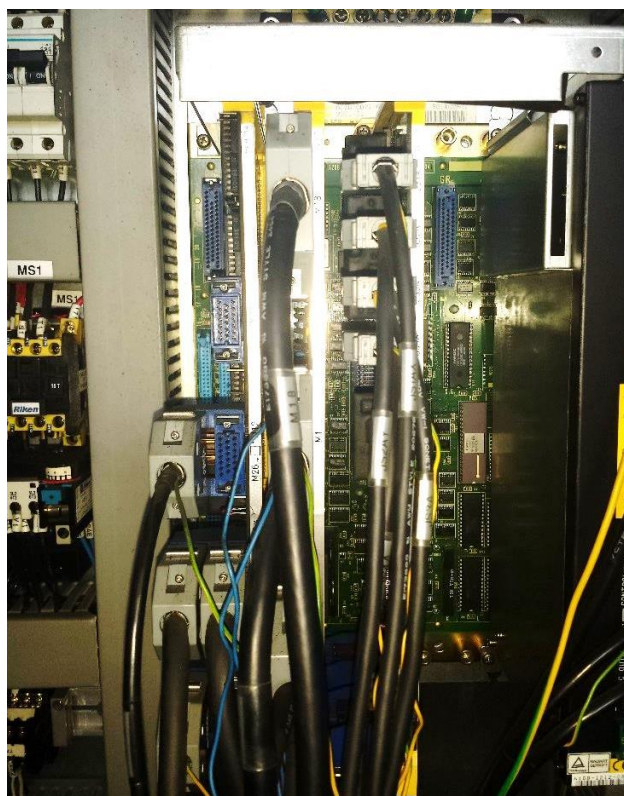


Figura 80 - Placas do equipamento CNC para efectuar a interligação entre o equipamento CNC e outros equipamentos

Tomando o exemplo da Figura 81, torna-se perceptível que se poderá proceder à ligação de outros equipamentos através dos conectores de 21 pinos disponíveis, que neste caso serão os conectores M26 e o M27.

De referir que estas conexões são consideradas funções especiais do equipamento CNC que se encontram disponíveis para situações especiais e que é necessária a comunicação com o exterior.

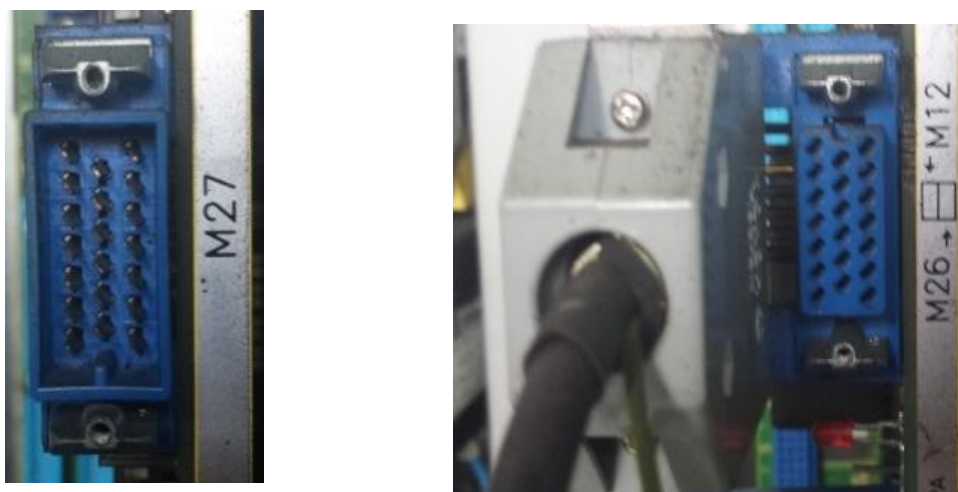


Figura 81 - Ligações 21 pinos M26 e M27

Assim, o conector M26 servirá para emitir sinal do equipamento CNC para outro equipamento, e o M27 será usado para rececionar sinais provenientes do equipamento que se pretende conectar ao equipamento CNC.

Após se efetuar a ligação por intermédio dos conectores de 21 pinos, é necessário proceder à utilização destas funções especiais do equipamento (presentes nas placas controladoras) aquando da programação da estratégia de maquinação.

Por outro lado, no desenvolvimento da estratégia CNC é necessário definir quando é que o equipamento CNC irá emitir sinal para o outro equipamento, e quando o dispositivo irá emitir sinal para o equipamento CNC.

Desta forma, antes de se efetuar a ligação entre os equipamentos é necessário programar o equipamento auxiliar na operação de maquinação, definindo pragmaticamente a sua sequência operatória. Isto é, dependendo dos equipamentos auxiliares, a sequência operatória poderá ser efetuar rotação de uma mesa de trabalho após uma determinada operação de maquinação (definindo os graus que a mesa terá de rotacionar), ativar o ar comprimido antes da troca de ferramenta (durante um determinado período de tempo), efetuar a medição da fresa após uma operação de maquinação (informando o equipamento CNC se a fresa se encontra ou não nas condições definidas como ótimas pelo utilizador), entre outros.

Em suma, a emissão de sinal por parte do equipamento CNC dá-se quando este termina uma operação, informando o outro equipamento que poderá iniciar o trabalho pré-definido pelo utilizador. Já no caso da receção de sinal do equipamento CNC, esta tem lugar quando o equipamento auxiliar termina a operação previamente definida, e informa o equipamento CNC que poderá prosseguir com a estratégia de maquinação definida pelo utilizador.

3.5. Solução encontrada

Tendo em consideração as diferentes operações a efetuar nas peças, como ilustrado na Figura 70, bem como as capacidades do equipamento CNC em que se irá laborar, concluiu-se que a solução ideal seria projetar um sistema de apoio à maquinação que permitisse a rotação axial das peças em 90°, proporcionando ao equipamento laborar em quatro eixos em vez de apenas três eixos.

Assim, de forma a solucionar este problema, foi analisada a possibilidade de implementação de uma mesa indexadora, conforme ilustrado na Figura 82. Foi tida em atenção a área que iria ser usada com a aplicação deste sistema, pois existem limitações, quer em termos de disponibilidade no eixo Z (cerca de 500 mm), bem como em termos de disponibilidade da mesa de trabalho do equipamento (750 x 510 mm²). Estes dados são extremamente relevantes, pois é a partir destas condicionantes que irá ser projetado o sistema de apoio à maquinação CNC.

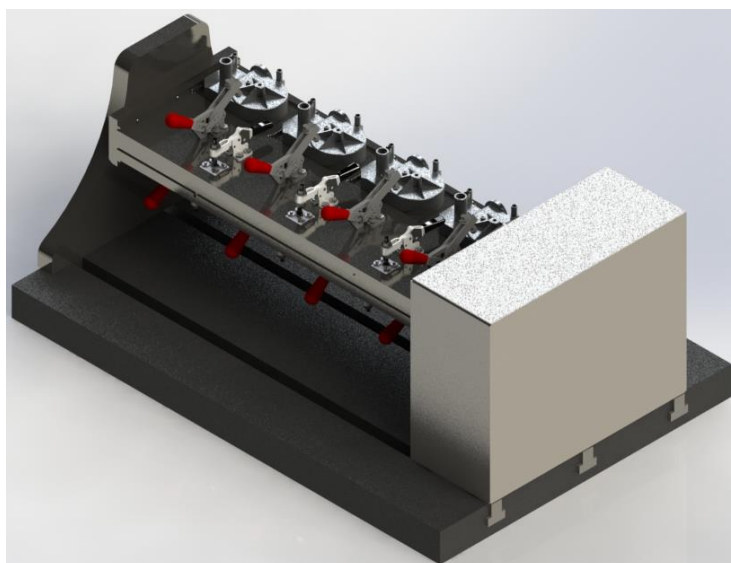


Figura 82 - Aspeto genérico do sistema de apoio à maquinação

3.5.1. Análise dos planos de trabalho

De forma a desenvolver um sistema de apoio à maquinagem, é necessário ter bem definido, primeiramente, que mais-valias se pretendem que o sistema seja capaz de proporcionar ao processo de maquinagem.

Assim, e analisando a peça em estudo, comprova-se que o processo de maquinagem deverá ocorrer em dois planos diferentes (frontal e topo) da peça em análise.

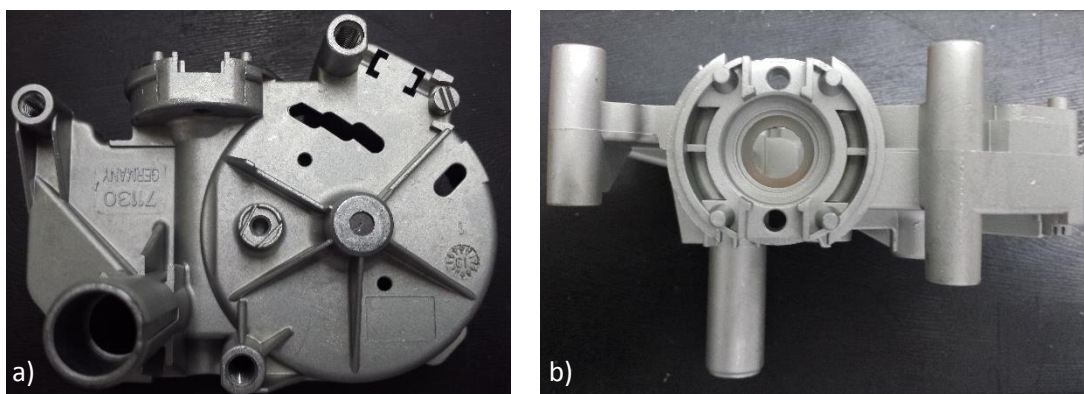


Figura 83 - Vista frontal (a) e de topo (b) da *metallic gear housing* nº 324

Assim, no plano frontal dever-se-á proceder à:

- Abertura de três roscas internas M6 através da ferramenta ilustrada na Figura 73;
- Abertura de rosca externa M16 utilizando para tal a ferramenta demonstrada na Figura 76;
- Operação de desbaste interno M12 usando a ferramenta apresentada na Figura 77.

Já no plano de topo, é necessário proceder à:

- Operação de desbaste interno, através da ferramenta especial ilustrada na Figura 74;
- Operação de furação e abertura de rosca interna M8, utilizando a ferramenta mostrada na Figura 75.

De forma a se optar por um sistema fiável e capaz de responder a todas as exigências do processo de maquinagem em questão, torna-se fulcral analisar as tolerâncias exigidas nas mais diversas operações. Após análise do desenho da peça a maquinar, constatou-se que os únicos toleranciamentos a ter em conta são relativos à operação de desbaste interno no plano de topo.

Na Figura 84 encontram-se ilustradas as 3 zonas da peça a maquinar, com diferentes toleranciamentos:

- Zona laranja – Desbaste interno a efetuar no topo do componente, com o objetivo de eliminar as irregularidades provenientes do processo de produção do componente em análise (injeção de alumínio) por forma a garantir um toleranciamento H9;
- Zona azul – Desbaste interno a efetuar no topo do componente, com o objetivo de eliminar as irregularidades provenientes do processo de produção do componente em análise (injeção de alumínio) por forma a garantir um toleranciamento G7;
- Zona verde - Desbaste externo a efetuar no topo do componente, com o objetivo de eliminar as irregularidades provenientes do processo de produção do componente em análise (injeção de alumínio) por forma a garantir um toleranciamento h9.

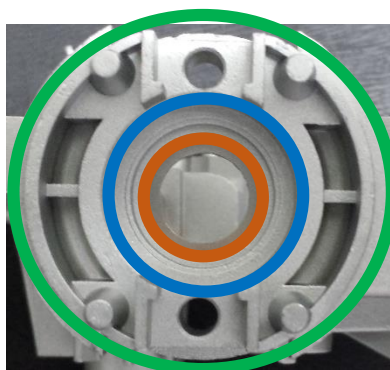


Figura 84 - Zonas de desbaste interno no plano de topo

Assim, na zona a laranja tem-se um toleranciamento H9, conforme representado pela Figura 85, pelo que, após analisar as tabelas de desvios fundamentais ISO para furos, verificou-se que:

- O diâmetro de desbaste máximo seria de 16,043 mm;
- O diâmetro de desbaste mínimo seria de 16 mm.

Assim, o projeto possibilita uma margem dimensional para efetuar a respetiva maquinagem a rondar os 0.043 mm.

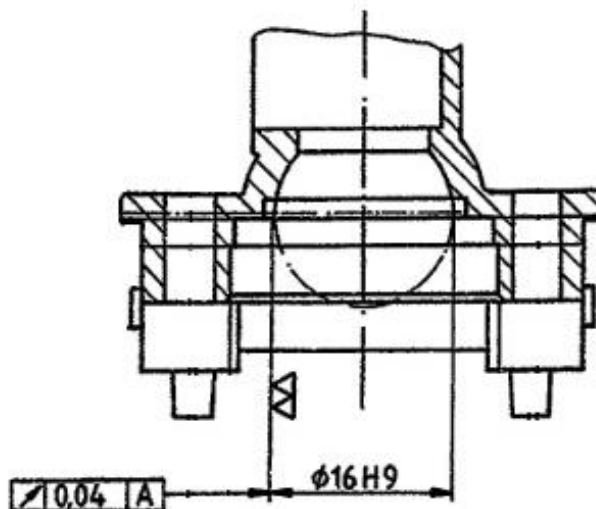


Figura 85 - Toleranciamento do furo de diâmetro 16 mm

No que toca à zona azul, tem-se um toleranciamento G7, conforme representado pela Figura 86, pelo que, após analisar as tabelas de desvios fundamentais ISO para furos, verificou-se que:

- O diâmetro do desbaste máximo seria de 22,028 mm;
- O diâmetro do desbaste mínimo seria de 21,993 mm.

Dispõe-se assim de uma margem dimensional para efetuar a respetiva maquinagem a rondar os 0.035 mm.

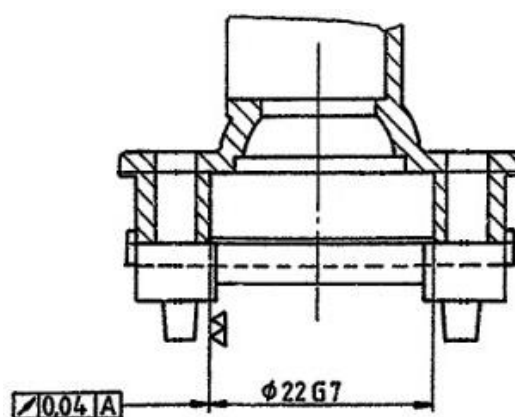


Figura 86 - Toleranciamento do furo de diâmetro 22 mm

No que toca à zona a verde, tem-se um toleranciamento h9, conforme representado pela Figura 87, pelo que após analisar as tabelas de desvios fundamentais ISO para veios, se verificou que:

- O diâmetro do desbaste máximo seria de 38,062 mm;
- O diâmetro do desbaste mínimo seria de 38 mm.

Dispõe-se assim de uma margem dimensional para efetuar a respetiva maquinagem a rondar os 0.062 mm.

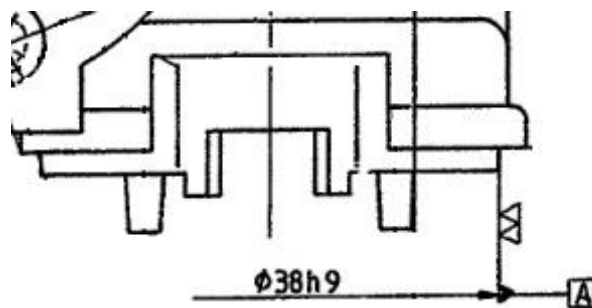


Figura 87 - Toleranciamento da face exterior de diâmetro 38 mm

Desta forma, comprova-se a necessidade de desenvolver um sistema de apoio à maquinagem não só flexível, mas também com um elevado nível de precisão, de forma a que sejam atingidos níveis de qualidade pretendidos.

3.5.2. Seleção de materiais para o sistema de apoio à maquinagem

O sistema de apoio à maquinagem CNC irá laborar em condições muito específicas e com algumas condicionantes, sendo que se torna necessário efetuar uma seleção de materiais ótima, de forma a minimizar problemas ao nível da manutenção, qualidade e também de produção. Esta seleção irá ser efetuada tendo por base a metodologia multicritério, sendo que o objetivo principal é o de apresentar um conjunto de informações e não apenas apontar para uma única solução para o problema em análise.

Posto isto, torna-se fundamental referir que o sistema de apoio à maquinagem CNC irá laborar num ambiente húmido (devido ao uso constante de fluido de corte) e terá de suportar constantes esforços excêntricos ao longo de múltiplos ciclos de trabalho.

Estas condições são, portanto, muito específicas, tornando-se necessário optar por um material resistente à corrosão e à fadiga, bem como com elevada resistência mecânica e dureza. Na

Tabela 2 é possível verificar os requisitos que o material deverá apresentar, bem como as respetivas justificações para a escolha dessas características.

Tabela 2 - Requisitos para seleção de materiais

N.º	Atributo	Justificação
A1	Disponibilidade e maquinabilidade	Encontrar-se disponível nos armazéns, e apresentar uma boa maquinabilidade.
A2	Resistência à fadiga	Devido ao elevado número de ciclos de maquinagem a que irá ser sujeito.
A3	Resistência à corrosão	Uma vez que a maquinagem CNC das peças em estudo é efetuada com o uso de fluido de corte.
A4	Resistência mecânica	Tem de apresentar resistência suficiente para suportar esforços excêntricos constantes sem se deformar.
A5	Dureza	Tem de apresentar dureza suficiente para não apresentar sinais de desgaste, no curto prazo.
A6	Ser leve	A mesa de trabalho deverá ser o mais leve possível, possibilitando ao mesmo tempo atingir os níveis de qualidade desejados.
A7	Baixo custo	Por forma a tornar o sistema mais viável economicamente, com um investimento relativamente reduzido (reduzir o <i>pay-back time</i>).

Na Tabela 3 apresenta-se a ponderação do atributo mais relevante (disponibilidade e maquinabilidade) perante os restantes, sendo considerado o segundo atributo mais relevante a resistência à fadiga, e o atributo menos relevante, o baixo custo do material, apenas com 10% de relevância comparativamente com o atributo A1.

Tabela 3 - Ponderação dos requisitos

Atributo	Ponderação dos requisitos							Importância relativa	%
	(1/2)	(1/3)	(1/4)	(1/5)	(1/6)	(1/7)			
Disponibilidade e maquinabilidade	55	60	65	75	80	90	1	27	
Resistência à fadiga	45						0,82	22	
Resistência à corrosão		40					0,67	18	
Resistência mecânica			35				0,54	14	
Dureza				25			0,33	9	
Ser leve					20		0,25	7	
Baixo custo						10	0,11	3	
Total	100	100	100	100	100	100	3,72	100	

Mediante análise da Tabela 3, é fulcral referir que antes de se conhecer a relevância de um requisito comparativamente com os demais é necessário reconhecer a importância relativa de cada um dos requisitos. Assim, o cálculo para determinar a importância relativa procede-se da seguinte forma:

- Importância relativa do atributo A1 – $(55/55) = 1$;
- Importância relativa do atributo A2 – $(45/55) = 0,82$;
- Importância relativa do atributo A3 – $(40/60) = 0,67$;
- Importância relativa do atributo A4 – $(35/65) = 0,54$;
- Importância relativa do atributo A5 – $(25/75) = 0,33$;
- Importância relativa do atributo A6 – $(20/80) = 0,25$;
- Importância relativa do atributo A7 – $(10/90) = 0,11$.

No que toca ao cálculo para se determinar a importância de determinado requisito perante os restantes, é necessário efetuar os seguintes cálculos:

- Relevância percentual do atributo A1 – $((1/3,72)*100) = 27 \%$;
- Relevância percentual do atributo A2 – $((0,82/3,72)*100) = 22 \%$;
- Relevância percentual do atributo A3 – $((0,67/3,72)*100) = 18 \%$;
- Relevância percentual do atributo A4 – $((0,54/3,72)*100) = 14 \%$;
- Relevância percentual do atributo A5 – $((0,33/3,72)*100) = 9 \%$;
- Relevância percentual do atributo A6 – $((0,25/3,72)*100) = 7 \%$;
- Relevância percentual do atributo A7 – $((0,11/3,72)*100) = 3 \%$.

De seguida, é necessário elaborar uma lista de materiais a analisar. No entanto, é fundamental ter em consideração alguns aspetos na seleção dos materiais, como por exemplo quais os elementos de liga mais relevantes capazes de proporcionar a seleção ótima do material a usar para o desenvolvimento deste sistema.

Assim, na maquinaria CNC das peças em estudo, tal como já foi referido anteriormente, utilizar-se-á fluido de corte, o que, agregado a um elevado número de horas de maquinaria e com material desadequado, propiciará o aparecimento mais facilitado de corrosão. Desta forma, o material selecionado deverá ter na sua composição química os elementos de liga Cr e Mo, pois estes elementos, em determinados teores, aumentam a resistência do ferro à corrosão. Assim,

considerou-se avaliar os materiais de 0 a 5. Assim, os materiais que apresentassem uma ótima resistência à corrosão têm uma valorização de 5, e os materiais com menor resistência à corrosão têm uma valorização de apenas 3.

Como irá existir um elevado número de ciclos de maquinagem, e sempre com forças excêntricas, torna-se fundamental que o material utilizado neste sistema tenha uma elevada resistência à fadiga, bem como uma elevada resistência mecânica. Assim, é importante que o material selecionado possua não só Cr e Mo, como também Mn e Si, pois estes últimos elementos de liga proporcionarão ao material um aumento do seu limite elástico e, conseqüentemente, uma maior resistência mecânica.

Uma característica também muito relevante para o sistema em questão é a dureza do material a usar. Esta deverá ser suficientemente grande de forma a que o material usado não se desgaste. Todos os elementos de liga referidos anteriormente irão proporcionar as características necessárias para o material apresentar a dureza adequada para as condições de trabalho, atrás referidas.

Desta forma, apresenta-se a , onde se encontram os materiais selecionados para desenvolver esta seleção, bem como todas as propriedades típicas relevantes para o estudo em questão. De referir que a propriedade “Disponibilidade e maquinabilidade” foi definida tendo por base, não só a disponibilidade dos diferentes materiais no mercado, como também a facilidade de maquinabilidade dos respetivos materiais.

Considerou-se a valorização de 0,5 devido ao facto de o material em análise existir no mercado, embora não seria o mais apropriado para ser maquinado.

Relativamente ao valor de 0,8, este deve-se pela sua disponibilidade no mercado bem como maquinabilidade. No entanto, de forma a ser resistente à corrosão necessita de sofrer uma oxidação negra (conforme se irá explicar *à posteriori*).

Por fim o valor de 0 é relativo aos materiais que têm uma má maquinabilidade (uma vez que se torna complicado garantir certos toleranciamentos) e que se encontram com dificuldade no mercado.

Tabela 4 - Propriedades típicas dos materiais selecionados

Material	Disponibilidade e propriedades típicas									
	Disponibilidade e maquinabilidade	E (GPa)	σ_f (MPa)	Resistência à corrosão	Resistência mecânica (MPa)	Dureza (HV)	Resistência máxima à tração (MPa)	Tensão de cedência (MPa)	ρ (Kg/m ³)	Preço/kg
AISI 201	0,5	197	327	5,00	40,06	194	802,5	312,5	7800	3,39
AISI 205	0	197	377	5,00	60,90	220	835	475	7800	3,1
AISI 216	0,5	195,5	330	5,00	50,96	225	690	397,5	7800	4,725
AISI 301	0,5	205	241	5,00	24,37	227,5	529,5	193	7920	3,675
AISI 304	0,5	196,5	241	5,00	32,37	190	565	257,5	7955	4,19
AISI 316	0,5	197	240	5,00	32,31	205	567,5	257,5	7970	5,285
AISI 317	0,5	193	268	5,00	30,55	202,5	567,5	243,5	7970	5,91
AISI 330	0,5	196	274,5	5,00	30,63	152,5	530	245	8000	8,305
AISI 405	0,5	200	244	5,00	28,84	175	447,5	222,5	7715	1,88
AISI 409	0,5	200	246,5	5,00	32,40	162,5	455	250	7715	1,995
AISI 429	0,5	200	257,5	5,00	33,23	165	485	257,5	7750	2,015
AISI 430	0,5	200	237	5,00	38,21	172,5	515	295	7720	2,215
AISI 434	0,5	200	269,5	5,00	42,24	172,5	530	325	7695	2,5
AISI 436	0,5	200	274,5	5,00	46,79	157,5	530	365	7800	2,465
AISI 442	0,5	200	285	5,00	39,74	207,5	560	310	7800	2,51
AISI 446	0,5	200	256	5,00	41,67	207,5	547,5	312,5	7500	2,855
AISI 403	0,5	200	282	5,00	51,52	175	555	397,5	7715	2,195
AISI 410	0,5	200	294	5,00	37,81	170	541,5	293	7750	2,215
AISI 440A	0,5	200	341,5	5,00	53,21	220	725	415	7800	2,925
AISI P20	0,8	209,5	320	3,00	115,38	400	1293,5	1068	7800	6,06

Após se dispor das propriedades típicas dos diferentes materiais, é necessário efetuar a análise comparativa entre os diferentes materiais. O objetivo deste estudo é analisar qual é o material que apresenta o maior índice (M1) relativamente ao atributo em estudo. A título de exemplo, realizar-se-á a análise comparativa para o requisito A1.

Assim, é fulcral:

- Determinar o valor máximo ou mínimo disponível do requisito a analisar, mediante o objetivo. O requisito “disponibilidade e maquinabilidade” deverá ser o máximo, ou seja, 0,8 referente ao AISI P20;
- Efetuar uma análise comparativa entre todos os materiais como é demonstrado na Tabela 5.

Tabela 5 – Análise do atributo “Disponibilidade e maquinabilidade”

Material		Análise por atributo				
	Disponibilidade e maquinabilidade	Análise comparativa (Cálculos)	Análise comparativa (Resultados)	Relevância percentual do A1	M1 (β) (Cálculos)	M1 (β) (Resultados)
AISI 201	0,5	0,5/0,8	0,63	0,27	0,63*0,27	0,17
AISI 205	0	0/0,8	0	0,27	0*0,27	0,00
AISI 216	0,5	0,5/0,8	0,63	0,27	0,63*0,27	0,17
AISI 301	0,5	0,5/0,8	0,63	0,27	0,63*0,27	0,17
AISI 304	0,5	0,5/0,8	0,63	0,27	0,63*0,27	0,17
AISI 316	0,5	0,5/0,8	0,63	0,27	0,63*0,27	0,17
AISI 317	0,5	0,5/0,8	0,63	0,27	0,63*0,27	0,17
AISI 330	0,5	0,5/0,8	0,63	0,27	0,63*0,27	0,17
AISI 405	0,5	0,5/0,8	0,63	0,27	0,63*0,27	0,17
AISI 409	0,5	0,5/0,8	0,63	0,27	0,63*0,27	0,17
AISI 429	0,5	0,5/0,8	0,63	0,27	0,63*0,27	0,17
AISI 430	0,5	0,5/0,8	0,63	0,27	0,63*0,27	0,17
AISI 434	0,5	0,5/0,8	0,63	0,27	0,63*0,27	0,17
AISI 436	0,5	0,5/0,8	0,63	0,27	0,63*0,27	0,17
AISI 442	0,5	0,5/0,8	0,63	0,27	0,63*0,27	0,17
AISI 446	0,5	0,5/0,8	0,63	0,27	0,63*0,27	0,17
AISI 403	0,5	0,5/0,8	0,63	0,27	0,63*0,27	0,17
AISI 410	0,5	0,5/0,8	0,63	0,27	0,63*0,27	0,17
AISI 440A	0,5	0,5/0,8	0,63	0,27	0,63*0,27	0,17
AISI P20	0,8	0,8/0,8	1	0,27	1*0,27	0,27

Assim, após se dispor da classificação de cada material relativamente à propriedade "Disponibilidade e maquinabilidade", é necessário efetuar a análise comparativa entre todos os materiais analisados. Desta forma e tendo por base a classificação do material na propriedade em análise e máximo da propriedade em análise (0,8), é fulcral efetuar os seguintes cálculos:

- Análise comparativa AISI 201 – $(0,5/0,8) = 0,63$;
- Análise comparativa AISI 205 – $(0,0/0,8) = 0,0$;
- Análise comparativa AISI 216 – $(0,5/0,8) = 0,63$;
- Análise comparativa AISI 301 – $(0,5/0,8) = 0,63$;
- Análise comparativa AISI 304 – $(0,5/0,8) = 0,63$;
- ...;

De seguida, para se conhecer qual o peso que a propriedade em análise terá no peso total do índice de mérito de cada material, carece-se da relevância percentual do atributo em estudo (definido através da

Tabela 3) e do valor obtido através da análise comparativa entre os materiais. Assim, tem-se:

- Análise comparativa AISI 201 – $(0,63*0,27) = 0,17$;
- Análise comparativa AISI 205 – $(0,0*0,27) = 0,0$;
- Análise comparativa AISI 216 – $(0,63*0,27) = 0,17$;
- Análise comparativa AISI 301 – $(0,63*0,27) = 0,17$;
- Análise comparativa AISI 304 – $(0,63*0,27) = 0,17$;
- ...;

Esta análise por requisito tem como objetivo calcular o índice de mérito do material, que transmite o desempenho do material para a aplicação em estudo.

Portanto, e após o cálculo efetuado para todos os materiais, bem como para todos os requisitos, é fundamental efetuar o seu somatório, para que cada material seja classificado em função das suas propriedades típicas, obtendo-se assim o índice de mérito de cada material.

Tabela 6 - Índices de mérito por material

Material	Análise por atributo							Índice de mérito
	M1 (β)	M2 (β)	M3 (β)	M4 (β)	M5 (β)	M6 (β)	M7 (β)	
AISI 201	0,17	0,19	0,18	0,05	0,04	0,06	0,02	0,71
AISI 205	0,00	0,22	0,18	0,08	0,05	0,06	0,02	0,61
AISI 216	0,17	0,19	0,18	0,06	0,05	0,06	0,01	0,73
AISI 301	0,17	0,14	0,18	0,03	0,05	0,06	0,02	0,65
AISI 304	0,17	0,14	0,18	0,04	0,04	0,06	0,01	0,65
AISI 316	0,17	0,14	0,18	0,04	0,05	0,06	0,01	0,65
AISI 317	0,17	0,16	0,18	0,04	0,05	0,06	0,01	0,66
AISI 330	0,17	0,16	0,18	0,04	0,03	0,06	0,01	0,65
AISI 405	0,17	0,14	0,18	0,04	0,04	0,07	0,03	0,66
AISI 409	0,17	0,14	0,18	0,04	0,04	0,07	0,03	0,66
AISI 429	0,17	0,15	0,18	0,04	0,04	0,07	0,03	0,67
AISI 430	0,17	0,14	0,18	0,05	0,04	0,07	0,03	0,66
AISI 434	0,17	0,16	0,18	0,05	0,04	0,07	0,02	0,68
AISI 436	0,17	0,16	0,18	0,06	0,04	0,06	0,02	0,69
AISI 442	0,17	0,17	0,18	0,05	0,05	0,06	0,02	0,70
AISI 446	0,17	0,15	0,18	0,05	0,05	0,07	0,02	0,68
AISI 403	0,17	0,16	0,18	0,06	0,04	0,07	0,03	0,71
AISI 410	0,17	0,17	0,18	0,05	0,04	0,07	0,03	0,69
AISI 440A	0,17	0,20	0,18	0,07	0,05	0,06	0,02	0,75
AISI P20	0,27	0,19	0,11	0,14	0,09	0,07	0,01	0,87

No que toca ao cálculo para se determinar os índices de mérito de cada material, é necessário efetuar os seguintes cálculos:

- Índice de mérito AISI 201 – $(0,17+0,19+0,18+0,05+0,04+0,06+0,02) = 0,71$;
- Índice de mérito AISI 205 – $(0,00+0,22+0,18+0,08+0,05+0,06+0,02) = 0,61$;
- Índice de mérito AISI 216 – $(0,17+0,19+0,18+0,06+0,05+0,06+0,01) = 0,73$;
- Índice de mérito AISI 301 – $(0,17+0,14+0,18+0,03+0,05+0,06+0,02) = 0,65$;
- Índice de mérito AISI 304 – $(0,17+0,14+0,18+0,04+0,05+0,06+0,01) = 0,65$;
- ...;

Após se efetuar uma análise comparativa entre os diferentes materiais, tal como foi demonstrado através da Tabela 6, a escolha recaiu no aço inoxidável AISI P20, que é o material que apresenta o maior índice de mérito. No entanto, como este material apresenta menor resistência à corrosão comparativamente com os demais, optou-se por efetuar um tratamento superficial (oxidação negra) de forma a promover a resistência à corrosão necessária.

3.5.2. Aplicação de 4º eixo

O sistema de apoio à maquinação aqui apresentado é composto por um eixo com um servomotor, que proporcionará a rotação da mesa de trabalho, permitindo o trabalho nas peças nos seus diferentes planos (frontal e topo). A mesa indexadora selecionada é habitualmente usada como 4º eixo em centros de maquinação.

Atendendo à volumetria requerida e superfície de apoio disponível, foi selecionado o modelo HRT 210 HS da Haas (ver anexo 4), com as seguintes especificações:

- Diâmetro do disco de 210 mm;
- Velocidade de rotação de 100°/segundo;
- Precisão de 15 arc-sen (cerca de 0,00417°);
- Dimensões (largura x comprimento x altura): 452 x 178 x 270 mm³.



Figura 88 - Haas HRT 210 HS [105]

A mesa idealizada para a colocação dos gabaritos para efetuar as diversas operações de maquinação de forma precisa e segura, é a demonstrada na Figura 89 (ver anexo 5). Esta tem a área útil de 552 x 210 mm².

De referir que, apesar de a maioria das peças a maquinação possuir uma largura inferior a metade da largura do gabarito, optou-se por projetar uma mesa de trabalho que utilizasse a largura do

HRT 210 HS da Haas (210 mm), de forma a permitir uma maior flexibilidade do sistema, no que toca à maquinagem de peças com largura superior, sendo apenas necessário elaborar um gabarito para cada tipo de peça a maquinar.

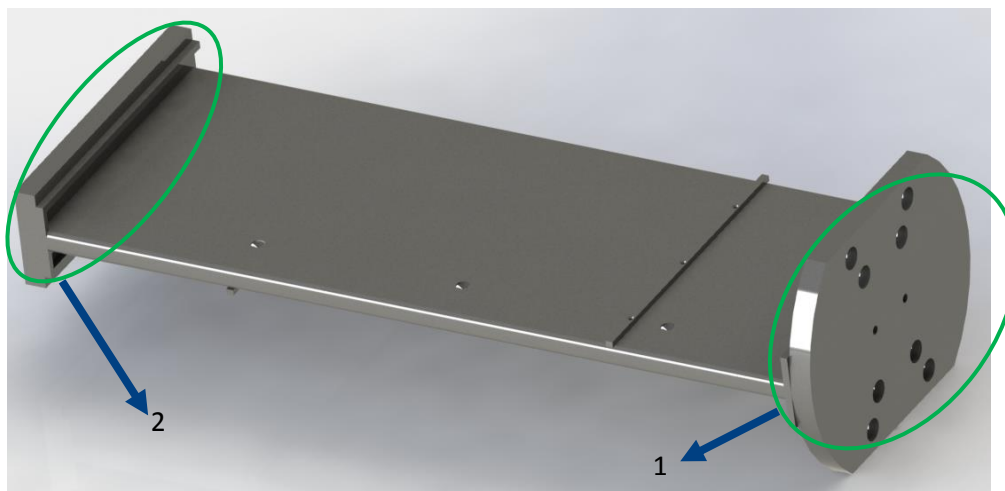


Figura 89 - Mesa de trabalho/suporte de gabaritos a acoplar ao sistema Haas HRT 210 HS

Por forma a garantir elevados níveis de qualidade, minimizando ao máximo erros humanos como, por exemplo, a errada colocação dos gabaritos na mesa de trabalho, optou-se pela colocação de duas guias orientadoras (ver anexo 6) que proporcionam apenas a correta colocação dos gabaritos, uma vez que se encontram a diferentes distâncias das faces laterais mais próximas, conforme se encontra representado através da Figura 90. Para se obter informações mais concretas acerca do dimensionamento do aperto do lado do equipamento Haas HRT 210 HS (1) e do aperto localizado do lado oposto (2) solicita-se a análise do anexo 7 e 8, respetivamente.

Assim, cada gabarito terá apenas uma única posição de montagem na mesa de trabalho, não sendo possível a sua colocação na outra face da mesa de trabalho, devido à guia que funcionará como um sistema *poka-yoke*.

Desta forma, os funcionários, aquando da colocação dos gabaritos, conseguirão ter a certeza de que os gabaritos se encontram perfeitamente montados no sistema.

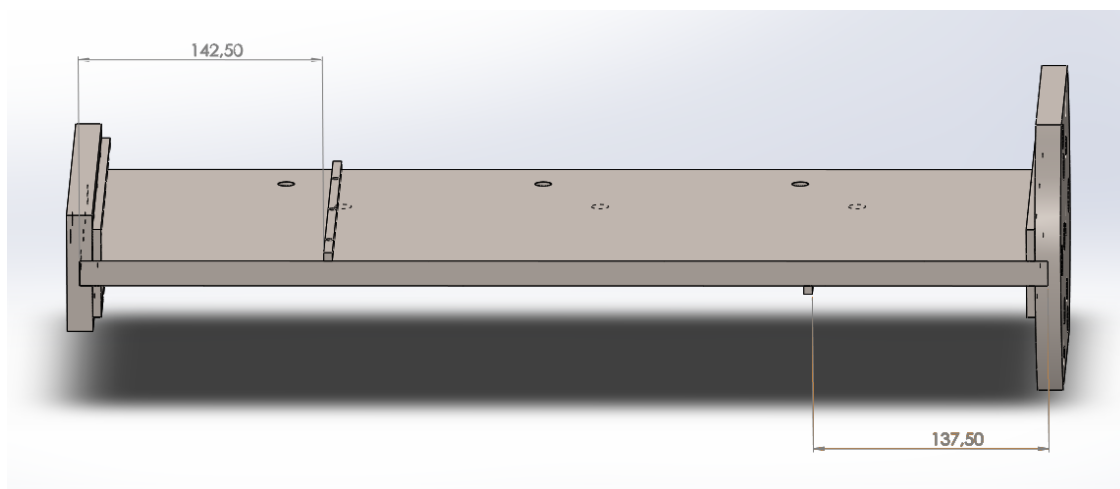


Figura 90 - Mesa de trabalho com guias orientadoras a diferentes distâncias

Com o objetivo de efetuar o devido atravancamento dos gabaritos na mesa de trabalho, foram colocadas, em cada extremidade da mesa de trabalho, guias e batentes (ver anexo 9 e 10, respectivamente) para proporcionar o posicionamento dos gabaritos na mesma.

Através da Figura 91 e da Figura 92 encontram-se representadas as guias presentes na mesa de trabalho que têm como principal função permitir o posicionamento correto dos gabaritos, mesmo durante a rotação radial da mesa de trabalho.

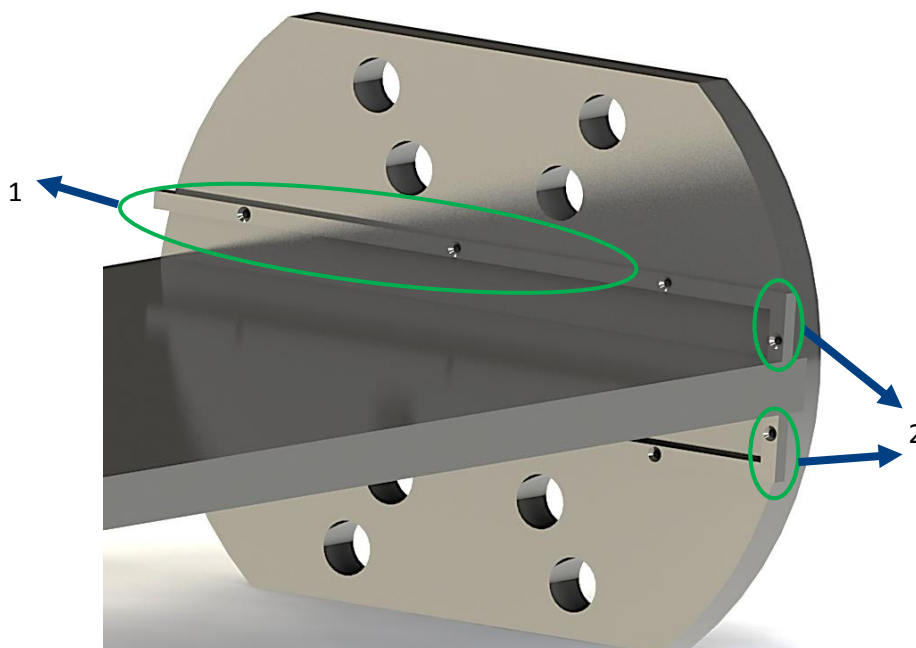


Figura 91 - Guias (1) e batentes (2) na extremidade da mesa de trabalho que será montada no sistema Haas HRT 210 HS

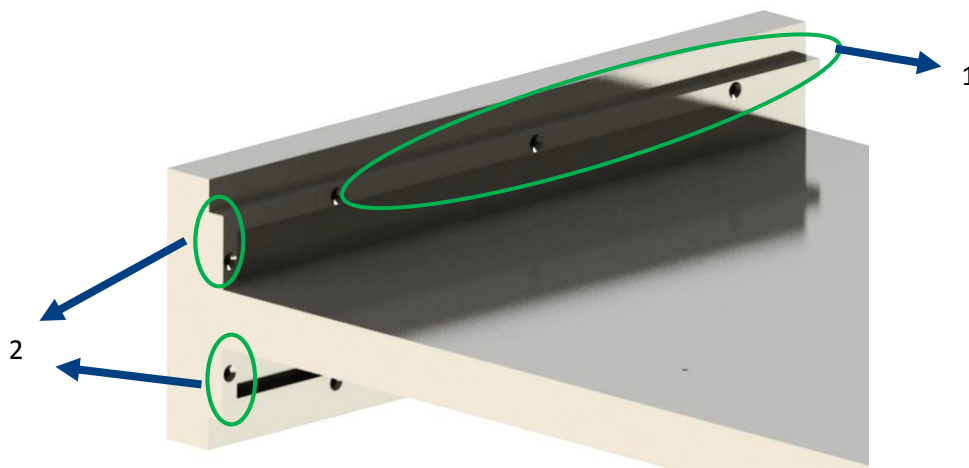


Figura 92 – Guias (1) e batentes (2) na extremidade que será montada no lado contrário ao sistema Haas HRT 210 HS

No entanto, e apesar de as guias e batentes ilustrados anteriormente proporcionarem uma montagem dos gabaritos na posição ótima, verificou-se que aquando da rotação da mesa de trabalho, se iria obter uma deslocação dos gabaritos.

Desta forma, projetou-se uma solução para colocar em cada face da mesa de trabalho 3 furos cónicos, que irão proporcionar a montagem dos gabaritos com maior exatidão, e irá também garantir que, mesmo com a rotação radial da mesa de trabalho, os gabaritos se encontram exatamente no mesmo local em que anteriormente haviam sido montados.

Assim, na Figura 93 encontram-se ilustrados os furos cónicos de posicionamento presentes na mesa de trabalho.

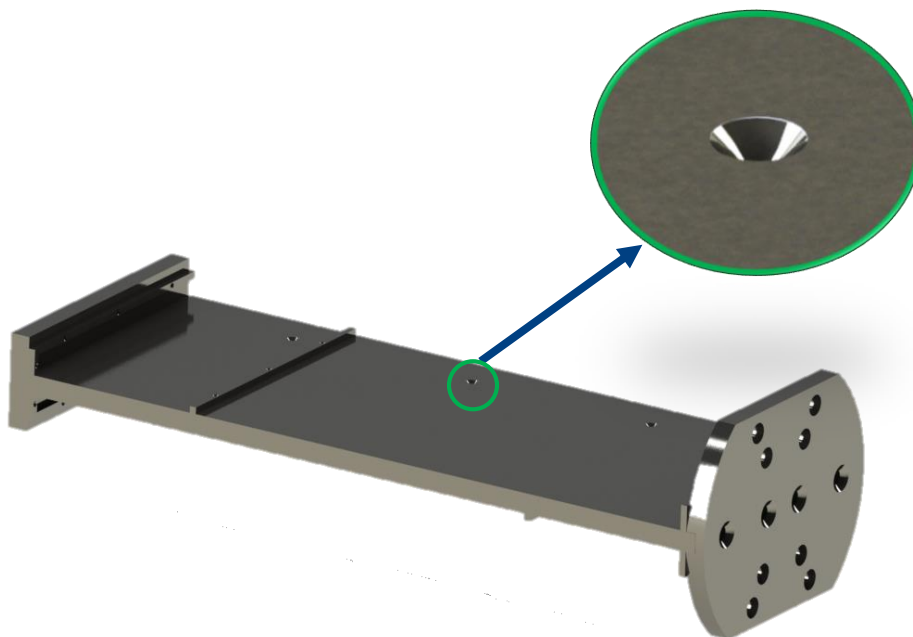


Figura 93 – Localização dos furos cónicos de posicionamento na mesa de trabalho

Após tudo o que foi apresentado, torna-se necessário elaborar um estudo ao nível da mesa de trabalho, por forma a calcular a flecha máxima durante a maquinação das diferentes peças. De referir que os estudos de flexão da mesa de trabalho foram efetuados através do Método de Elementos Finitos, utilizando o módulo correspondente integrado na ferramenta informática SolidWorks®.

A força que se utilizou teve por base o peso dos gabaritos (cerca de 12 kg/ gabarito), o peso da mesa de trabalho (19 kg), o peso por peça a maquinar (200 g/peça) e uma elevada margem de segurança de cerca 50% (devido à força aplicada durante a maquinação de uma peça), com o objetivo de projetar um sistema com elevada precisão com a menor flexão possível, uma vez que as peças a maquinar possuem tolerâncias rigorosas.

Assim, efetuou-se um estudo de flexão (Figura 94), considerando a mesa de trabalho encastrada na mesa indexadora Haas HRT 210 HS, obtendo-se os seguintes resultados:

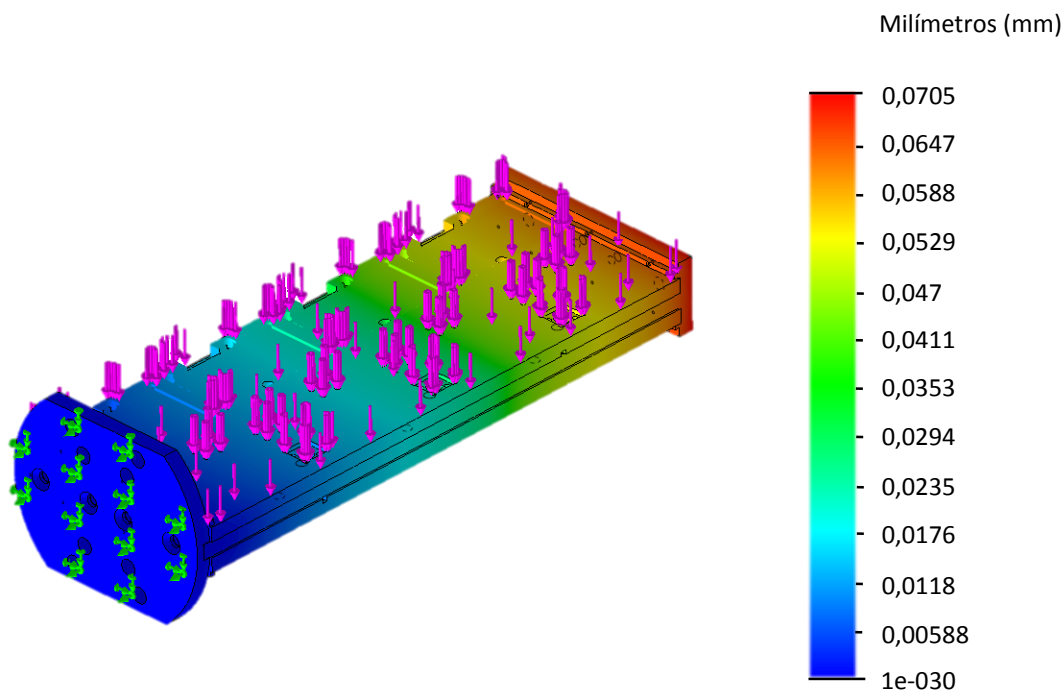


Figura 94 – Estudo de flexão com a mesa de trabalho suportada apenas em uma extremidade

Mediante os resultados obtidos, é facilmente perceptível que deverá ser incluído neste sistema de apoio à maquinagem (ver anexo 11), um componente que proporcionasse uma redução da flexão máxima obtida (0,0705 mm).

Desta forma, desenvolveu-se um apoio para ser montado na outra extremidade da mesa de trabalho (zona onde foi obtida a flecha máxima), conforme ilustrado através da Figura 95.

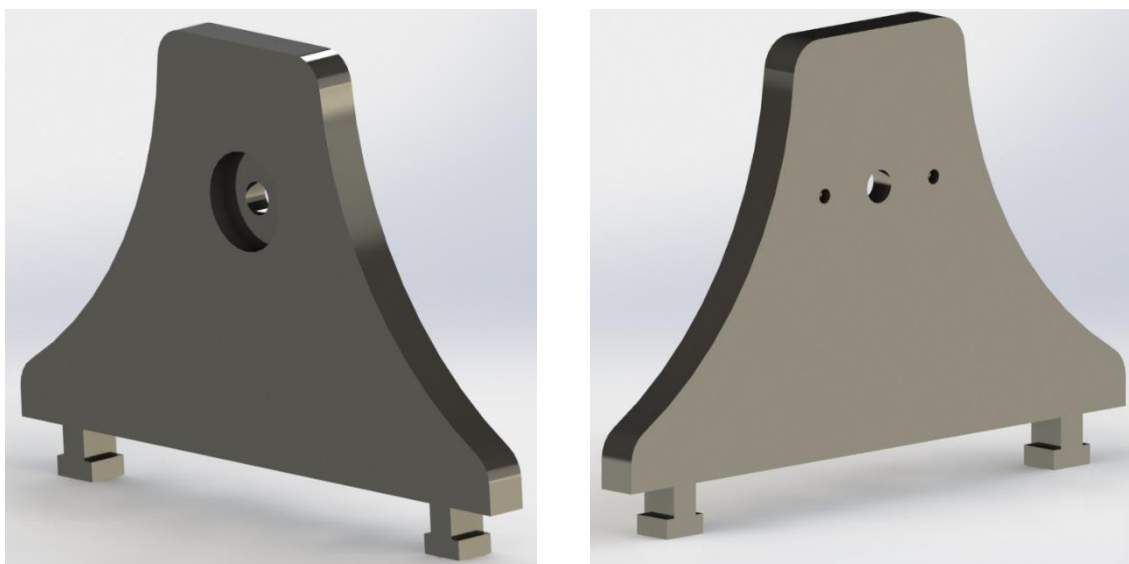


Figura 95 – Diferentes vistas do apoio para a mesa de trabalho

A utilização deste componente prende-se com o objetivo de promover uma maior estabilidade para todo o sistema, reduzindo drasticamente a flexão que se iria fazer sentir no caso de não se dispor de tal componente.

Através da Figura 96 apresenta-se o estudo de flexão de uma mesa de trabalho em aço AISI P20, com uma espessura de 15 mm, sendo que a força usada para levar a cabo este ensaio foi de 700 N. De referir que a mesa de trabalho se encontra fixa numa extremidade à mesa indexadora (Haas HRT 210 HS), e na outra extremidade ao componente de apoio representado pela Figura 95.

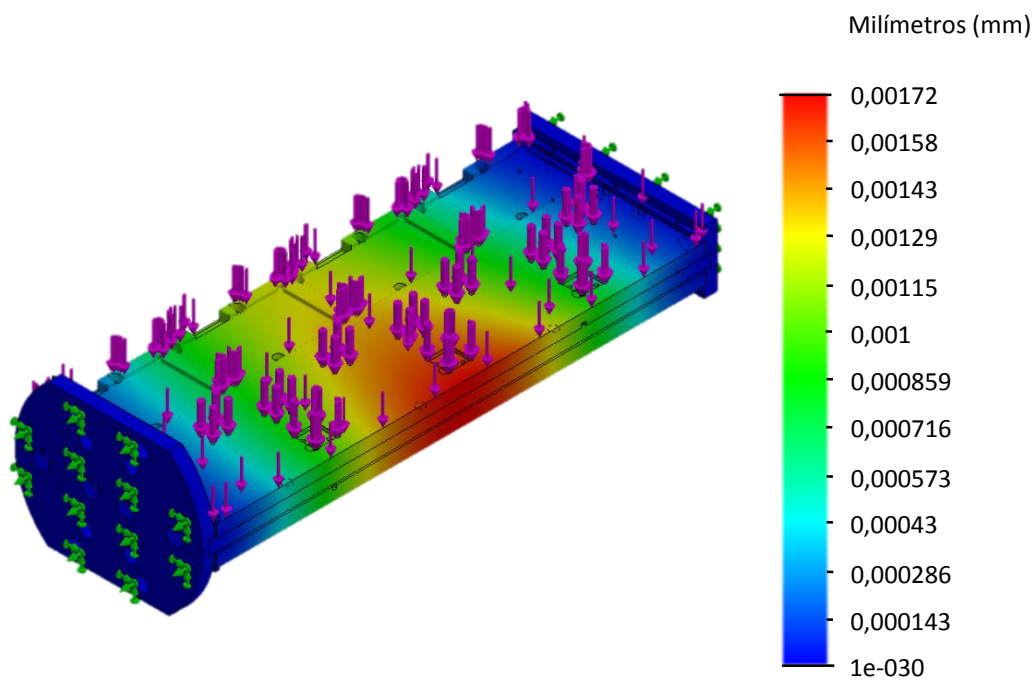


Figura 96 - Estudo de flexão existente na mesa de trabalho com 15 mm de espessura, apoiada em cada uma das extremidades

De seguida, optou-se por efetuar outro ensaio de flexão, em que a força aplicada seria igualmente de 700 N. No entanto, neste ensaio a mesa encontrava-se orientada verticalmente, conforme se poderá verificar através da Figura 97. O objetivo deste ensaio é verificar se, com o sistema projetado, seria possível garantir o toleranciamento referido anteriormente (Figura 85, Figura 86 e Figura 87), aquando da maquinagem das peças no plano de topo.

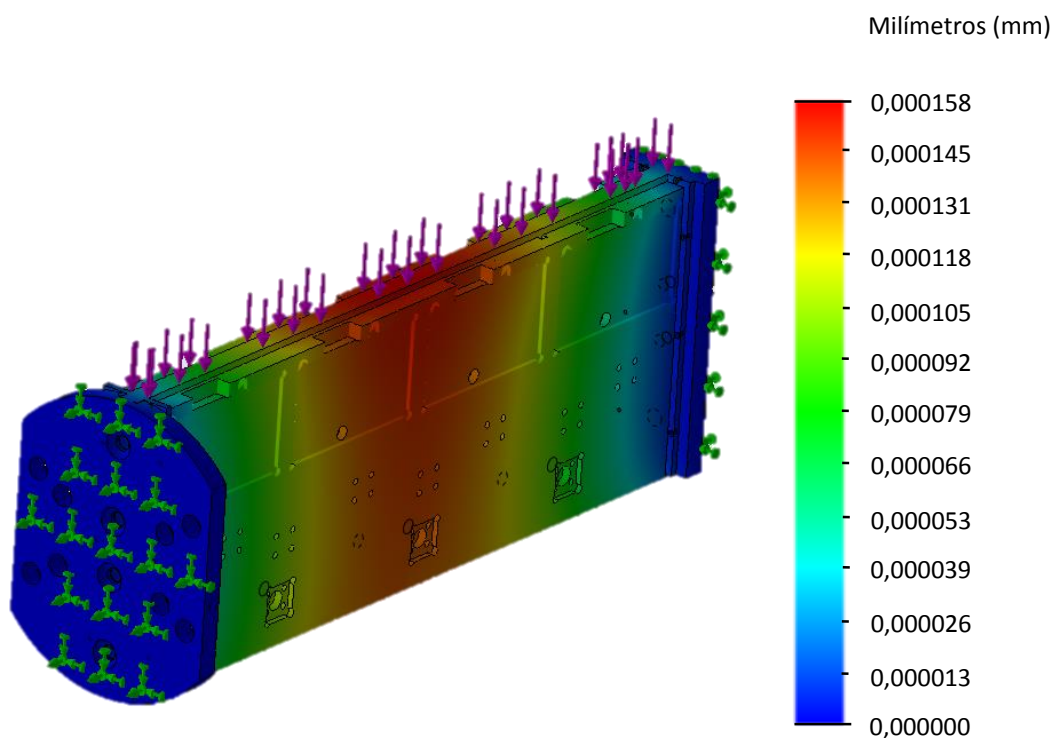


Figura 97 - Ensaio de flexão com a mesa colocada na posição vertical

Mediante os resultados obtidos, conclui-se que o sistema de apoio à maquinagem corresponde com os requisitos delineados previamente. Ou seja, a mesa de trabalho não só apresenta características para laborar no processo de maquinagem explicado anteriormente, como também capacita o sistema da precisão necessária para garantir a qualidade ao nível do toleranciamento das peças maquinadas.

Posto isto, e após definir pragmaticamente o sistema de apoio à maquinagem, optou-se também por efetuar estudos de flexão para comprovar o efeito da espessura da mesa de trabalho na flexão obtida.

Os valores dos ensaios de flexão efetuados encontram-se ilustrados na Tabela 7.

Tabela 7 - Análise comparativa entre a espessura e a flecha obtida

Espessura da mesa (mm)	Flecha máxima (mm)
20	0,00127
17,5	0,001495
15	0,00172
12,5	0,002125
10	0,00253

Após este estudo, foi comprovado que com o uso de qualquer espessura que conste na Tabela 7, seria possível obter uma flecha reduzida.

Conforme se pode verificar a flecha máxima seria de aproximadamente 0,00253 mm para uma espessura da mesa de trabalho de 10 mm, e localizar-se-ia na zona central da mesa de trabalho, conforme se pode verificar na Figura 96. O valor de flecha obtido é bastante aceitável, relativamente à força utilizada neste estudo, e aos toleranciamentos das peças a maquinar, tal como foi referido anteriormente, o que demonstra uma ótima capacidade para suportar esforços excêntricos ao longo de múltiplos ciclos de trabalho. No entanto, como se pretende reduzir ao máximo o uso de espaço no eixo Z tendo sempre em mente a disponibilização máxima de espaço útil de maquinaria, é necessário selecionar a espessura ótima para a mesa de trabalho.

Assim, e tendo em consideração a disponibilização máxima de área de maquinaria no eixo Z, garantindo ótimos resultados ao nível da flecha máxima, optou-se por desenvolver uma mesa de trabalho com a espessura de 15 mm. Se, porventura, a opção fosse por uma mesa com uma espessura superior a 15 mm, obter-se-ia uma redução pouco significativa da flecha máxima bem como uma redução ao nível do eixo Z, não apresentando mais-valias significativas para o sistema de apoio

Desta forma, a opção de projetar uma mesa de trabalho de 15 mm de espessura será a opção ótima, a qual irá minimizar possíveis problemas ao nível de manutenção, de qualidade e também ao nível de produção, apresentando uma elevada fiabilidade e possibilitando peças maquinadas com o rigor definido à *priori*. O sistema de apoio à maquinaria definido até ao momento neste trabalho, encontra-se ilustrado Figura 98.

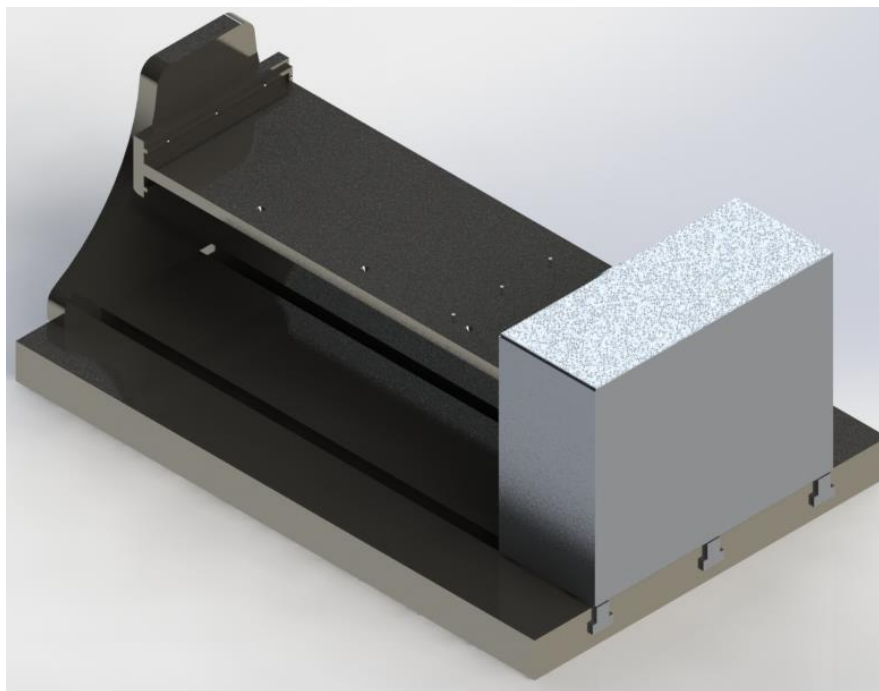


Figura 98 - Sistema de apoio à maquinagem com mesa de trabalho de 15 mm

No entanto, uma vez que este sistema terá de efetuar enumeras rotações de 90° da mesa de trabalho, tendo como objetivo posicionar no plano pretendido as peças a maquinar, verificou-se que, para proporcionar uma maior estabilidade a todo o sistema, bem como suportar o peso da mesa de apoio à maquinagem totalmente montado, dever-se-ia utilizar uma chumaceira de flange.

Assim, conseguir-se-ia proporcionar um menor atrito aquando da rotação da mesa indexadora a uma velocidade de rotação até $100^\circ/\text{segundo}$, sem desgaste severo do material constituinte de todo o sistema de apoio à maquinagem.

Logo, de forma a suportar os esforços excêntricos que irão ser efetuados ao longo dos múltiplos ciclos de trabalho, foi colocado na extremidade da mesa de trabalho um apoio com uma chumaceira de flange da marca Schaeffler modelo RCJT20-N-FA125 (ver anexo 12), conforme demonstrado através da Figura 99.

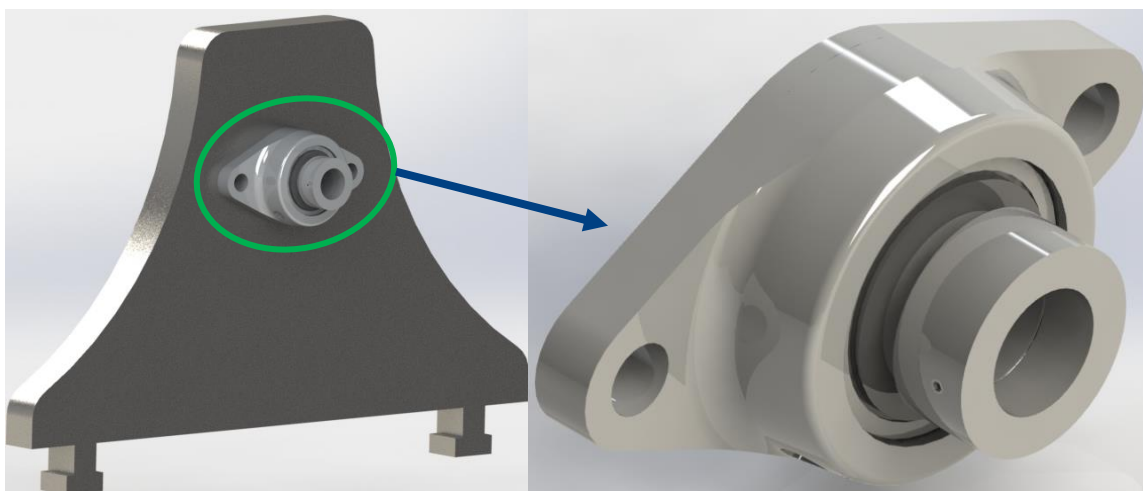


Figura 99 - Chumaceira de flange Schaeffler modelo RCJT20-N-FA125

Como o eixo da mesa de trabalho terá o diâmetro de 20 mm (ver anexo 13), a chumaceira teve de ser dimensionada em função do referido diâmetro. Assim, optou-se por uma chumaceira com as seguintes especificações:

- Dimensões (largura x comprimento x altura): 112 x 61 x 45,6 mm³;
- Peso aproximado: 0,52 kg.

A utilização deste tipo de chumaceira prende-se com facto de o eixo da mesa de trabalho ser perpendicular à zona de montagem (apoio da mesa de trabalho) e também por proporcionar uma maximização do espaço na mesa de trabalho do equipamento CNC, dado que o veio irá ocupar espaço fora da mesa de trabalho do equipamento, não interferindo na disponibilidade de espaço sobre aquela.

Assim, como o objetivo é o de possibilitar uma movimentação do eixo de forma suave e com baixo coeficiente de atrito, utilizar-se-á na chumaceira em estudo massa lubrificante, o que possibilita suportar elevadas cargas no contacto (no caso em estudo, o peso da mesa de trabalho totalmente assembled) e proporciona uma maior proteção das superfícies onde se encontram os rolamentos, isolando-as do exterior e diminuindo a possibilidade de penetração de fluido de corte ou impurezas.

Com o uso de massas lubrificantes, a manutenção preventiva ocorrerá com pouca frequência, uma vez que estas possibilitam a lubrificação por longos períodos de tempo.

No que concerne à resistência à corrosão, este ponto também é extremamente relevante devido às condições em que se irá encontrar a laborar a chumaceira em análise.

Desta forma, a caixa da chumaceira irá ser em ferro fundido, com um tratamento superficial que terá como principal função prevenir o aparecimento de corrosão.

O sistema de apoio à maquinação definido até ao momento encontra-se representado através da Figura 100, onde se poderá constatar a existência de:

- Mesa de trabalho do equipamento CNC (1);
- Mesa rotativa Haas HRT 210 HS (2);
- Mesa de trabalho do sistema de apoio à maquinação (3);
- Apoio para a mesa de trabalho (4);
- Chumaceira de flange (5).

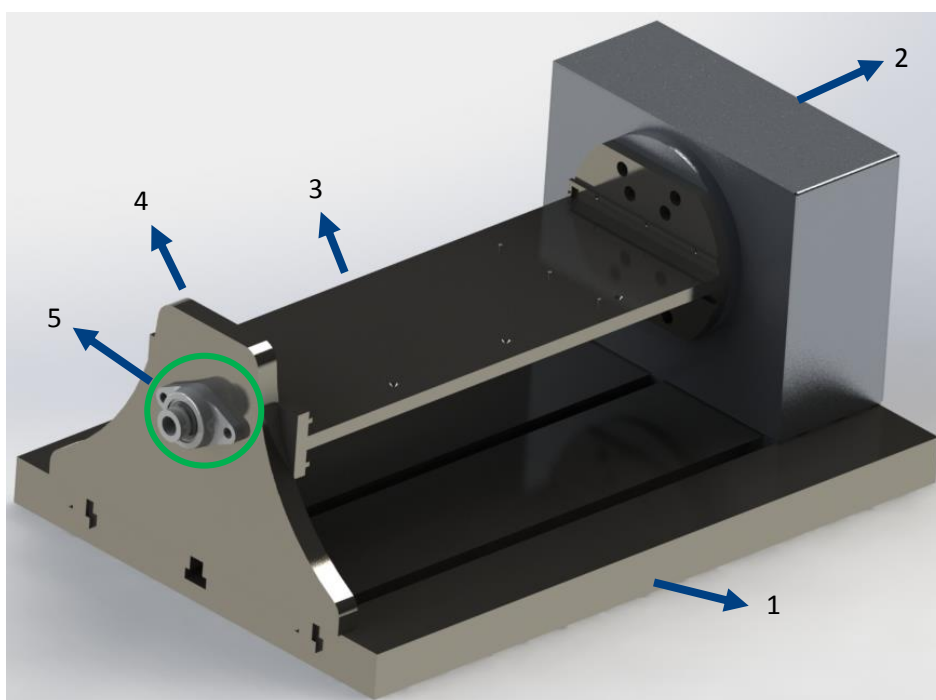


Figura 100 - Sistema de apoio à maquinação com chumaceira de flange

Por fim, para se dispor do sistema de apoio à maquinação apto a laborar em conjunto com o equipamento CNC, é necessário proceder à ligação elétrica entre ambos.

Para tal, a ligação entre os equipamentos deverá ser efetuada através de conetores de 21 pinos, estabelecendo a ligação entre a mesa rotativa Haas HRT 210 HS e as placas controladoras do equipamento CNC, ilustradas através da Figura 101.

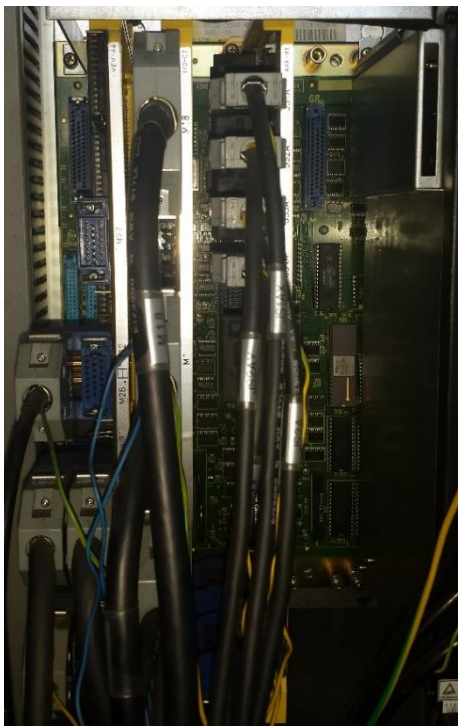


Figura 101 - Placas controladoras do equipamento CNC

Estas ligações irão ocupar nas placas controladoras do equipamento CNC os conetores que correspondem a funções especiais que se encontram disponíveis para definição, as quais deverão ser utilizadas aquando da programação da maquinagem, promovendo a interligação entre os dois equipamentos. Para tal, é necessário que ambos os equipamentos possuam um conetor macho de 21 pinos (recetor de informação) e um conetor fêmea de 21 pinos (emissor de informação).

Assim, no caso do equipamento CNC em estudo, verifica-se a disponibilidade de dois conectores de 21 pinos aptos para efetuar a ligação à mesa rotativa Haas HRT 210 HS, conforme se poderá verificar através da Figura 102.



Figura 102 - Ligações de 21 pinos M26 e M27 no quadro do equipamento CNC

O conector macho (M27) será usado para rececionar sinal proveniente da mesa rotativa que se pretende conectar ao equipamento CNC, e o conector fêmea (M26) servirá para emitir sinal do equipamento CNC para a mesa rotativa Haas.

Por outro lado, para se transmitir à mesa rotativa a informação de que poderá efetuar a rotação para a posição desejada, recorre-se à função M26. Sendo assim, será emitida a informação ao servomotor que a operação de maquinagem terminou e que poderá iniciar a rotação da mesa indexadora, tendo por base a direção e a distância angular programada previamente.

Quer-se com isto dizer que será necessário efetuar antecipadamente a programação do servomotor com a distância angular exata a percorrer aquando da receção de um impulso elétrico proveniente do equipamento CNC. Nesta situação, é relevante referir que se irá usar apenas uma distância angular para efetuar a rotação radial da mesa indexadora, pois tratam-se apenas de movimentos com a amplitude de 90° e sempre na mesma direção, desde o início até ao final de cada ciclo.

Desta forma, após o servomotor finalizar a operação de rotação da mesa indexadora, irá transmitir essa informação ao equipamento CNC através da função M27. O equipamento CNC, ao receber esse impulso elétrico, irá proceder à continuação da estratégia de maquinagem.

Assim, aquando do desenvolvimento da estratégia CNC, é necessário definir objetivamente quando é que o equipamento CNC irá emitir sinal para a mesa rotativa, e quando é que esta irá emitir sinal para o equipamento CNC.

Em suma, a emissão de sinal por parte do equipamento CNC dá-se quando este termina uma operação, informando a mesa rotativa que poderá iniciar o trabalho pré-definido pelo utilizador. Já no caso da receção de sinal do equipamento CNC, esta tem lugar quando a mesa rotativa termina a operação previamente definida, e informa o equipamento CNC que poderá prosseguir com a estratégia de maquinagem definida pelo utilizador.

3.5.3. Projeto do novo gabarito

De seguida procedeu-se ao desenvolvimento do gabarito, uma vez que são componentes auxiliares específicos, fundamentais para garantir uma maquinagem precisa, algo extremamente necessário na indústria automóvel. Para os gabaritos foi selecionado um aço AISI

P20 provido de um tratamento superficial (oxidação negra), de forma a aumentar a sua resistência à corrosão.

Na Figura 103 encontra-se ilustrado um exemplo de gabarito com capacidade para 4 peças.

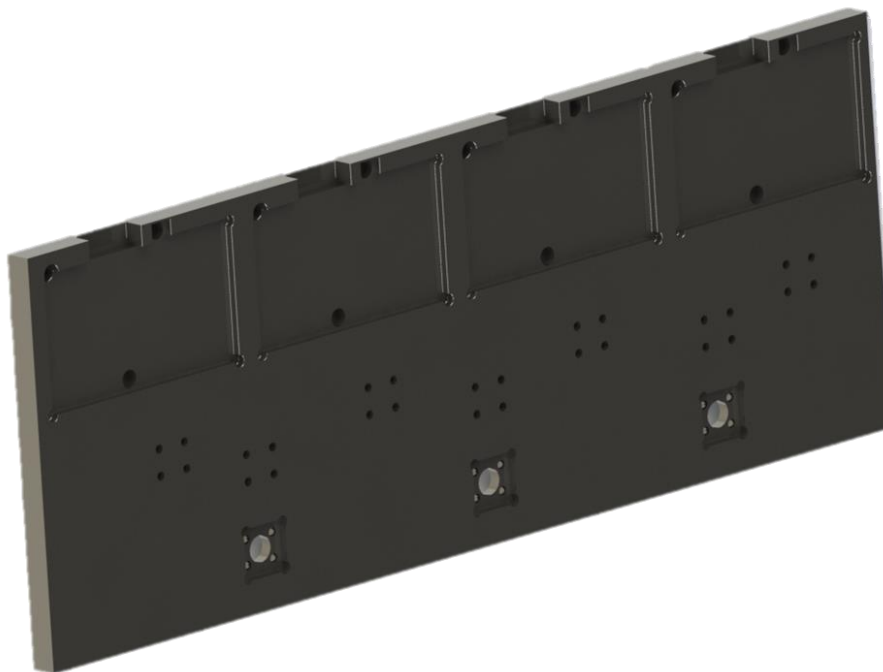


Figura 103 – Gabarito para alojamento das peças durante a maquinação

De forma a possibilitar a colocação das peças a maquirar de forma rápida e precisa o gabarito dispõe de uma depressão retangular com 3 furos no local em que cada peça a maquirar deverá ser colocada, conforme se poderá verificar através da Figura 104.



Figura 104 – Configuração da depressão destinada à montagem de uma peça a maquirar

De forma a proporcionar uma ótima fixação das peças aquando da operação de maquinagem, utilizam-se 4 grampos. Através da Figura 105 demonstra-se um exemplo dos grampos usados para fixar as peças a maquinar. Este modelo é um grampo da marca GOODHAND, série 201-B. O modelo usado é o GH-201-BSS, em aço inox, e pesa cerca de 130 g. Este tipo de grampos é usado para efetuar a correta fixação de cada uma das peças a maquinar (um grampo por peça) e deverá ser montado na mesa de trabalho.



Figura 105 - Grampos da marca GOODHAND, modelo GH-201-BSS, usados para fixar as peças a maquinar

Através da Figura 106, poderá ver-se a localização dos grampos para fixar as peças a maquinar, montados na mesa de trabalho. De referir que a ativação do sistema de fixação dos grampos terá de ser manual, e mediante informação proveniente do fornecedor, irá aplicar uma força de cerca de 900 N por grampo na respetiva peça a maquinar, o que se considera ser suficiente para proporcionar uma ótima fixação das peças durante a maquinagem.

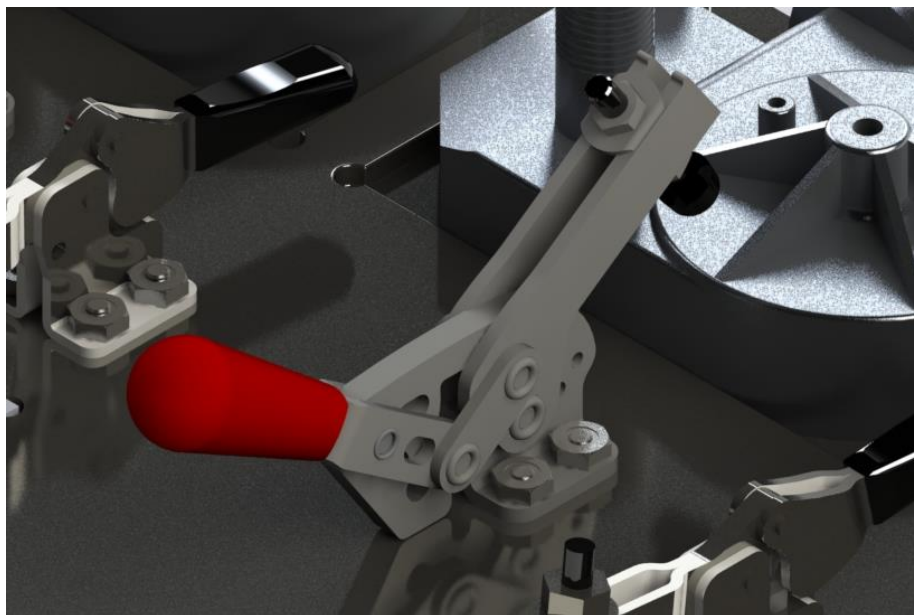


Figura 106 - Grampo para fixar peças a maquinar montado na mesa de trabalho

De forma a garantir a qualidade das peças maquinadas, foi desenvolvido um sistema de fixação dos gabaritos à mesa de suporte através do uso de 3 grampos de menor dimensão.

Através da Figura 107 poderá ver-se um exemplo dos grampos usados para fixar os gabaritos na mesa de trabalho. Este modelo é um grampo da marca GOODHAND, série 20752-B. O modelo usado é o GH-20752-B, em aço inox, que pesa cerca de 100 g.

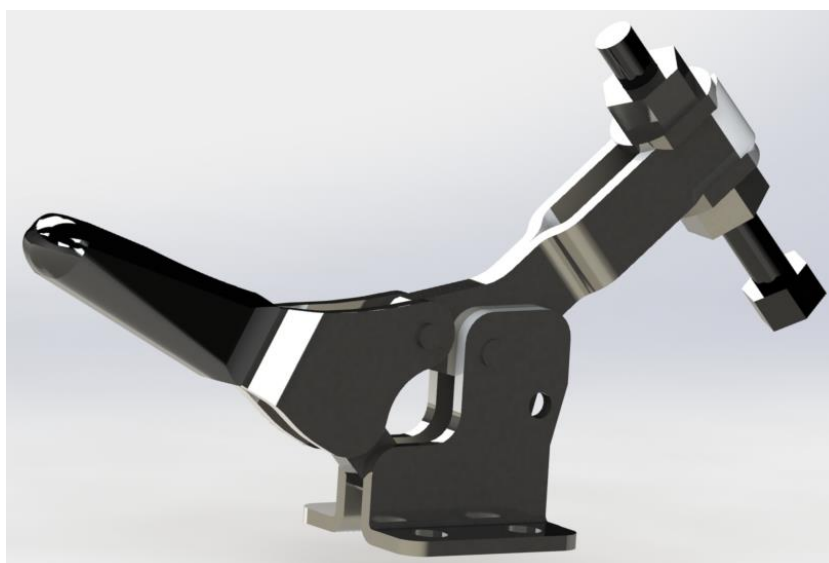


Figura 107 - Grampos usados para fixar os gabaritos da marca GOODHAND, modelo GH-20752-

B

Na Figura 108 poderá ver-se um dos grampos para fixar o gabarito, montado na mesa de trabalho.

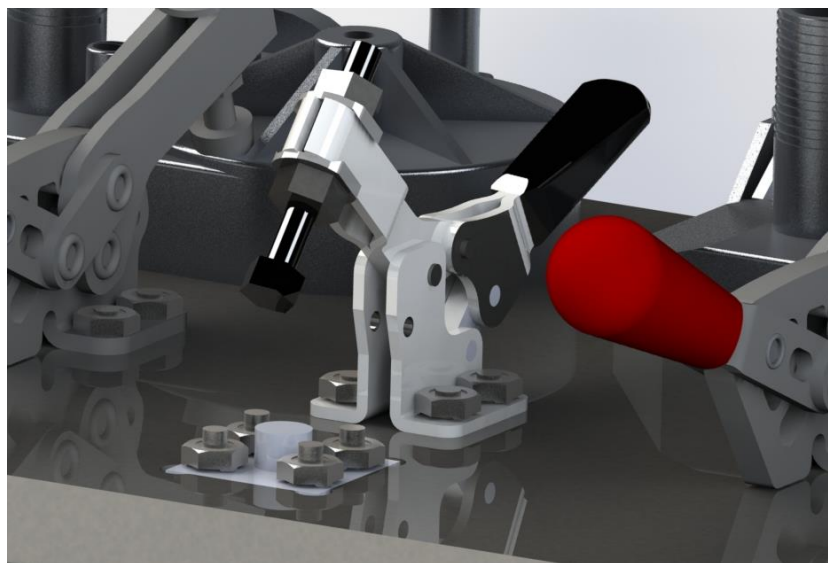


Figura 108 - Grampo para fixar o gabarito, montado na mesa de trabalho

De forma a efetuar a correta fixação de cada um dos gabaritos, é necessário ativar o sistema de manipulação dos grampos, bem como recorrer ao uso de três pinos cónicos e respetivas molas, conforme se mostra através da Figura 109.

Aquando da ativação do grampo, o pino cónico irá ser pressionado em direção à mesa de suporte dos gabaritos, conduzindo ao perfeito bloqueio do gabarito relativamente à mesa.

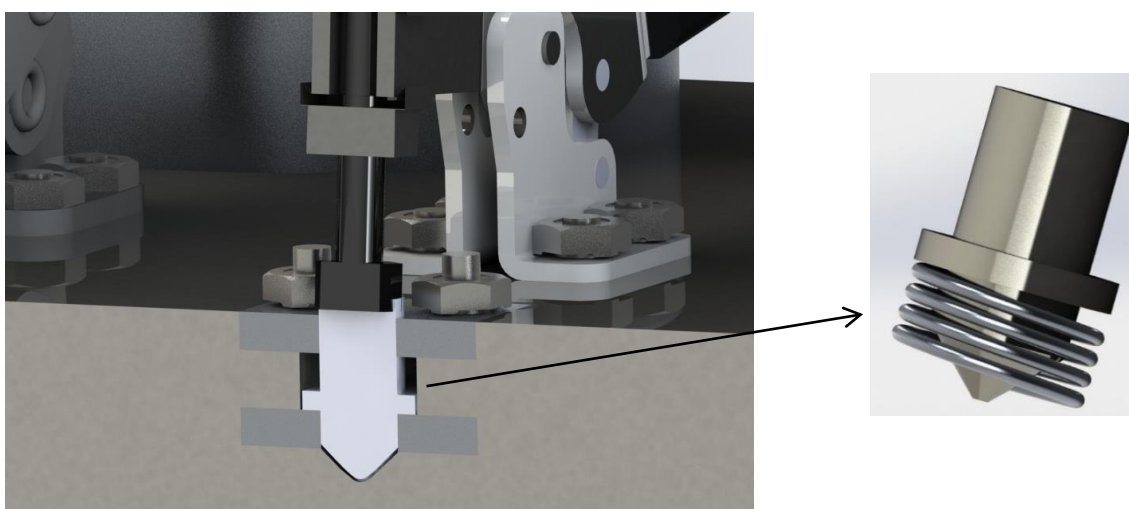


Figura 109 - Ativação do grampo de fixação de gabarito e respetivo pino cónico com mola

A ativação do sistema de fixação dos grampos terá de ser manual, pelo que irá aplicar uma força de cerca 750 N por grampo no respetivo pino cónico. Posto isto, considera-se que a pressão exercida por grampo será o suficiente para suportar o gabarito aquando da rotação da mesa indexadora.

De referir que, graças à utilização de um batente na mesa de trabalho (conforme se poderá verificar através da Figura 91 e da Figura 92), onde os gabaritos irão ser suportados, aquando da rotação da mesa de trabalho, não será necessário elaborar qualquer estudo ao nível de resistência ao corte dos pinos, pois estes serão apenas utilizados para posicionar o gabarito na mesa de trabalho.

Quando os grampos não estiverem a desempenhar qualquer função (como por exemplo, na mudança de gabaritos) os pinos cónicos retraem graças à atuação da mola, possibilitando assim a sua retirada sem danificar qualquer elemento constituinte do sistema de maquinaria (quer o pino cónico, quer a mesa de gabaritos).

Em suma, através da Figura 110 pode-se verificar a mesa do sistema de apoio à maquinaria com os dois gabaritos já montados, e com as respetivas 8 peças a maquinar.



Figura 110 - Sistema de apoio à maquinaria com os respetivos gabaritos, grampos e peças

3.5.4. Passos necessários à colocação em funcionamento

Tendo em vista o bom funcionamento do sistema auxiliar de maquinagem apresentado, é necessário cumprir determinados passos, entre os quais:

- Efetuar a ligação entre a mesa rotativa e o equipamento CNC Hardinge VMC 600 II através dos conectores disponíveis (Figura 111) nas placas controladoras deste, por intermédio de conectores de 21 pinos;

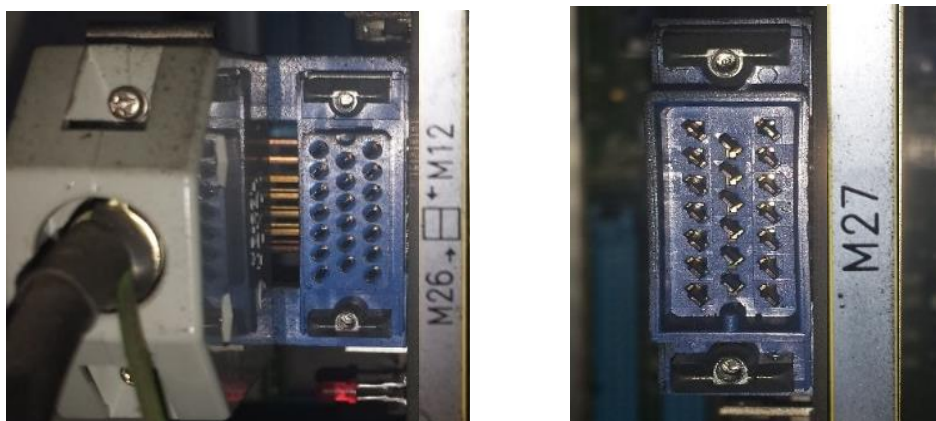


Figura 111 - Conectores M26 e M27 disponibilizados pelo equipamento

- Programar a mesa rotativa Haas HRT 210 HS de forma a efetuar rotações de 90° sempre na mesma direção, aquando do envio de informação por parte do equipamento CNC;
- Desenvolver a estratégia de maquinagem, colocando na mesma as funções M26 para emissão de sinal (indicando ao servomotor que a operação de maquinagem terminou) e M27 para receção de sinal (indicando ao equipamento CNC que a rotação da mesa indexadora terminou);
- Efetuar a montagem de todos os componentes da mesa rotativa (mesa de trabalho, apoio, chumaceira, etc);
- Colocação dos gabaritos e proceder à sua correta montagem e fixação por intermédio de grampos usados para este fim;
- Colocação das 8 peças a maquinar, fixando-as por meio de grampos.

3.5.4.1. Equipamento desenvolvido

Tendo em mente que a mesa rotativa Haas HRT 210 HS, não só se encontra devidamente programada (para quando solicitada efetuar a rotação angular de 90°), como também com as peças a maquinar fixas nos gabaritos, é necessário proceder ao desenvolvimento da estratégia de maquinação.

Para tal, é fulcral a utilização das funções M26 e M27 (emissão de sinal e receção de sinal, respetivamente) quando se pretender que a mesa rotativa efetue a rotação previamente definida pelo utilizador, ou quando se pretender que a estratégia de maquinação prossiga.

Assim, e a título de exemplo, quando o equipamento CNC terminar a operação de desbaste interno M12 no plano frontal da peça a maquinar, irá emitir essa informação ao servomotor através da função M26. Através do uso desta função especial, o equipamento transmite ao servomotor o sinal necessário para este efetuar a rotação de 90°, tal como programado inicialmente pelo utilizador.

Após o servomotor terminar a rotação angular, informará o equipamento CNC através da função M27 que já percorreu o ângulo programado, pelo que o equipamento CNC poderá prosseguir com a estratégia de maquinação.

Em suma, após concluir o desbaste interno M12 no plano frontal das peças a maquinar, o equipamento CNC irá efetuar a operação de desbaste interno no plano de topo daquelas, apenas após a rotação do servo motor, encontrando-se, portanto, na segunda posição da mesa indexadora.

3.5.4.2. Nova sequência operatória

Na Figura 112 encontra-se representada a sequência operatória com o sistema de apoio à maquinação CNC, a qual será abordada em pormenor de seguida.

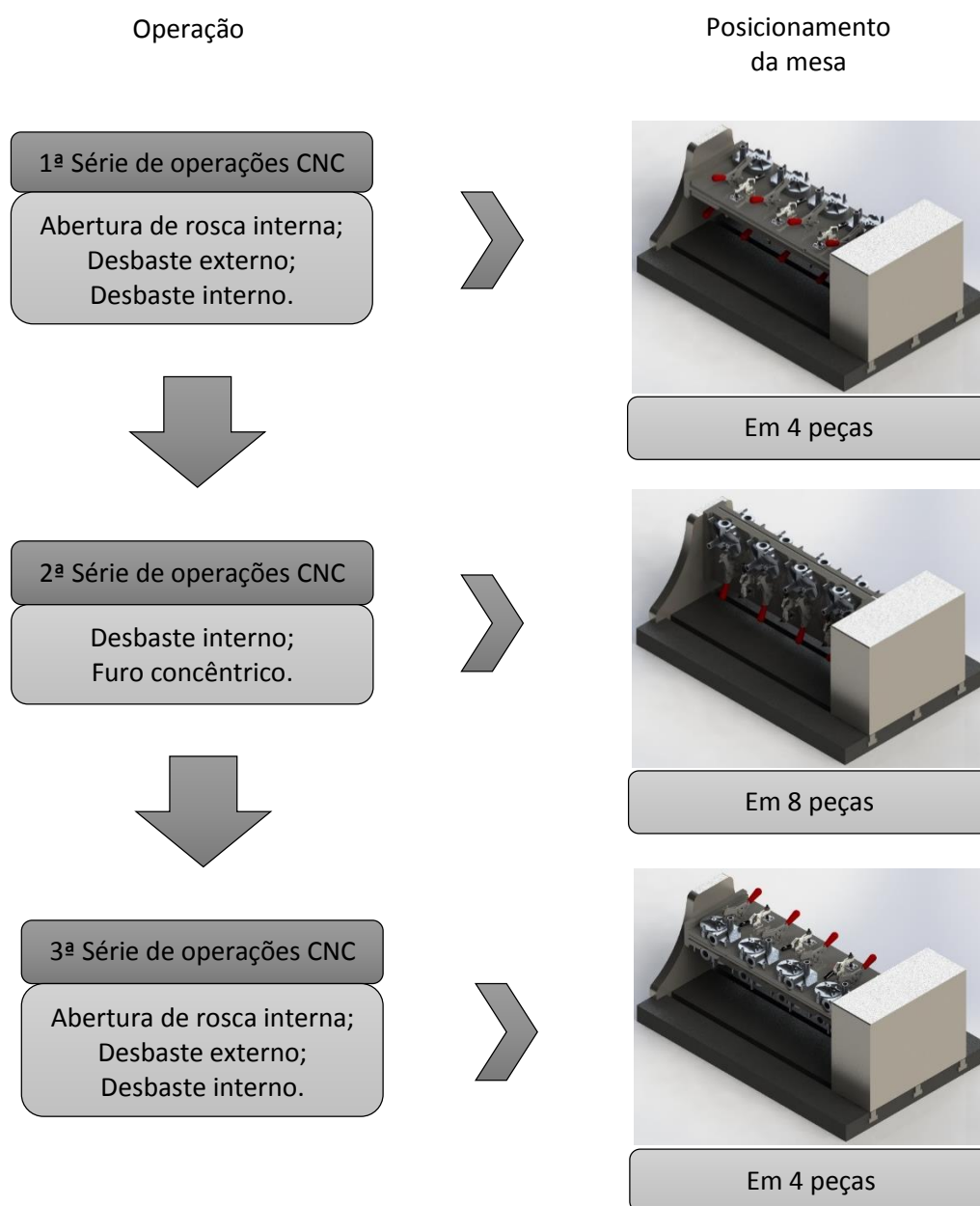


Figura 112 - Nova sequência operatória para 8 peças com 2 gabaritos

Esta sequência operatória tem como objetivo maquinação 8 peças, quatro em cada gabarito, e cada uma em dois planos perpendiculares (plano frontal e topo).

Inicialmente, a estratégia de maquinagem irá iniciar-se com as peças a maquinar no plano horizontal, aí irá efetuar-se a operação de roscagem interna, seguida de uma operação de roscagem externa e termina-se a maquinagem neste plano com uma operação de desbaste, tal como se poderá verificar através da Figura 113.

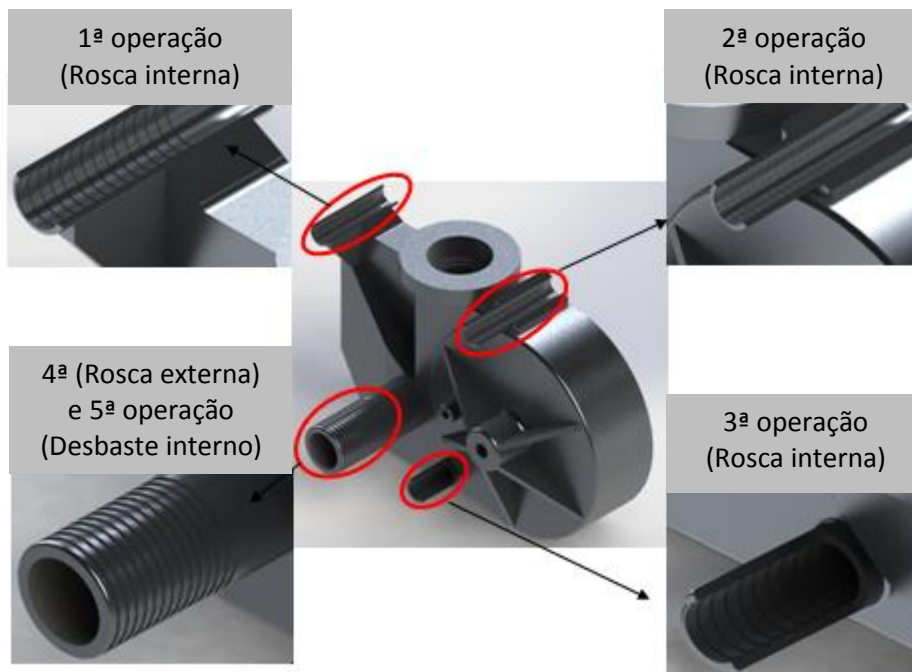


Figura 113 - Operações a efetuar no plano frontal

De seguida, a mesa rotativa irá efetuar uma rotação angular de 90°, colocando as peças a maquinar no plano vertical (Figura 114). Para tal a programação da estratégia de maquinagem deverá utilizar as funções M26 e M27, conforme referido anteriormente.

Desta forma, pode-se verificar como será a programação em linguagem FANUC, de forma a, após terminar o desbaste interno na primeira posição da mesa indexadora, o servomotor proceder à rotação radial da mesa indexadora.

O10010 (MSG,TP Name:Desbaste interno)

N1 (MSG, Date:2/6/2014)

N2 ((PM Version:4.800 CB01100;Machine:HardingeVMC600II)

N3 G90 G40 G80 G49

N4 (Tool Type:DRILL)

N5 T6 M06 (Tool Dia:12,Tip:0)

N6 G00 G54

.
. .
.

N29 G90 G129 X0 Y0

N30 M09

N31 M26

N32 M27

N33 (MSG,TP Name:Desbaste interno_plano 3)

N34 (MSG, Date:2/6/20014)

N35 (PM Version:4.800 CB01100;Machine: HardingeVMC600II)

N36 G90 G40 G80 G49

N37 (Tool Type:ROUTING)

N38 T4 M06 (Tool Dia:30,Tip:5)

N39 G00 G54

.
. .
.
%

Após proceder à rotação da mesa indexadora, o equipamento Haas HRT 210 HS enviará um impulso elétrico através da função M27, informando que já se encontra posicionado de acordo com as coordenadas definidas pelo utilizador. Assim, que o equipamento CNC poderá continuar a sequência de maquinagem, sendo que neste plano a estratégia de maquinagem consiste em efetuar o desbaste interno e o furo concêntrico com roscado interno.

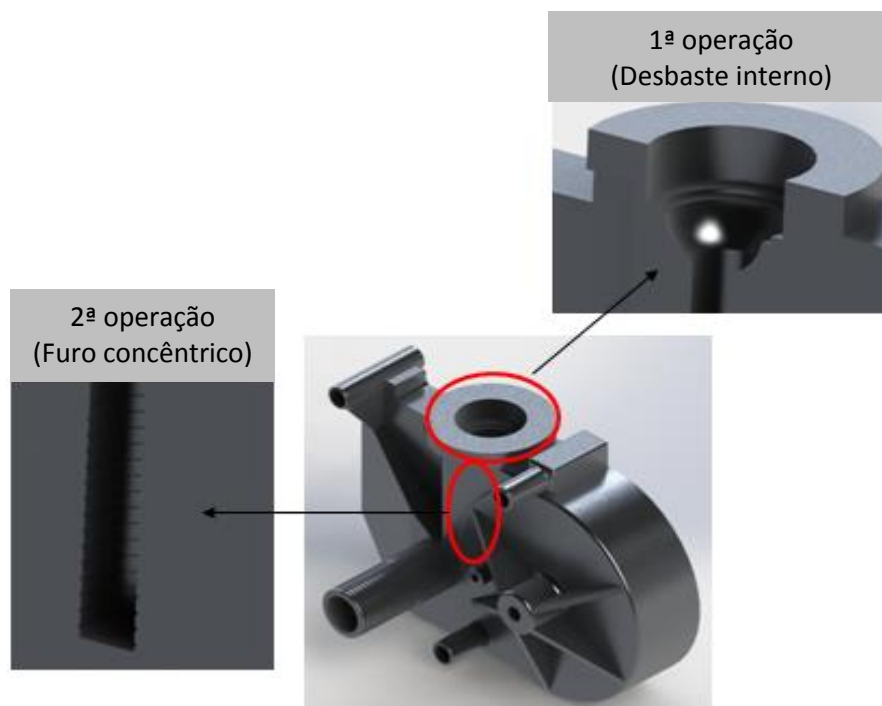


Figura 114 - Operações a efetuar no plano de topo

Após estas operações de maquinagem, a mesa rotativa irá efetuar novamente uma rotação angular de 90°, de forma a colocar as restantes quatro peças orientadas horizontalmente, de forma a efetuar a operação de roscagem interna, a roscagem externa e por fim o desbaste interno.

No entanto, de forma a que a sequência operatória decorra conforme o pretendido, é necessário conectar o servomotor do sistema de apoio ao equipamento CNC. Para tal, recorrer-se-á ao uso de funções M disponíveis nas placas do equipamento CNC, conforme se poderá verificar através da Figura 115. Assim, serão utilizados dois cabos, sendo que um irá efetuar as ligações de saída de sinal e o segundo cabo irá efetuar as ligações de entrada de sinal no servomotor, sendo que, para o servomotor emitir informações ao equipamento CNC de fim de operação, deve-se utilizar a função M27. No caso de fim de operação por parte do equipamento CNC, tendo como recetor o servomotor, deve-se utilizar a função M26.

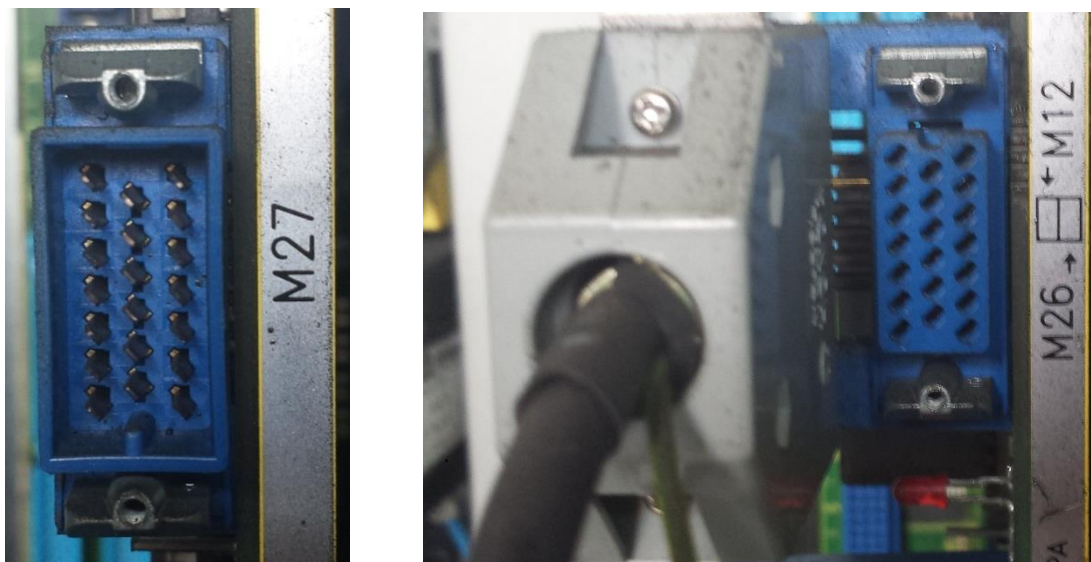


Figura 115 – Conectores M27 e M26 no quadro do equipamento Hardinge VMC 600 II

É de notar que será necessário efetuar inicialmente a programação do servomotor com a rotação angular exata a percorrer aquando da receção de um impulso elétrico. Nesta situação, é relevante referir que se irá usar sempre o mesmo ângulo para efetuar a rotação da mesa indexadora, pois tratam-se apenas de movimentos a 90° e sempre na mesma direção, desde o início até ao final de cada ciclo.

Por forma a transmitir-se ao servomotor a informação de que poderá efetuar a rotação angular para a posição desejada, recorre-se à função M26.

Através desta função, será então emitida a informação ao servomotor que a operação de maquinagem terminou e que poderá iniciar a rotação da mesa indexadora, tendo por base a direção e a distância angular programada previamente. Assim, após o servomotor finalizar a operação de rotação radial da mesa indexadora, irá transmitir essa informação ao equipamento CNC através da função M27. O equipamento CNC, ao receber esse impulso elétrico, irá proceder à continuação da estratégia de maquinagem.

3.5.4.3. Ferramentas necessárias

As ferramentas necessárias para levar a cabo a sequência operatória demonstrada anteriormente são:

- Fresa macho M6 x 1 em HSS;
- Caçonete M16 x 1 em HSS;
- Ferramenta especial de furação, roscagem e desbaste interno.

A opção pela fresa macho M6 x 1 em HSS e pelo caçonete M16 x 1 em HSS, prende-se, não só com o facto de demonstrarem ser uma escolha válida para maquinagem em alumínio, como também pelo facto de se aproveitar os recursos disponíveis na empresa, reduzindo assim o investimento necessário *à priori*.

Estas ferramentas possibilitam velocidades de corte a rondar os 80 m/min, pelo que nas operações em que irão ser aplicadas, cumprem com as necessidades ao nível da maquinagem CNC.

No entanto, de referir que aquando da aquisição de novas ferramentas, se deveria optar por ferramentas em metal duro. A razão por tal escolha deve-se não só por permitirem velocidades de corte superiores às ferramentas em HSS (velocidade superior em cerca de 100 m/min), como também por apresentarem uma vida útil superior às ferramentas em HSS em cerca de 300%.

Relativamente à operação de furação, roscagem e desbaste interno no plano de topo das peças a maquinar, foi idealizada a ferramenta especial mostrada na Figura 116 (ver anexo 14).

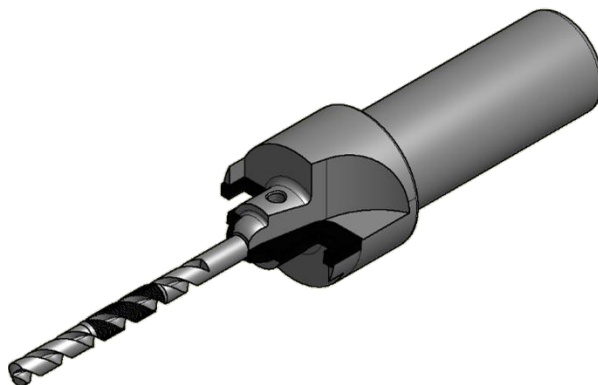


Figura 116 - Ferramenta especial para operação de desbaste interno e furo concêntrico

Esta ferramenta deverá ser adquirida em metal duro, não só por proporcionar a utilização de maiores velocidades de corte, mantendo as principais características da ferramenta em questão, como também por se tratar de um material que apresenta uma ótima combinação de dureza e tenacidade. Mediante informações por parte do fornecedor Frezite®, esta ferramenta será capaz de executar os trabalhos definidos com o máximo de qualidade e precisão, não havendo assim o risco de qualquer tipo de vibrações exageradas devido ao comprimento da ferramenta.

Estes fatores, conjugados, irão proporcionar um aumento da vida útil da ferramenta, reduzindo possíveis problemas de substituição frequente.

3.5.4.4. Alteração do programa de controlo CNC

O processo de maquinagem no equipamento CNC consiste apenas em colocar as peças num gabarito (Figura 117), dispoendo as peças orientadas na vertical, de forma a possibilitar a operação de desbaste interno e do furo concêntrico.



Figura 117 - Gabarito no processo de maquinagem atual

De referir que no equipamento CNC, atualmente, apenas se procede à maquinagem do topo das peças (furação, roscagem e desbaste interno).

No que concerne à estratégia de maquinação desenvolvida com o sistema auxiliar de maquinação, torna-se possível não só efetuar as operações já executadas, como também todas as outras operações realizadas fora do equipamento CNC, conforme foi referido anteriormente.

Desta forma, dispondo do sistema completamente programado, com as peças a maquinar fixas nos gabaritos e com a mesa rotativa na posição inicial de maquinação (Figura 118), projetou-se uma nova estratégia de maquinação, a qual foi realizada no *software* de CAM Powermill®.

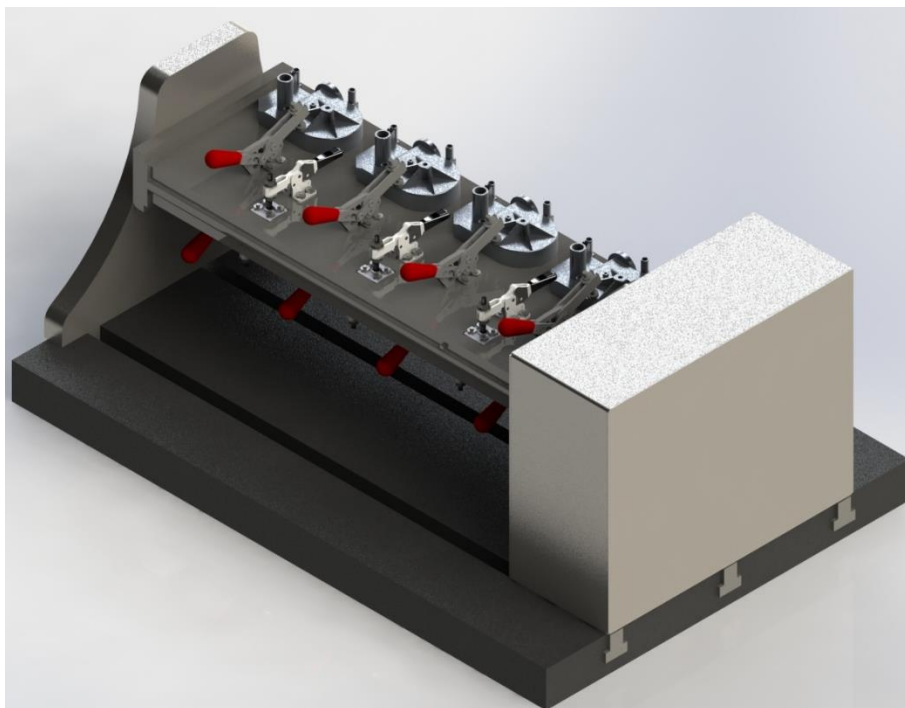


Figura 118 – Posição inicial de maquinação

Aquando da definição da estratégia de maquinação, é fundamental definir como se pretende efetuar as ligações entre as diferentes coordenadas onde se irá maquinar, pelo que se optou por efetuar ligações rasantes às peças de forma a reduzir ao máximo o movimento em vazio das fresas, como se poderá verificar através da Figura 119.

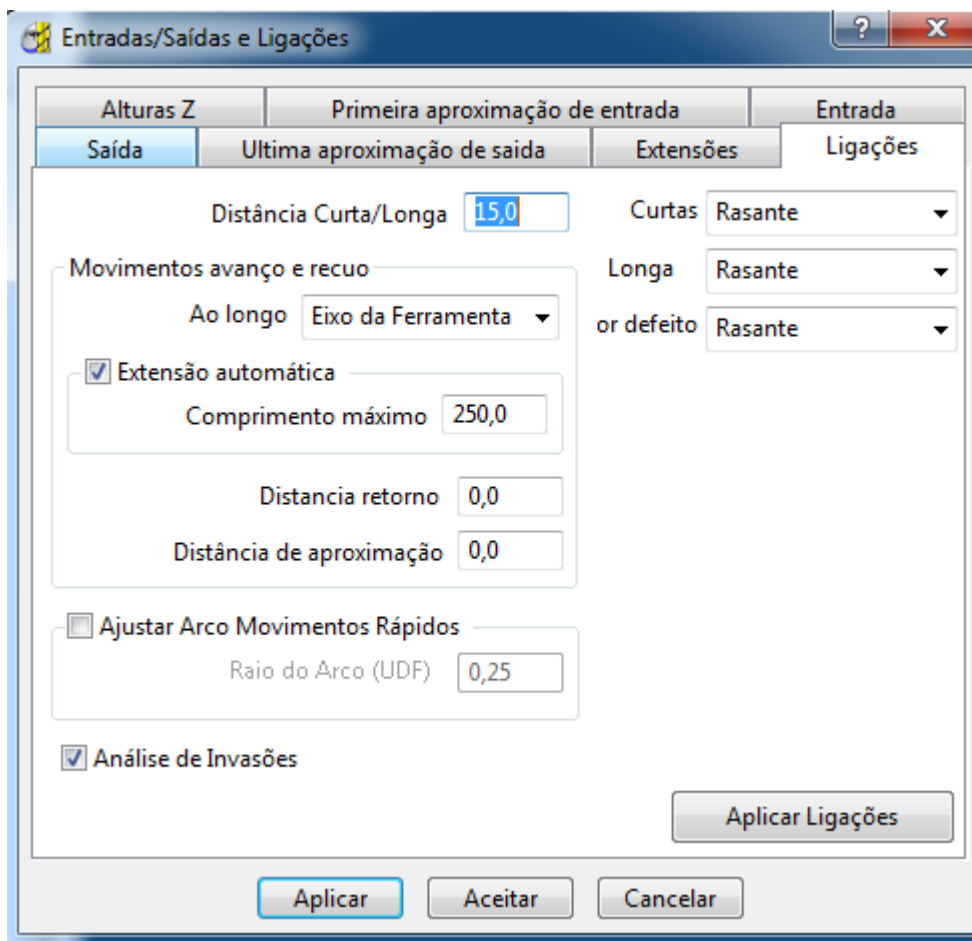


Figura 119 – Parametros de ligação entre operações de maquinagem

A primeira operação a efetuar é a rosca interna M6x1. De lembrar que por cada peça a maquinar é necessário efetuar 3 operações de roscagem M6x1, pelo que a estratégia definida para tal operação nas peças a maquinar se encontra demonstrada através da Figura 120.

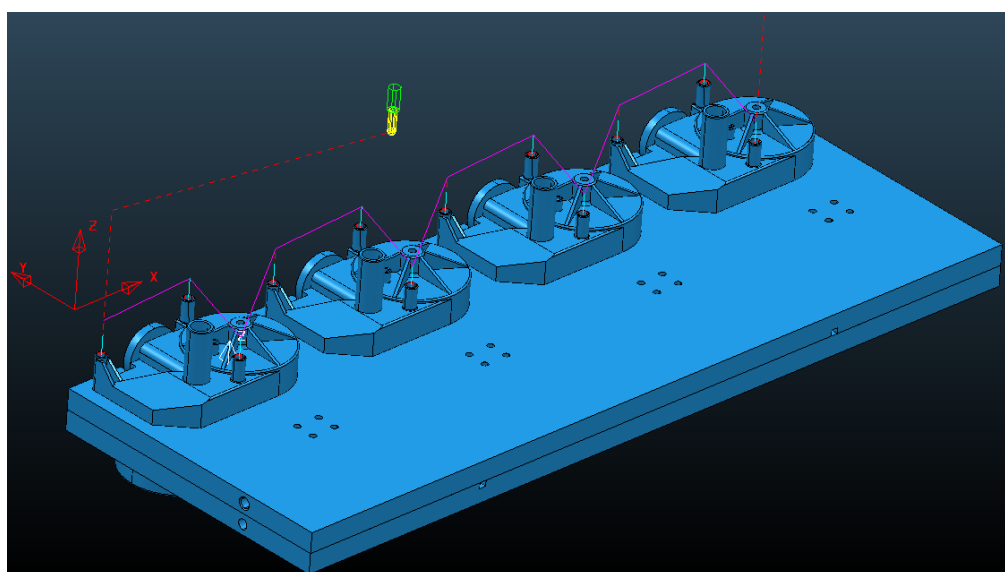


Figura 120 - Roscagem interna M6x1

De seguida, procede-se à operação de roscagem externa por intermédio de caçonete M16x1 (mostrado na Figura 76). Esta operação deverá ser efetuada uma única vez por cada peça a maquinar. A estratégia definida para tal operação nas peças a maquinar encontra-se ilustrada através da Figura 121. De referir que a ferramenta presente na Figura 121 é meramente indicativa, devido à impossibilidade de projetar uma ferramenta de forma geométrica aproximada à do caçonete especial que se pretende utilizar.

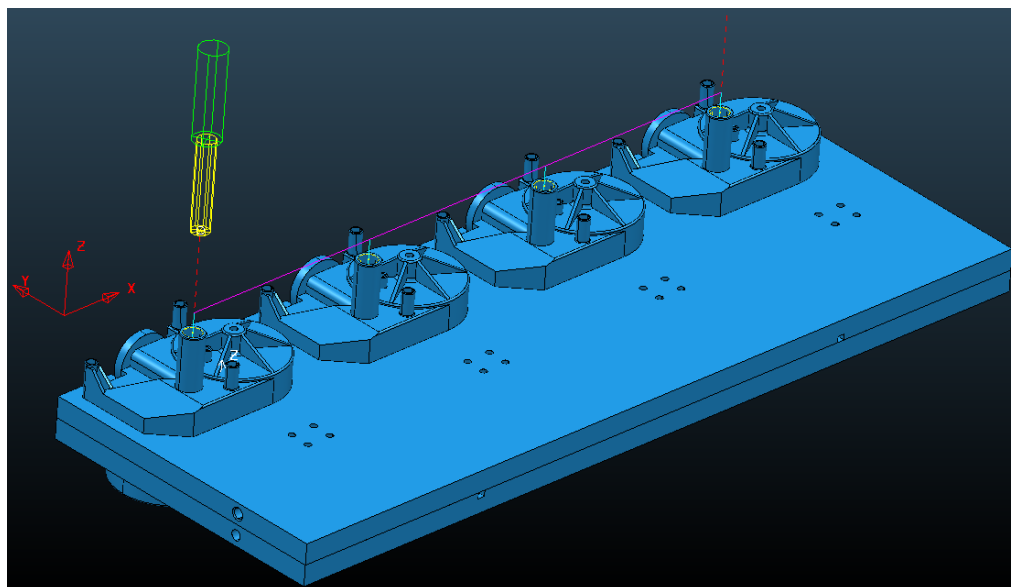


Figura 121 - Operação de roscagem externa

A operação seguinte é o desbaste interno, com uma broca helicoidal de diâmetro 12 mm. Esta operação deverá ser efetuada uma única vez por cada peça a maquinar. A estratégia definida para tal operação nas peças a maquinar encontra-se ilustrada através da Figura 122.

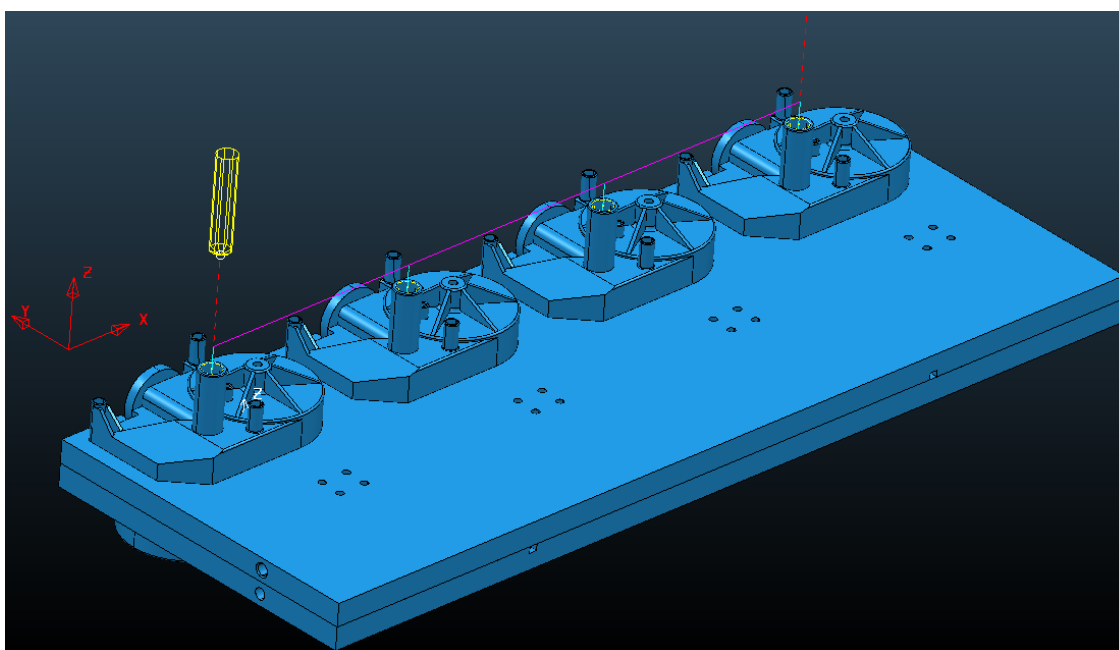


Figura 122 - Operação de desbaste interno

Após efetuar as operações de maquinagem referidas anteriormente, a mesa rotativa Haas HRT 210 HS irá proceder à rotação da mesa de trabalho em 90°, posicionando as peças a maquinar de acordo com a orientação representada através da Figura 123.

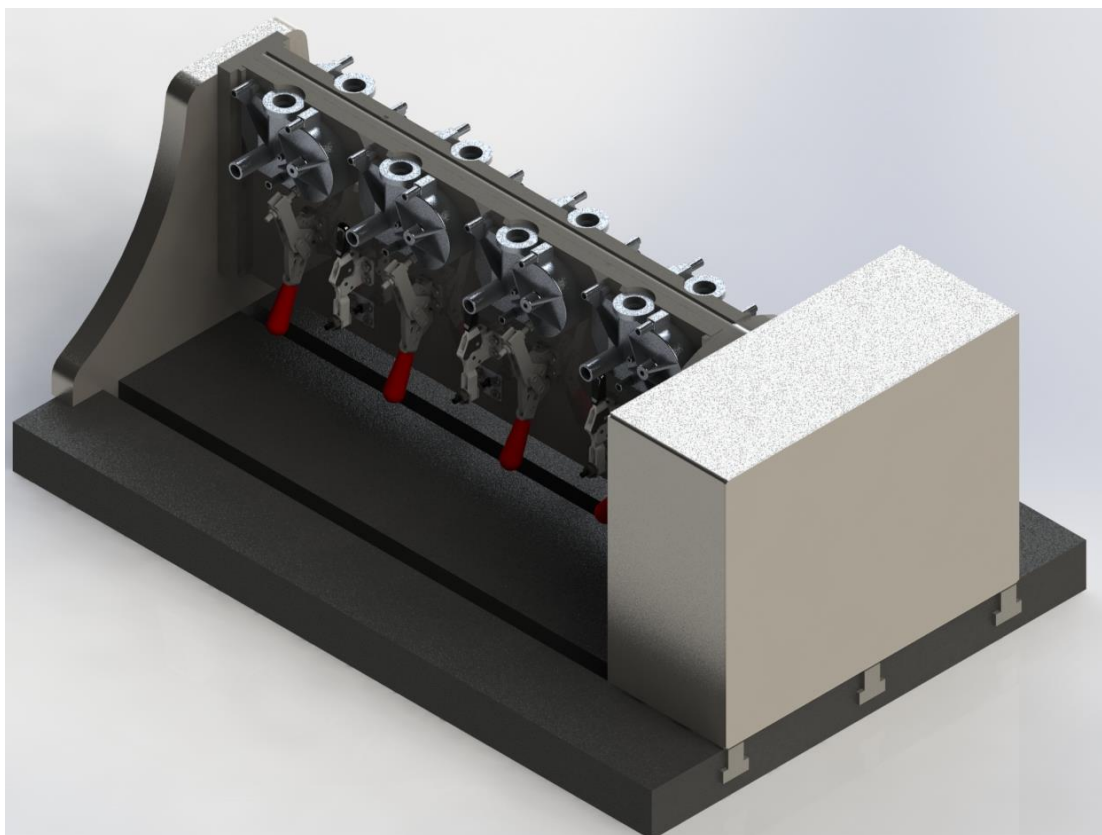


Figura 123 - Segundo posicionamento das peças a maquinar

Com as peças orientadas verticalmente, irá proceder-se à operação de furação, roscagem e desbaste interno, usando a ferramenta representada pela Figura 116. Esta operação deverá ser efetuada uma única vez por cada peça a maquinar. A estratégia definida para tal operação nas peças a maquinar encontra-se ilustrada na Figura 124. De referir que a ferramenta presente na Figura 124 é meramente indicativa, devido à impossibilidade de representar no Powermill® uma ferramenta de forma geométrica aproximada à da ferramenta especial que se pretende utilizar.

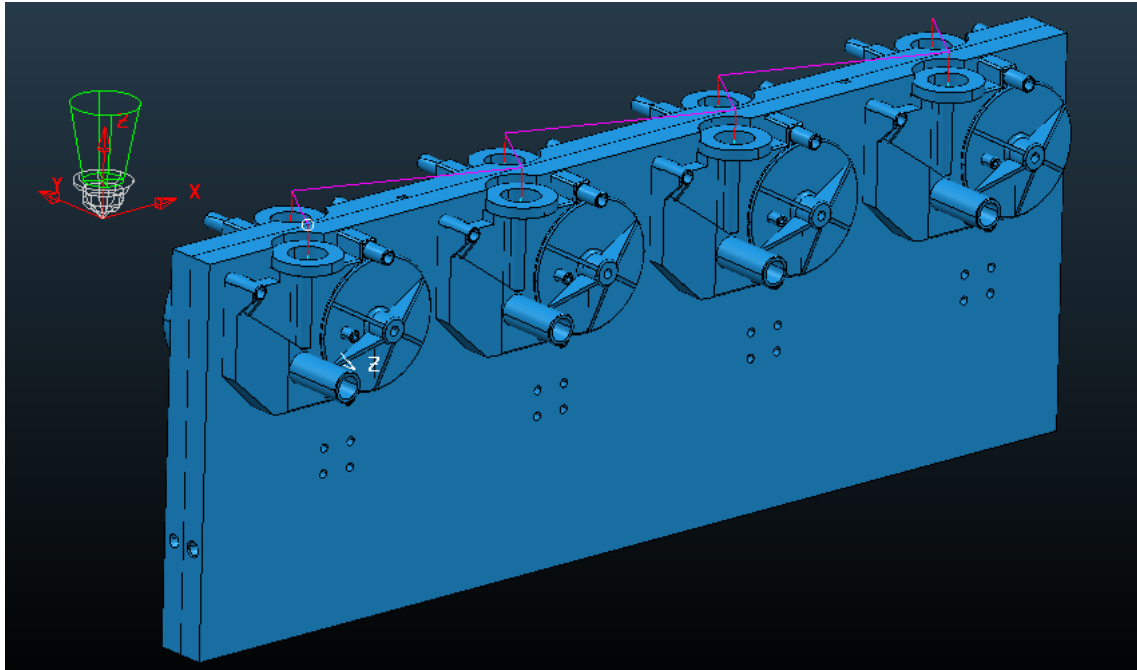


Figura 124 - Operação de furação, roscagem e desbaste interno

Após efetuar a última operação de maquinagem, a mesa rotativa Haas HRT 210 HS irá proceder à rotação da mesa de trabalho em 90°, orientando as peças a maquinar horizontalmente, conforme representado na Figura 125.

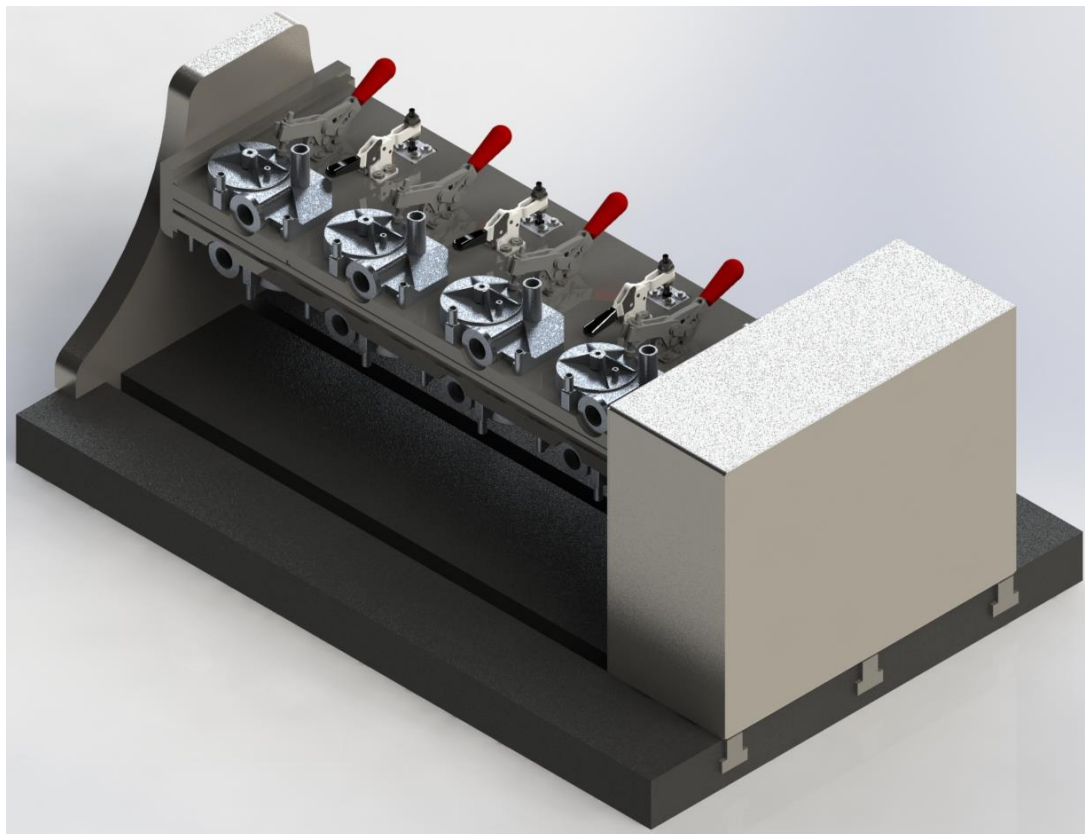


Figura 125 - Terceiro posicionamento das peças a maquinar

Após se dispor das peças orientadas horizontalmente, irá proceder-se à operação de roscagem interna M6x1. É importante referir que por cada peça a maquinar é necessário efetuar 3 operações de roscagem M6x1. A estratégia definida para tal operação nas peças a maquinar encontra-se definida na Figura 126.

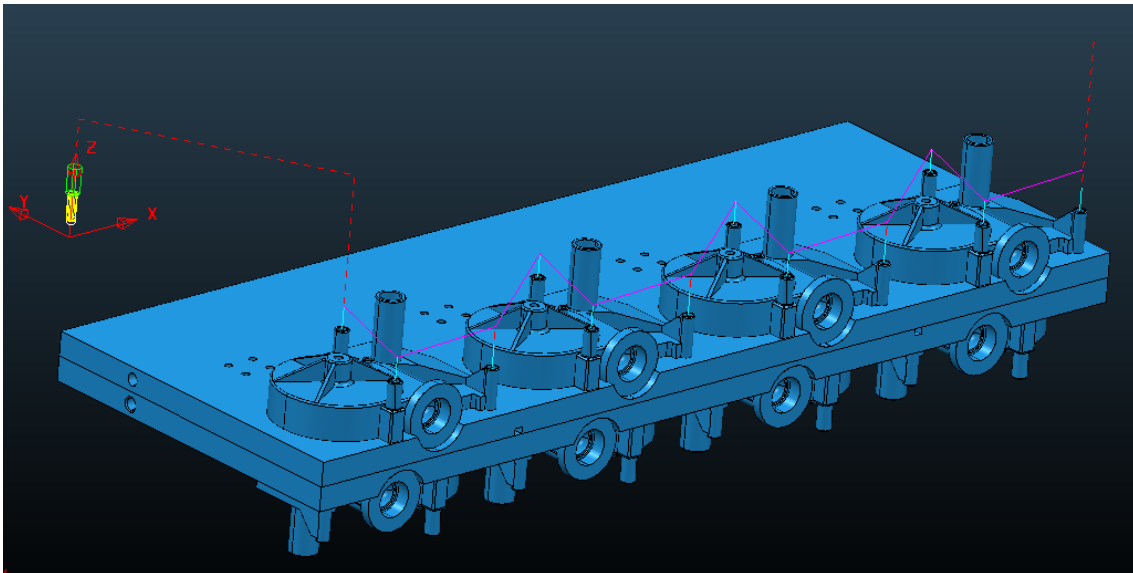


Figura 126 - Segunda operação de roscagem interna M6x1

Após esta operação procede-se à roscagem externa por intermédio de caçonete M16x1 (mostrado na Figura 76). Esta operação deverá ser efetuada apenas uma vez por cada peça a maquinar. A estratégia definida para tal operação nas peças a maquinar encontra-se ilustrada através da Figura 127. De referir que a ferramenta presente na Figura 127 é meramente ilustrativa, devido à impossibilidade do Powermill® representar uma ferramenta de forma geométrica aproximada à do caçonete que se pretende utilizar.

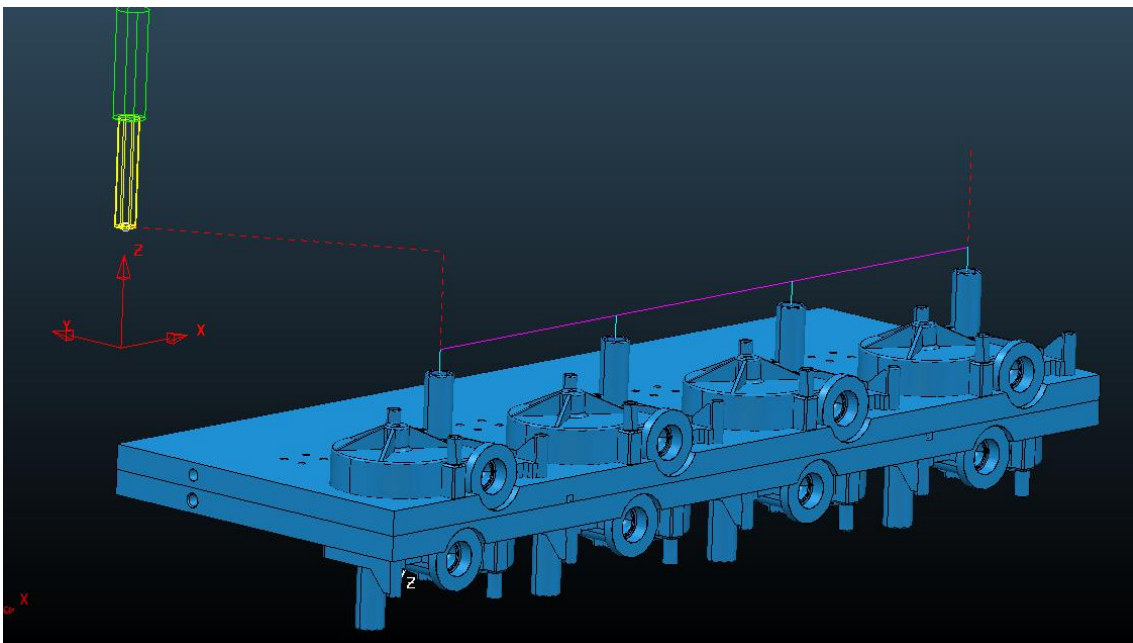


Figura 127 - Segunda operação de roscagem externa

A operação seguinte consiste no desbaste interno com uma broca helicoidal com 12 mm de diâmetro. Esta operação deverá ser efetuada uma única vez por cada peça a maquinar. A

estratégia definida para tal operação nas peças a maquinar encontra-se ilustrada através da Figura 128.

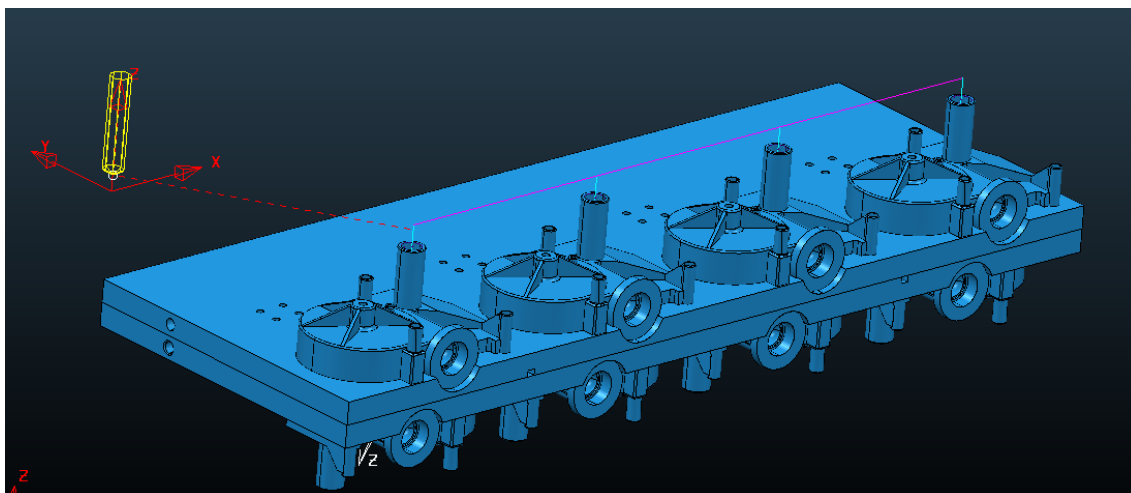


Figura 128 - Segunda operação de desbaste interno

Após esta operação de maquinagem a estratégia de maquinagem termina, sendo apenas necessário proceder à extração das peças maquinadas. De forma a prosseguir com a produção em série, apenas será necessário proceder à colocação de peças a maquinar, quatro por cada gabarito.

Após a descrição da nova estratégia de maquinagem, é perceptível que a utilização da mesa rotativa Haas HRT 210 HS proporciona uma maior flexibilidade ao processo de maquinagem, possibilitando manter os níveis de qualidade desejados.

Pode-se também constatar que irá proporcionar não só um melhor aproveitamento do equipamento CNC, como também uma diminuição do tempo de ciclo (muito devido à ausência de movimentação das peças a maquinar para os diferentes equipamentos).

3.5.4.5. Orçamentação

Após efetuar o projeto do sistema de apoio à maquinagem, é por demais relevante elaborar a respetiva orçamentação do referido projeto. De referir que serão apresentados dois orçamentos em que a diferença existente entre eles, se resume à utilização de uma ferramenta especial (segundo orçamento) que permite a execução de duas operações apenas com uma mudança de ferramenta. Isto possibilita uma poupança de cerca de 7,5 segundos, relativamente ao tempo necessário para troca de ferramentas.

Assim, conforme referido anteriormente, apresentam-se os dois orçamentos possíveis, sendo que:

O orçamento 1 é relativo a:

- Uma mesa rotativa Haas (HRT 210 HS) ilustrado através da Figura 88;
- Componentes do sistema: composto por 4 grampos GOODHAND série 201-B do modelo GH-201-BSS (Figura 105), 3 grampos GOODHAND série 20752-B do modelo GH-20752-B (Figura 107), mesa de trabalho em AISI P20 com oxidação negra, chumaceira Schaeffler do modelo RCJT20-N-FA125 (Figura 99), 6 molas e 6 pinos cónicos (Figura 109) e dois cabos de 21 pinos;
- Rosca interna, Figura 73;
- Ferramenta de desbaste interno, Figura 77;
- Caçonete ilustrado através da Figura 76;
- Ferramenta para calote, Figura 74;
- Ferramenta de furo concêntrico representada através da Figura 75.

Tabela 8 - Orçamento que prevê a utilização de todas as ferramentas atualmente utilizadas

Componentes	Preço
Mesa rotativa Haas (HRT 210 HS)	7.495 €
Componentes do sistema	2.445 €
Ferramenta para rosca interna	35 €
Ferramenta de desbaste interno	20 €
Caçonete M16 x 1	40 €
Ferramenta p/ calote	254 €
Ferramenta de furo concêntrico	170 €
Total	10.459 €

No que toca ao orçamento 2, este é composto por:

- Uma mesa rotativa Haas (HRT 210 HS) ilustrado através da Figura 88;
- Componentes do sistema: composto por 4 grampos GOODHAND série 201-B do modelo GH-201-BSS (Figura 105), 3 grampos GOODHAND série 20752-B do modelo GH-20752-B (Figura 107), mesa de trabalho em AISI P20 com oxidação negra, chumaceira Schaeffler do modelo RCJT20-N-FA125 (Figura 99), 6 molas e 6 pinos cónicos (Figura 109) e dois cabos de 21 pinos;
- Rosca interna, Figura 73;
- Ferramenta de desbaste interno, Figura 77;
- Caçonete ilustrado através da Figura 76;
- Uma ferramenta para calote e furo concêntrico demonstrada através da Figura 129.

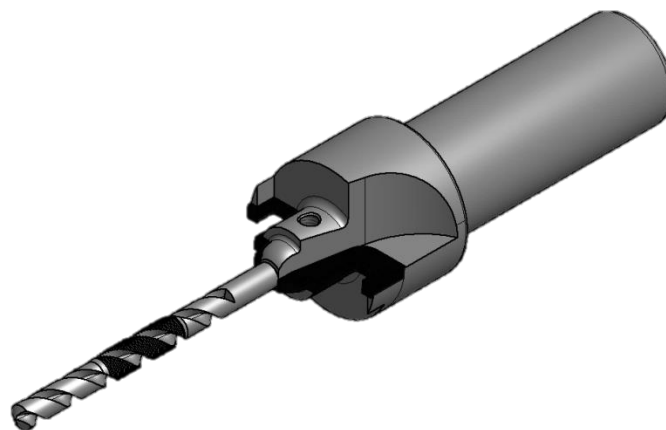


Figura 129 - Vista isométrica da ferramenta para calote e furo concêntrico

Tabela 9 - Orçamento em que se apresenta a possibilidade de aquisição de uma ferramenta especial para desbaste interno e furo concêntrico



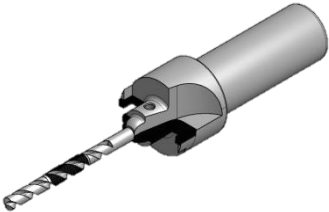

Componentes	Preço
Mesa rotativa Haas (HRT 210 HS)	7.495 €
Componentes do sistema	2.445 €
Ferramenta para rosca interna	35 €
Ferramenta de desbaste interno	20 €
Caçonete M16 x 1	40 €
Ferramenta p/ calote e furo concêntrico	572 €
Total	10.607 €

De forma a sintetizar toda a informação e possibilitar uma melhor compreensão das diferenças existentes, apresenta-se em seguida a Tabela 10 com os dois orçamentos apresentados, onde se observam os componentes necessários para a realização do projeto e respetivo preço.

As figuras apresentadas na Tabela 10 dizem respeito a figuras já apresentadas ao longo do trabalho que estão presentes aqui para facilitar a visualização dos componentes.

Tabela 10 - Tabela comparativa dos orçamentos apresentados

Componente	Orçamento 1	Orçamento 2
Mesa rotativa Haas (HRT 210 HS)		7.495€ 
Componentes do sistema	 	2.445€  
Ferramenta de desbaste interno		35€ 
Ferramenta para rosca interna		20€ 

Caçonete M16 x 1	40€ 	
Ferramenta p/ calote	254€ 	572€ 
Ferramenta de furo concêntrico	170€ 	-
Total	10.459€	10.607€

Como se observa na tabela, o que realmente difere do Orçamento 1 para o Orçamento 2 é a ferramenta para o calote que, no 1º caso necessita de adicionar uma ferramenta de furo concêntrico, e no 2º se trata de apenas uma ferramenta que serve para ambos os propósitos.

3.5.4.6. Estimativa de tempo de produção

Após detalhado todo o projeto, bem como explicadas as diferentes fases da estratégia de maquinagem, será analisada a viabilidade económica do mesmo. Para tal, apresenta-se a Tabela 11 onde se efetua um estudo comparativo dos tempos gastos para um conjunto de 8 peças.

Tabela 11 – Estudo comparativo do tempo de ciclo sem e com o sistema de apoio à maquinagem

Processo atual	Antes	Depois
Operações no equipamento CNC	204 segundos	312 segundos
Operações fora do equipamento CNC	298 segundos	0 segundos
Total	502 segundos	312 segundos

Assim, com o objetivo de demonstrar as melhorias possíveis, torna-se relevante referir que o sistema aqui apresentado proporciona um tempo de ciclo para 8 peças de cerca de 312 segundos, traduzindo-se numa produção, ao fim de 8 horas de trabalho, de cerca de 738 peças. Posto isto, através deste sistema é possível obter uma redução do tempo de ciclo de cerca de 38% (1- (312 s /502 s)) comparativamente com o tempo de ciclo atual, o que, após 8 horas laborais se traduzirá num aumento de produção a rondar os 61% (1-(738 pçs /459 pçs)).

Desta forma, com o sistema de apoio à maquinagem, consegue-se poupar, por cada ciclo de produção de 8 peças, cerca de 298 segundos, o que significa que, por hora, esta diferença se irá traduzir numa poupança de cerca 2086 segundos. Assim, a implementação deste sistema de apoio à maquinagem garante uma poupança ao nível de mão-de-obra de cerca de 59% (298 s /502 s).

No que diz respeito ao tempo de *setup* do projeto em análise, demorar-se-á cerca de 4 minutos a colocar os gabaritos aptos a proporcionar o perfeito posicionamento das peças a maquinar, tudo devido ao facto de se usar grampos para efetuar a correta fixação dos gabaritos na mesa rotativa. Isto irá proporcionar um posicionamento mais rápido e mais fácil.

Por fim, é de referir que a redução ao nível do tempo de ciclo, não influencia negativamente o nível de qualidade já existente no produto. Esta redução deve-se ao desenvolvimento de gabaritos capazes de proporcionar o posicionamento ótimo das peças a maquinar, sem margem de erro. Estes possuem 4 cavidades, de forma a ser possível colocar as peças apenas numa única posição. Ao nível da precisão da mesa rotativa, uma das características do Haas HRT 210 HS é exatamente a precisão de posicionamento angular a rondar os 0,00417°, o que se considerou ser perfeitamente adequada à realidade do setor automóvel e, por conseguinte, da empresa em estudo.

Conseguiu-se, então, elaborar um sistema de apoio à maquinagem capaz de se adaptar com facilidade às diferentes geometrias das peças que constam na análise ABC. Para isso, teve-se sempre em mente este ponto, pois fora também um dos requisitos solicitados pela empresa. Desta forma, elaborou-se um sistema de apoio à maquinagem capaz de proporcionar um tempo de *setup* mais reduzido (ao nível de troca de gabaritos), possibilitando efetuar as mesmas operações em peças díspares com dimensões máximas de 500 x 150 mm².

4. Conclusões

Este trabalho permitiu o projeto de um sistema de apoio à maquinagem flexível e capaz, facilmente adaptável a outras referências a maquinar, tal como solicitado nos requisitos inicialmente propostos.

Assim, com o objetivo de provar os progressos conseguidos, apresenta-se o gráfico seguinte, através do qual é possível efetuar uma melhor análise comparativa entre os dois processos.

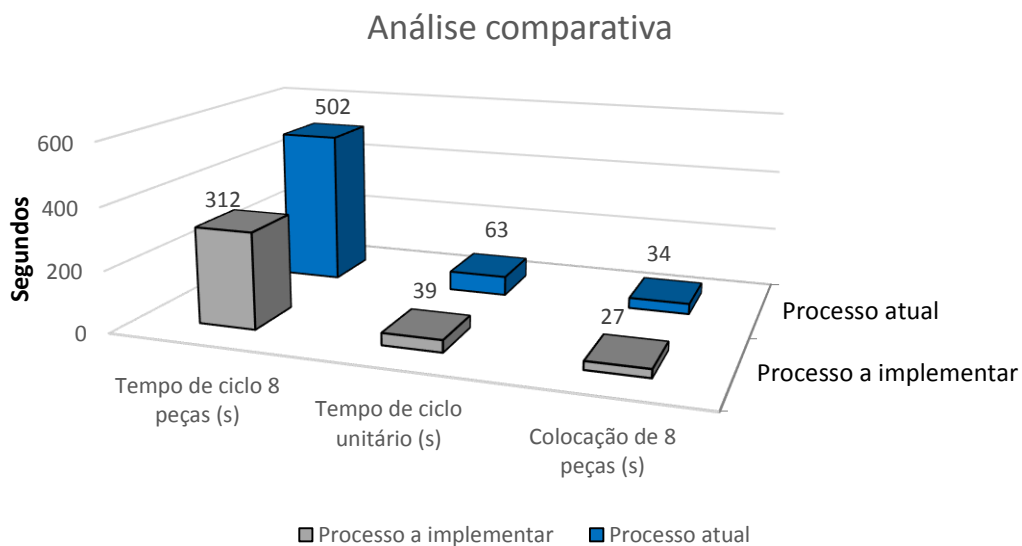


Gráfico 2 - Análise comparativa entre o processo atual e o processo a implementar

Através da implementação deste projeto, ser-se-á capaz de, em 60 minutos de produção, obter uma poupança ao nível de utilização de recursos humanos de cerca 34 minutos (aproximadamente 57%), possibilitando assim a sua alocação a outras operações que criem valor acrescentado para a empresa.

O gráfico a seguir apresentado pretende demonstrar o impacto a nível de tempos de produção que o novo processo poderá ter numa hora de trabalho.

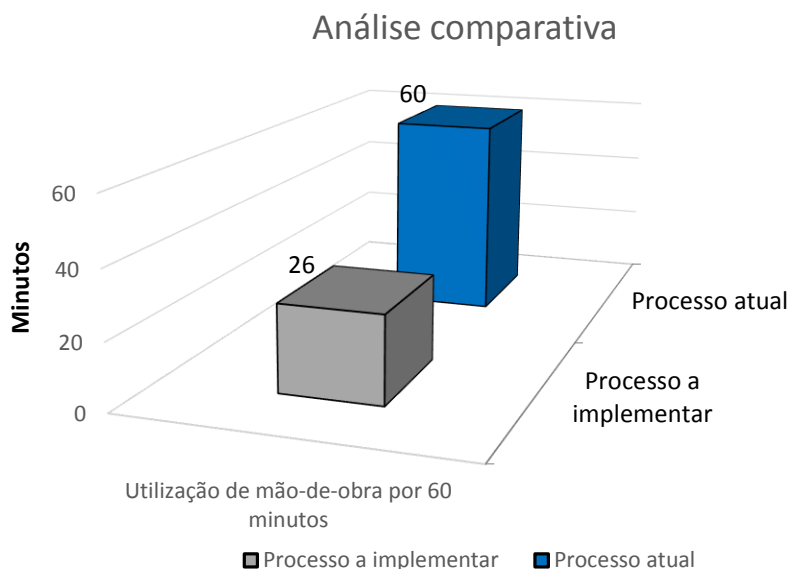


Gráfico 3 - Análise comparativa entre o processo atual e o processo a implementar

Levando estes dados em consideração, torna-se fulcral efetuar uma análise de *payback*, de forma a se poder analisar a viabilidade de implementação. Desta forma, e após elaborado um orçamento de todo o projeto (ver Tabela 12), chega-se à conclusão que o sistema em estudo necessita de um investimento a rondar os 10.459 €. Como tal, mediante a poupança horária em termos de mão-de-obra, e tendo por base os custos mensais que um trabalhador representa para a organização (cerca de 900 €), comprova-se que em menos de dois anos se consegue recuperar todo esse investimento.

Tabela 12 - Total relativo aos orçamentos apresentados

Orçamento 1		Orçamento 2
✓	10.459€	10.607€

O sistema de apoio à maquinagem em estudo constitui, portanto, o ponto de partida para um caminho a percorrer, no que diz respeito à otimização da taxa de ocupação do equipamento disponível nas instalações da empresa que albergou este projeto.

Este projeto trará, então:

- Flexibilidade de maquinagem em toda a família de peças, já que qualquer referência poderá ser maquinada neste sistema, bastando substituir o gabarito;

- A qualidade da peça não estará sujeita ao erro humano;
- Os recursos humanos necessários serão amplamente reduzidos;
- O tempo de *setup* e de operação será menor;
- A manutenção do sistema será facilitada, na medida em que se trata de um sistema fiável e de fácil reparação;
- Permite um retorno rápido do investimento.

5. Bibliografia e Outras Fontes de Informação

Bibliografia

- [1] Holweg, M., Greenwood, A., "Product variety, life cycles and rates of innovation: trends in the UK automotive industry," em *World Automotive Manufacturing*, April, 2001, pp. 12 - 16.
- [2] Carvalho, E., "Globalização e estratégias competitivas na indústria automobilística: uma abordagem a partir das principais montadoras instaladas no Brasil," *Scielo*, vol. 12/1, 2005.
- [3] Midler, C., "Innovation Based Competition in Auto Industry: New Challenges for design Organization and Co-Innovation Processes," *IMVP-MMRC Conference*, Hosei University, Tokyo, 2005.
- [4] Schleich, H., Schaffer, J., Scavarda L., "Managing Complexity in Automotive Production," *19th International Conference on Production Research*, 2007.
- [5] Koren, Y., Heisel, U., Jovane, F., Moriwaki, T., Pritschow, G., Ulsoy, G., Van Brussel, H., "Reconfigurable Manufacturing Systems," *Annals of the CIRP*, vol. 48/2, pp. 527-540, 1999.
- [6] Ribeiro, L., Barata, J., "Re-thinking diagnosis for future automation systems: an analysis of current diagnostic practices and their applicability in emerging IT based production paradigms" *Computers in industry*, vol. 62/7, pp. 639-659, 2011.
- [7] Stecke, E., "Design, planning, scheduling, and control problems of flexible manufacturing systems," *Annals of Operations Research*, vol. 3/1, p. 1-12, 1985.
- [8] He Y., Smith M., Dudek R., "Robotic material handler scheduling in flexible manufacturing systems," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 26, nº 6, p. 671-676, 2010.
- [9] Pritschow, G., Altintas, Y., Jovane, F., Koren, Y., Mitsubishi, M., Takata, S., Van Brussel, H., Weck, M., Yamazaki, K., "Open Controller Architecture – Past, Present and Future," *Annals of the CIRP - Manufacturing Technology*, vol. 50, nº 2, pp. 463-470, 2001.
- [10] Carpanzano, E., Ballarino, A., "A Structured Approach to the Design and Simulation-based Testing of Factory Automation Systems," *Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, vol. 1, pp. 181 - 186, 2002.
- [11] Carpanzano, E., Jovane, F., "Advanced Automation Solutions for Future Adaptive Factories," *Annals of CIRP*, vol. 56/1, pp. 435-438, 2007.
- [12] Chakravarty AK, Balakrishnan N, "Achieving product variety through optimal choice of module variations," *IIE Transactions*, vol. 33, nº 7, pp. 587-598, 2001.
- [13] Klapper, D., "An econometric analysis of product variety impact on competitive market conduct in consumer goods markets," *OR Spectrum*, vol. 27, nº 4, pp. 583-601, 2005.
- [14] Benjaafar S., Kim J., Vishwanadham N., "On the effect of product variety in production-inventory systems," *Annals Operations Research*, vol. 126, nº 1-4, pp. 71-101, 2004.
- [15] Kanh, B., "Dynamic relationship with customers: high-variety strategies,"

- Journal of the Academy of Marketing Science*, vol. 26, nº 1, pp. 45-53, 1998.
- [16] K, Lancaster, "The economics of product variety: a survey," *Market Sci*, 1990.
- [17] Chryssolouris G, Papakostas N, Mavrikios D, "A Perspective on Manufacturing Strategy: Produce More with Less," *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2008.
- [18] J. Paralikas, A. Fysikopoulos, J. Pandremenos, G. Chryssolouris, "Product modularity and assembly systems: An automotive case study," *CIRP Journal of Manufacturing Technology*, 2011.
- [19] Silva, P. M. S. Nunes and F. J. G., "Increasing Flexibility and Productivity in Small Assembly Operations: A Case Study," *Springer Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 2013.
- [20] Kumar R, Garg RK, "Optimal selection of robots by using distance based approach method.," *Robotics and computer-Integrated Manufacturing*, 2010.
- [21] Shivanand HK, Benal MM, Koti V., "Flexible manufacturing systems," *New age International Publishers*, 2006.
- [22] Haas, "Haas," 21 09 2014. [Online]. Available: http://int.haascnc.com/we_spec1.asp?intLanguageCode=1046&id=HRT210&sizeID=210MM_ROTARY.
- [23] M. Ford, "The Lights in the tunnel," United States of America, Acculant Publishing, 2009, pp. 131 - 140.
- [24] A. M. Group, "Alabama Media Group," [Online]. Available: http://blog.al.com/businessnews/2009/01/mercedes_resumes_production_in.html. [Acedido em 22 12 2014].
- [25] M. Rumors, "Mac Rumors," [Online]. Available: <http://forums.macrumors.com/showthread.php?t=1135520&page=3>. [Acedido em 22 12 2014].
- [26] M. Amir, "Economicsguide.net," 04 2010. [Online]. Available: <http://www.economicsguide.net/mv/tutorials/the-private-firm-as-producer-and-employer/labour-intensive-and-capital-intensive-production/>. [Acedido em 22 12 2014].
- [27] M. S. Yoram Koren, "Design of reconfigurable manufacturing systems," *Journal of Manufacturing Systems*, 2011.
- [28] P. Thomas R. Kurfess Ph.D., *Robotics and automation handbook*, U.S.A.: CRC Press, 2005.
- [29] K. K. A.-L. H. B. P. R. Imad Chalfoun, "Proposal for a Generic Model Dedicated to Reconfigurable and Agile," *ELSEVIER*, 2013.
- [30] A. I. Dashchenko, *Reconfigurable Manufacturing Systems and Transformable Factories.*, Netherlands: Springer, 2006.
- [31] S. Y. T. L. W. S. & L. W. Z. M. Bi, "Reconfigurable manufacturing systems:," *International Journal of Production Research*, pp. 46:4, 967-992, 2008.
- [32] Y. Koren, "The Global Manufacturing Revolution - Product-Process-Business Integration and Reconfigurable Systems," *John Wiley & Sons*, 2010.
- [33] C. D.-. Gatelmand, "A survey of flexible manufacturing systems," *Journal of Manufacturing Systems*, pp. 1-16, 1981.
- [34] T. R. A. A. V. Malhotra, "Excellent Techniques of Manufacturing Systems: RMS and FMS," *International Journal of Engineering Science and Tecnoogy*, pp. 137-142, 2010.
- [35] S. Coromant, *Manual Técnico de Usinagem*, 2005.
- [36] A. R. Costa, "Otimização do processo de fresamento de cavidades com fresas de insertos intercambiáveis," *Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)* -

Faculdade de Engenharia Mecânica - UNICAMP, Campinas, 2003.

- [37] A. E. D. e. al., Tecnologia da usinagem dos materiais, São Paulo: Artliber Editora, 2001.
- [38] "EBAH," 2013. [Online]. Available: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAMQAAE/processos-fabricacao-usinagem>. [Acedido em 27 08 2014].
- [39] H. Tschätsch, "Applied Machining Technology," New York, Springer, 2009, pp. 51- 96.
- [40] Hurco. [Online]. Available: <http://www.hurco.com/en-us/cnc-machine-tools/turning-centers/mill-turn/Pages/tmx.aspx>. [Acedido em 20 11 2014].
- [41] Wikipedia, "Wikipedia," [Online]. Available: <http://es.wikipedia.org/wiki/Torno>. [Acedido em 2014 06 27].
- [42] B. Legal, "Blog Legal," [Online]. Available: <http://www.bloglegal.net/wp-content/uploads/2011/02/torno-cnc-e-convencional-nd-325.jpg>. [Acedido em 2014 06 27].
- [43] M. Logismarket, "Mecalux Logismarket," [Online]. Available: <http://www.logismarket.com.ar/molinari/tornos-cnc/1889644144-1449276919-p.html>. [Acedido em 2014 07 15].
- [44] H. top, "Herramientas top," [Online]. Available: <http://herramientastop.blogspot.pt/2012/11/fresadora-horizontal.html>. [Acedido em 2014 09 06].
- [45] Heller, "Heller," [Online]. Available: <http://www.hellermquinaria.com/convencional/fresadoras.html>. [Acedido em 2014 08 06].
- [46] C. A. Técnica, "Camargo Assistência Técnica," [Online]. Available: <http://www.catcnc.com.br/galeria.htm>. [Acedido em 2014 08 09].
- [47] S. t. company. [Online]. Available: <http://www.sgstool.com/category/156-2-flute-drills.aspx>. [Acedido em 15 01 2015].
- [48] M. Borges, "MM Borges," [Online]. Available: <http://mmborges.com/processos/USINAGEM/FURACAO.htm>. [Acedido em 2014 07 11].
- [49] M. B. Panchal, "POWERMATIC," 1986. [Online]. Available: <http://www.tapping-slottingmachines.com/HighSpeedDrillingMachine.html>. [Acedido em 13 09 2014].
- [50] L. C. T. Corp., "Likest Cisfun Technology Corp.," [Online]. Available: <http://www.likest.com/cnc-nc-pipe-tube-drilling-machine/index.htm>. [Acedido em 03 07 2014].
- [51] EC21.com, "EC21.com," [Online]. Available: http://archilles.en.ec21.com/PCB_Drilling_Machine--1341296_1341350.html. [Acedido em 02 08 2014].
- [52] M. materials, "Mitsubishi materials," [Online]. Available: http://www.mitsubishicarbide.net/contents/mht/pt/html/product/technical_information/information/formula3.html. [Acedido em 11 09 2014].
- [53] T. M. tools. [Online]. Available: http://es.machinetools.net.tw/Grinder/taiwan_precision_surface_grinder.htm. [Acedido em 25 01 2014].
- [54] V. Chiaverini, "Tecnologia Mecânica," São Paulo, MCGraw-Hill, 1986, pp. 221 - 227.
- [55] Famasa. [Online]. Available: <http://www.famasa.com/product.php?id=2427>. [Acedido em 17 03 2014].
- [56] Mello. [Online]. Available: <http://www.mellfaber.com.br/Produto/ProdutoDetalhe/21>. [Acedido em 07 01 2015].
- [57] B. negócio. [Online]. Available: <http://sc.bomnegocio.com/norte-de-santa-catarina/industria-comercio-e-agro>. [Acedido em 05 09 2014].
- [58] M. Livre. [Online]. Available: http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-578750994-retifica-centerless-_JM. [Acedido em 02 01 2015].
- [59] C. V. Macedo, *Artist, Análise da influência dos parâmetros de retificação cilíndrica na rugosidade média (Ra) da luva externa para Cardan. [Art]. Universidade*

Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

- [60] I. SANTOS, Artist, *Análise dos parâmetros de entrada na Electroerosão de penetração da liga de Titânio TI-6AL-4V. [Art]. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2010.*
- [61] E. Machining, "EDM Machining," [Online]. Available: http://www.edmmachining.com/wire_edm.htm. [Acedido em 15 09 2014].
- [62] H. Geng, "Manufacturing Engineering Handbook," California, McGraw-Hill, 2004, pp. 37.1 - 37.12.
- [63] Usiletro. [Online]. Available: http://usiletro.com.br/?page_id=114. [Acedido em 15 01 2015].
- [64] CIMM. [Online]. Available: http://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir_noticia/12212-bener-estara-na-mercopar-com-eletoerosao-a-fio-e-centros-de-usinagem. [Acedido em 15 01 2015].
- [65] E. B. Guitrau, EDM Handbook, Cincinnati: Hanser Gardner Publications, 1997.
- [66] Essel, "Essel," 23 07 2014. [Online]. Available: <http://www.essel.com.br/cursos/material/01/ProcessosFabricacao/69proc.pdf>. [Acedido em 17 09 2014].
- [67] A. H. Committee, ASM Handbook Machining, United States of America: ASM International, 1989.
- [68] H. Group, Garant Manual Machining, Germany: Garant, 2008.
- [69] Alibaba.com. [Online]. Available: http://www.alibaba.com/product-detail/Cutting-tools-HSS-Annular-hole-cutter_349959631.html. [Acedido em 16 01 2015].
- [70] W. I. Ltd.. [Online]. Available: http://www.witeam.com.hk/products/Cemented_Carbide/. [Acedido em 10 01 2015].
- [71] N. C. tools. [Online]. Available: http://www.ntkcuttingtools.com/product/cera_black.html. [Acedido em 16 01 2015].
- [72] T. Net.com. [Online]. Available: <http://news.thomasnet.com/fullstory/CBN-Insert-handles-hard-part-turning-516291>. [Acedido em 16 01 2015].
- [73] T. Childs, K. Maekawa, T. Obikawa e Y. Yamane, Metal Machining - Theory and applications, New York: Arnold, 2000.
- [74] H. PIERSON, Handbook of Chemical Vapor Deposition (CVD) - Principles, Technology and Applications 2° Ed, William Andrew Publishing/Noyes, 1999.
- [75] D. M. Mattox, Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing: Film Formation, Adhesion, Surface Preparation and Contamination Control, United States of America: Westwood, N.J.: Noyes Publications, 1998.
- [76] D. J. Grieve, "School of Marine Science and Engineering (SMSE)," 11 08 2014. [Online]. Available: <http://www.tech.plym.ac.uk/sme/mfmt201/cuttingtoolmats.htm>.
- [77] F. Silva, Acetatos maquinagem, Porto: ISEP, 2012.
- [78] K. C. Arabe, "ThomasNet.com," 30 12 2014. [Online]. Available: http://news.thomasnet.com/imt/2001/02/23/cadcam_past_pre.
- [79] Renishaw, "Renishaw," 30 12 2014. [Online]. Available: <http://www.renishaw.com.br/pt/apalpadores-de-maquinas-ferramentas-para-preparacao-e-inspecao-de-pecas--6075>.
- [80] Renishaw, "Renishaw," 30 12 2014. [Online]. Available: <http://mtpselector.renishaw.net/pt/preferido--15375>.
- [81] C. -. C. d. I. M. Mecânica, "CIMM," 30 12 2014. [Online]. Available: http://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir_noticia/5431-renishaw-lanca-sistema-revolucionario.

- [82] B.-N. GmbH, "Blum Novotest," 30 12 2014. [Online]. Available: <http://www.blum-novotest.de/measuring-components/products/laser-tool-setting.html>.
- [83] O. A. Corporation, "Okuma The Americas," 31 12 2014. [Online]. Available: <http://www.okuma.com/bridging-the-skills-gap-%E2%80%93-part-7-workpiece-probing-and-tool-setting>.
- [84] Haas, 14 01 2015. [Online]. Available: http://int.haascnc.com/we_spec1.asp?intLanguageCode=1046&id=TR210&sizeID=210MM_ROTARY.
- [85] I. Toellner Systems, "Toellner Systems, Inc," 30 12 2014. [Online]. Available: <http://toellner.com/productsapplications/finished-parts-unloading/>.
- [86] S. S. M. Tools, "Syracuse Supply," 31 12 2014. [Online]. Available: <http://www.syracuse-supply.com/fmb-turbo-5-55-6-bar-feeder.html>.
- [87] Goodway, 31 12 2014. [Online]. Available: http://goodwaycnc.com/exhtml_goodway/goodway_en/automation/turning/bar_feeders/index.htm.
- [88] Haas, "Youtube," 12 01 2015. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=QjFdLMNJGkk>.
- [89] Haas, "Haas," 12 01 2015. [Online]. Available: http://int.haascnc.com/mt_spec1.asp?intLanguageCode=1046&id=DS-30&webID=DUAL_SPINDLE_LATHE&CatID=Caracter%EDsticas%20Padr%E3o&options=true#explore.
- [90] Wikipédia, 13 01 2015. [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Jig_%28tool%29.
- [91] Flickriver, 13 01 2015. [Online]. Available: <http://www.flickriver.com/places/United+Kingdom/Wales/Palmerstown/>
- [92] Leech Industries Inc., 13 01 2015. [Online]. Available: <http://www.leechind.com/jiggrinding.htm>.
- [93] Hexagon metrology, 13 01 2015. [Online]. Available: <https://store.hexagonmetrology.us/r-r-fixture-cast-aluminum-base-plate-75-x-24-x-x-24-y>.
- [94] Fixture up, 13 01 2015. [Online]. Available: http://leaninspection.com/inspection-arsenal-shop/aluminum_plates/comparator-fixture-plate-5-x-14/.
- [95] A. M. LLC, 13 01 2015. [Online]. Available: <http://www.arthurmachinery.com/manufacturers/earth-chain-magnetic-products.html#prettyPhoto>.
- [96] C. s. plate, 13 01 2015. [Online]. Available: http://www.customsteelplate.com/Jigs_Fixtures_Templates/Workholding_Magnets.htm.
- [97] Earth-Chain, 13 01 2015. [Online]. Available: <http://www.earth-chain.com/EEPM-magnetic-workholding.htm>.
- [98] I. tool, "IZAR tool," [Online]. Available: <http://www.izartool.com/en/catalogues/izar-professional-en/metal-en/3116/3279/35725-detail>. [Acedido em 24 02 2015].
- [99] ebay. [Online]. Available: http://www.ebay.it/itm/Filiera-M20x2-5-HSS-RUKO-Germany-passo-grosso-/360287822332?pt=Utensili_manuali&hash=item53e2d3e1fc&_uhb=1. [Acedido em 12 01 2015].
- [100] Hardinge. [Online]. Available: <http://www.usedequip.com/machpdf/017735/59604.pdf>. [Acedido em 25 10 2015].
- [101] e. tool. [Online]. Available: <http://www.emachinetool.com/pre-owned-machines/>

cnc-machines/cnc-vertical-machining-centervmc/
hardinge-vmc-600-vertical-machining. [Acedido em 24 10 2014].

- [102] M. t. online. [Online]. Available: <http://www.machinetoolsonline.com/doc/westec2000-hardinge-extends-its-vmc-line-with-0001>. [Acedido em 12 11 2015].
- [103] B. Joan, "Difference between," 29 12 2014. [Online]. Available: <http://www.differencebetween.net/technology/industrial/difference-between-pvd-and-cvd/>.
- [104] H. M. JONES A.C., Chemical Vapour Deposition: Precursors, Process and Applications, United States of America: Royal Society of chemistry, 2009.

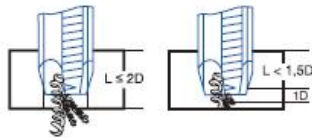
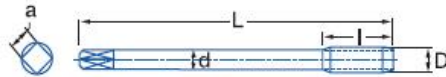
Anexos

Anexo 1

Ref. **3200** **MACHO RECTO MÁQUINA MÉTRICA**
 Metric Machine Straight Tap
 Taraud Droit Machine Métrique



HSS 5%Co	Métrica	DIN 376	B 3,5-5h	GUN	Tol. 6H	α 10-12°	
-------------	---------	------------	-------------	-----	------------	--------------------	--



Material		Vc
Grupo	Sub.	5% Co
1	1.1	6-10
5	5.1	5-8
6	6.1	15-35
	6.2	14-20

Vc= m/min.

M	p	L mm	l mm	d mm	ϕ mm	Z	Nº Art. 5% Co	€
M3	0,50	56	11	2,20			70090	9,04
M4	0,70	63	13	2,80	2,10	3	70092	9,14
M5	0,80	70	16	3,50	2,70	3	70093	9,14
M6	1,00	80	19	4,50	3,40	3	70095	10,05
M7	1,00	80	19	5,50	4,30	3	70224	15,95
M8	1,25	90	22	6,00	4,90	3	70096	11,29
M10	1,50	100	24	7,00	4,50	3	70098	13,89
M11	1,50	100	24	8,00	6,20	3	70225	26,80
M12	1,75	110	29	9,00	7,00	3	70183	17,11
M14	2,00	110	30	11,00	9,00	3	70185	27,46
M16	2,00	110	32	12,00	9,00	3	70186	32,31
M18	2,50	125	34	14,00	11,00	3	75215	45,77
M20	2,50	140	34	16,00	12,00	3	70189	49,48
M22	2,50	140	34	18,00	14,50	3	70212	59,85
M24	3,00	160	38	18,00	14,50	4	70213	71,16
M27	3,00	160	38	20,00	16,00	4	70215	89,18
M30	3,50	180	45	22,00	18,00	4	70216	114,58
M33	3,50	180	50	25,00	20,00	4	70218	144,12
M36	4,00	200	56	28,00	22,00	4	70219	176,08



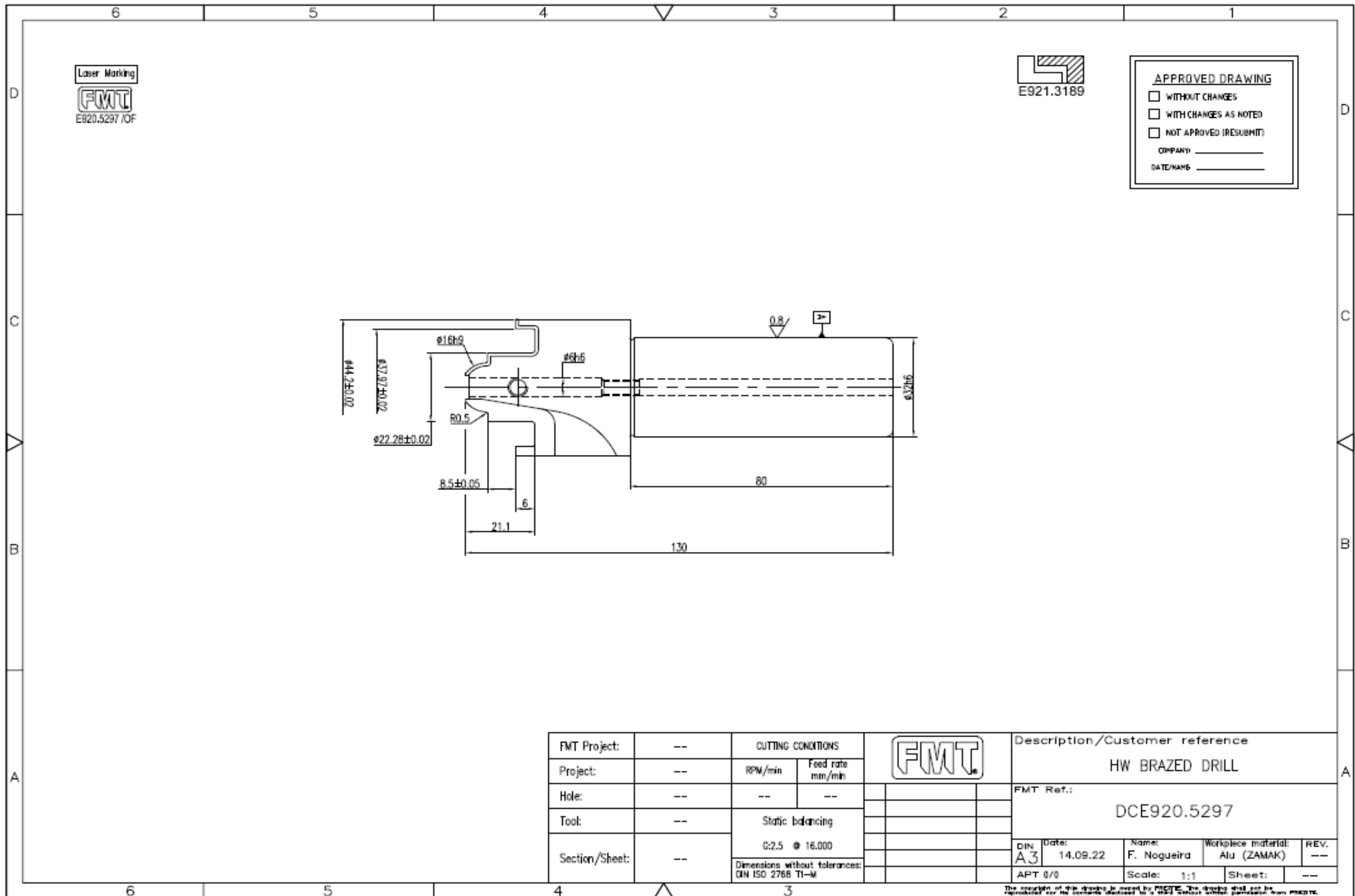
Cont. 25 pcs

Nº Art.
5% Co

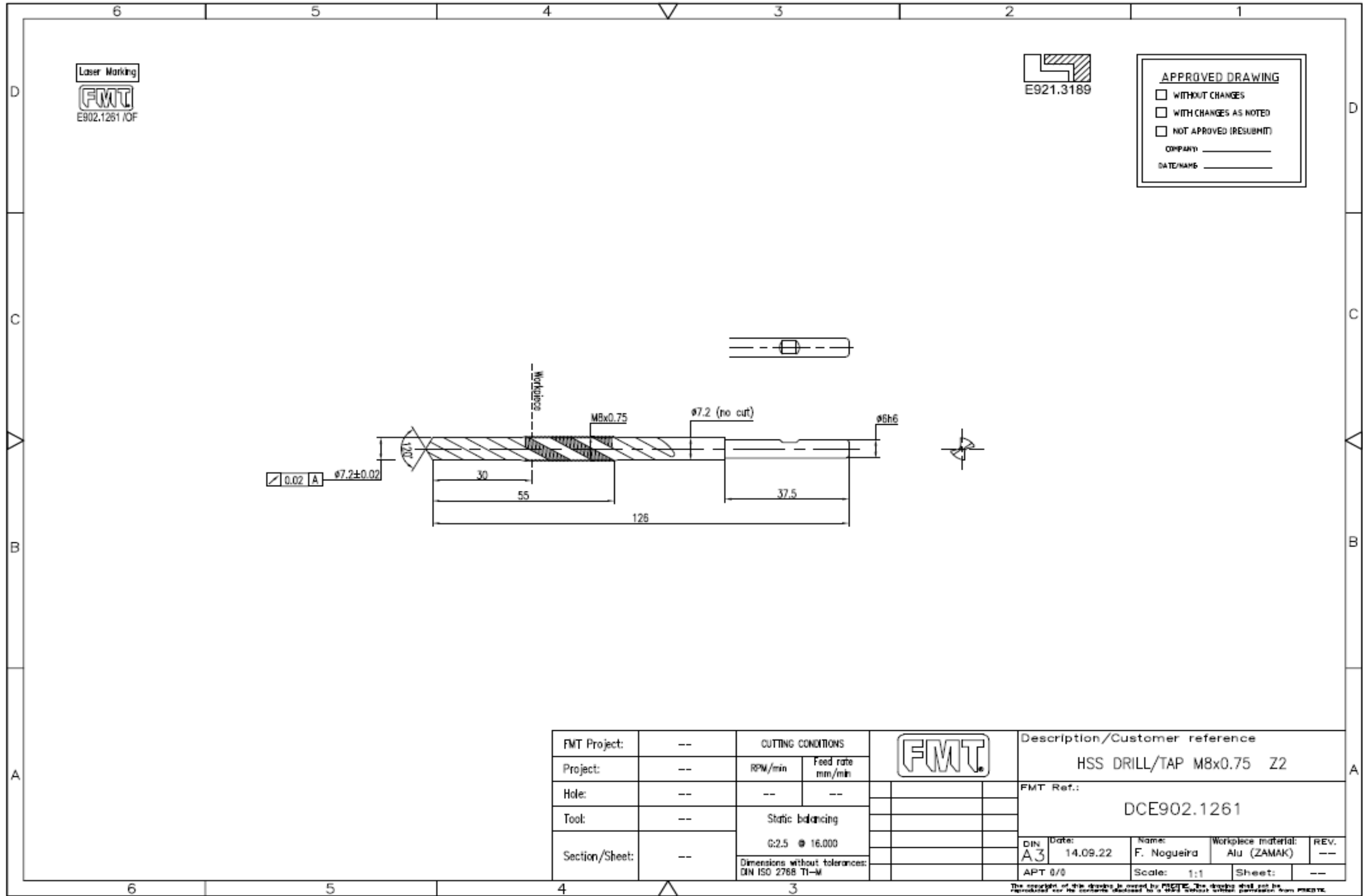
€

Machos / Taps / Tarauds
 DIN 376: M4-M5-M6-M8-M10 39000 267,55
 (5 pcs x M)

Anexo 2



Anexo 3

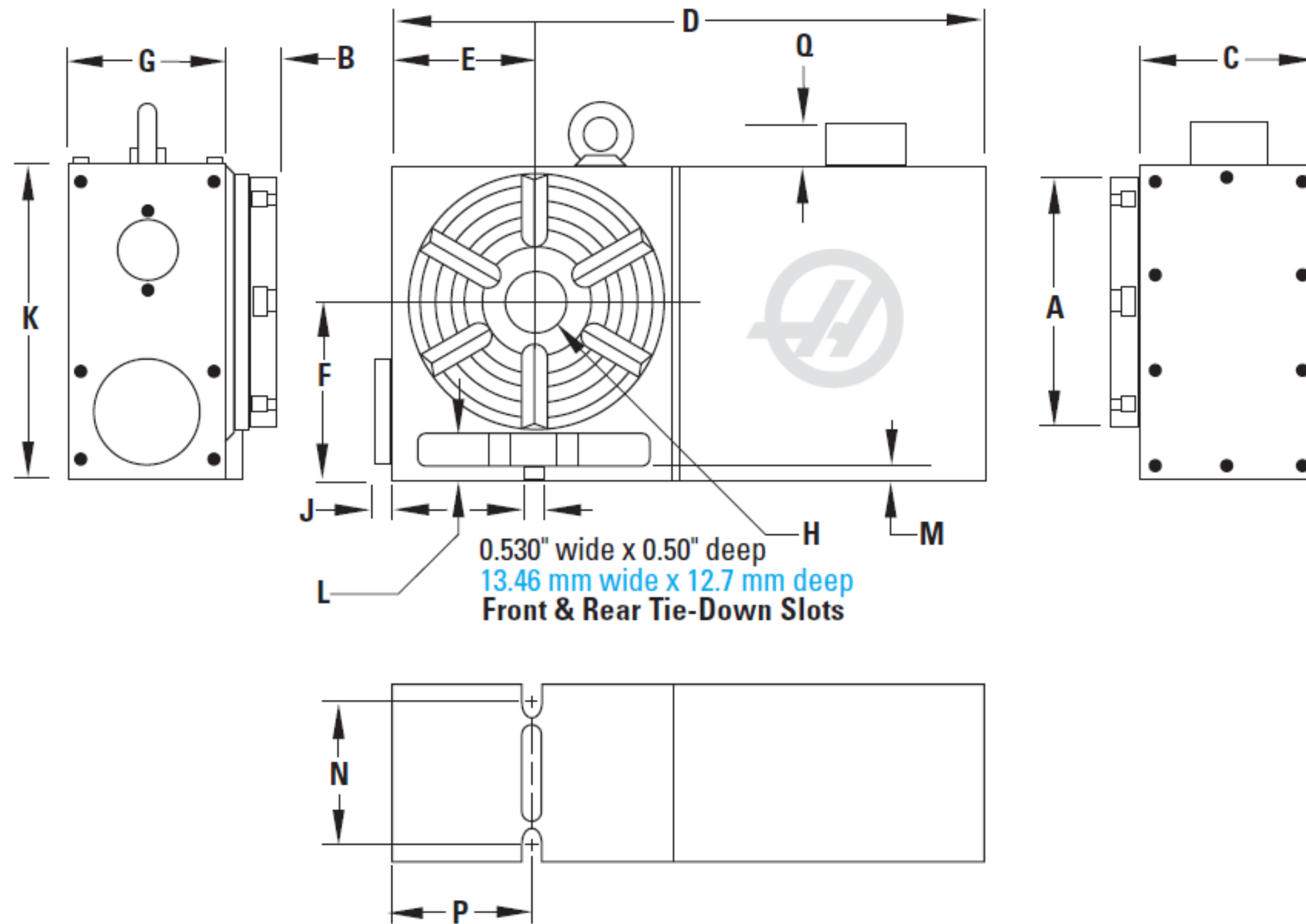


Anexo 4

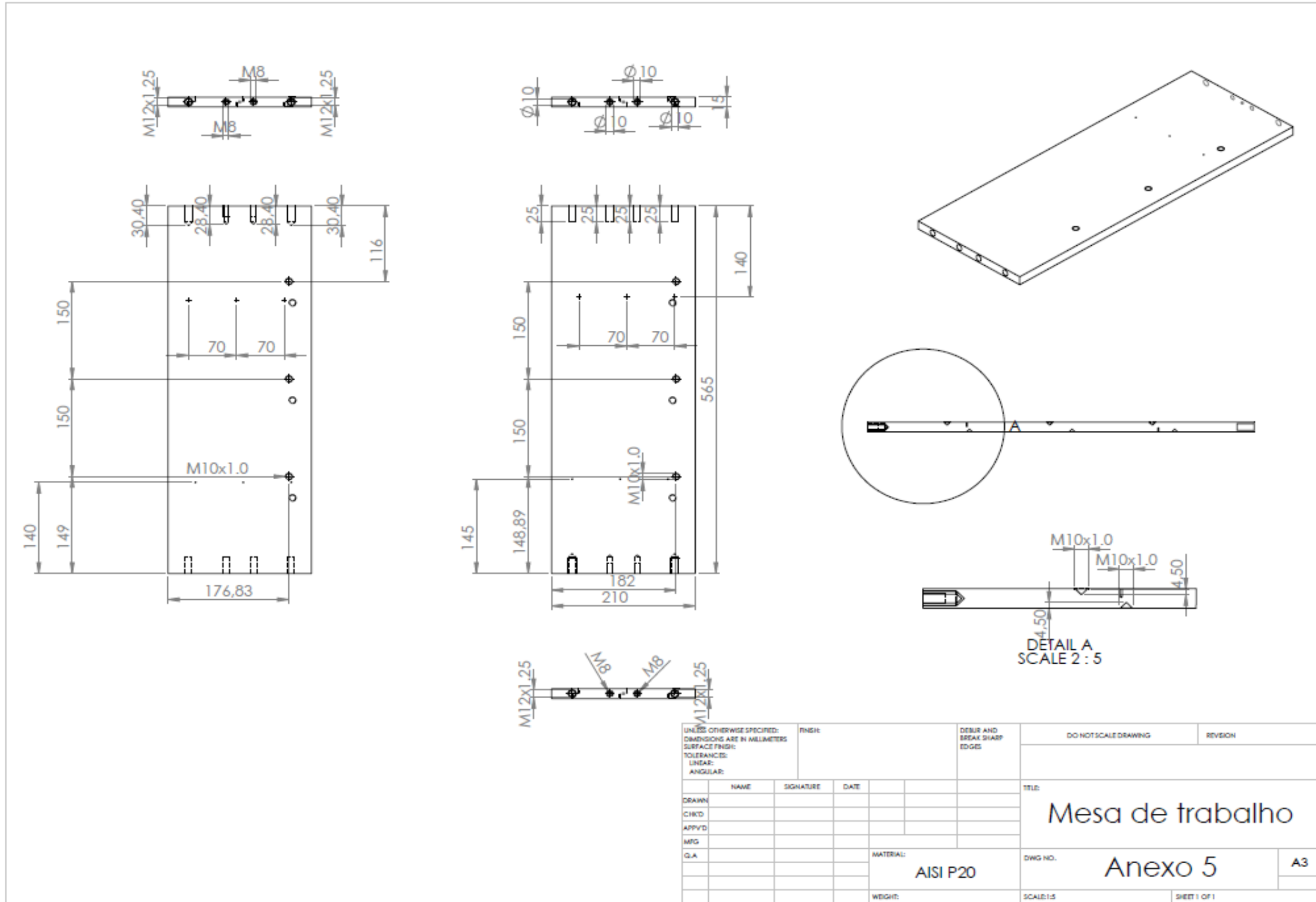
HRT 210HS Specifications and Dimensions

DIMENSIONS (Inches Millimeters)

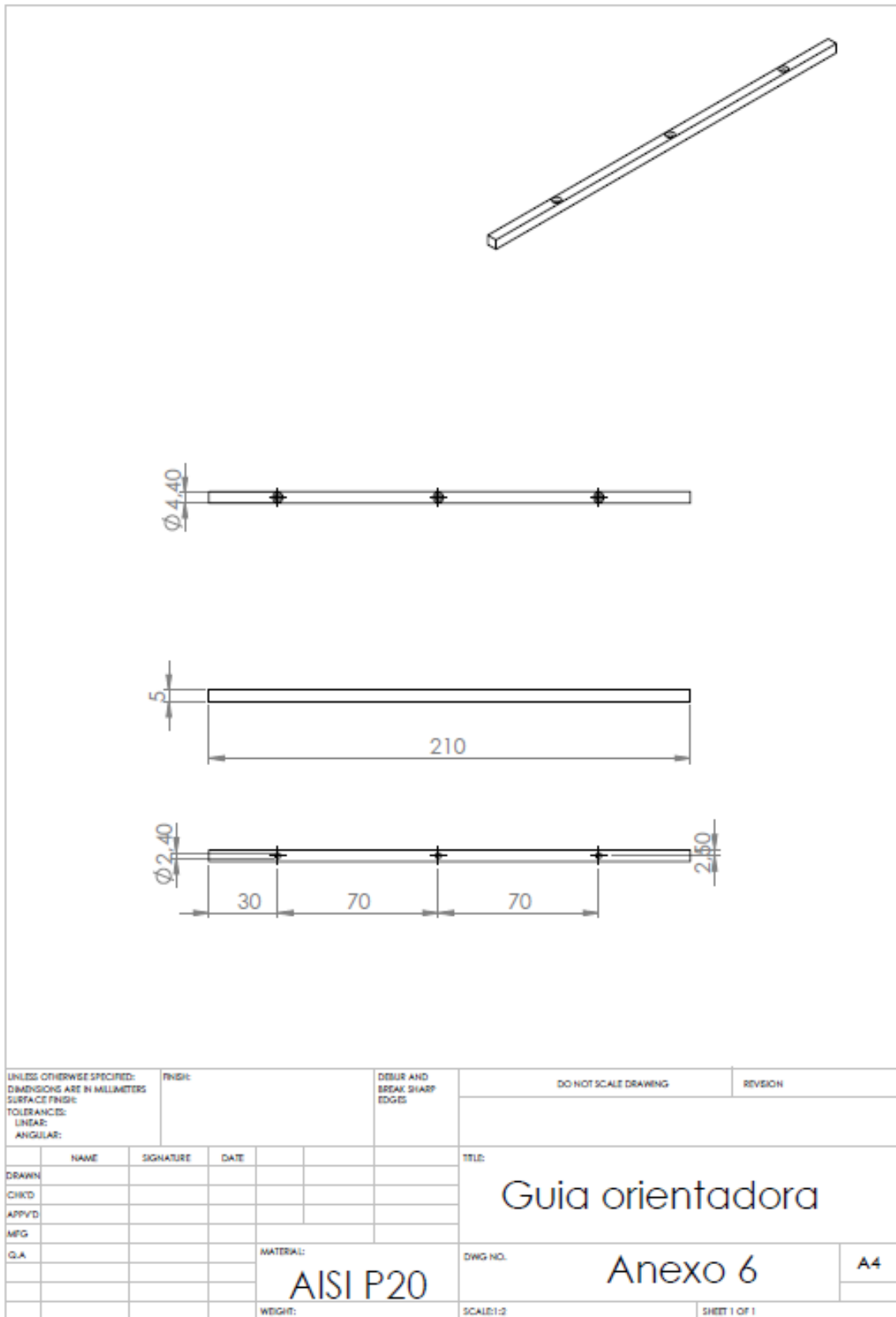
A	8.3 210
B	1.75 44.5
C	5.84 148.3
D	17.80 452.1
E	4.63 117.6
F	6.000 152.40 ±0.001 ±0.03
G	5.250 133.35
H ∅	2.0000 50.800 +0.0005, -0 +0.013, -0
J	0.63 16.0
K	10.64 270.3
L	1.50 38.1
M	0.63 16.0
N	4.25 108.0
P	4.50 114.3
Q	1.75 44.5



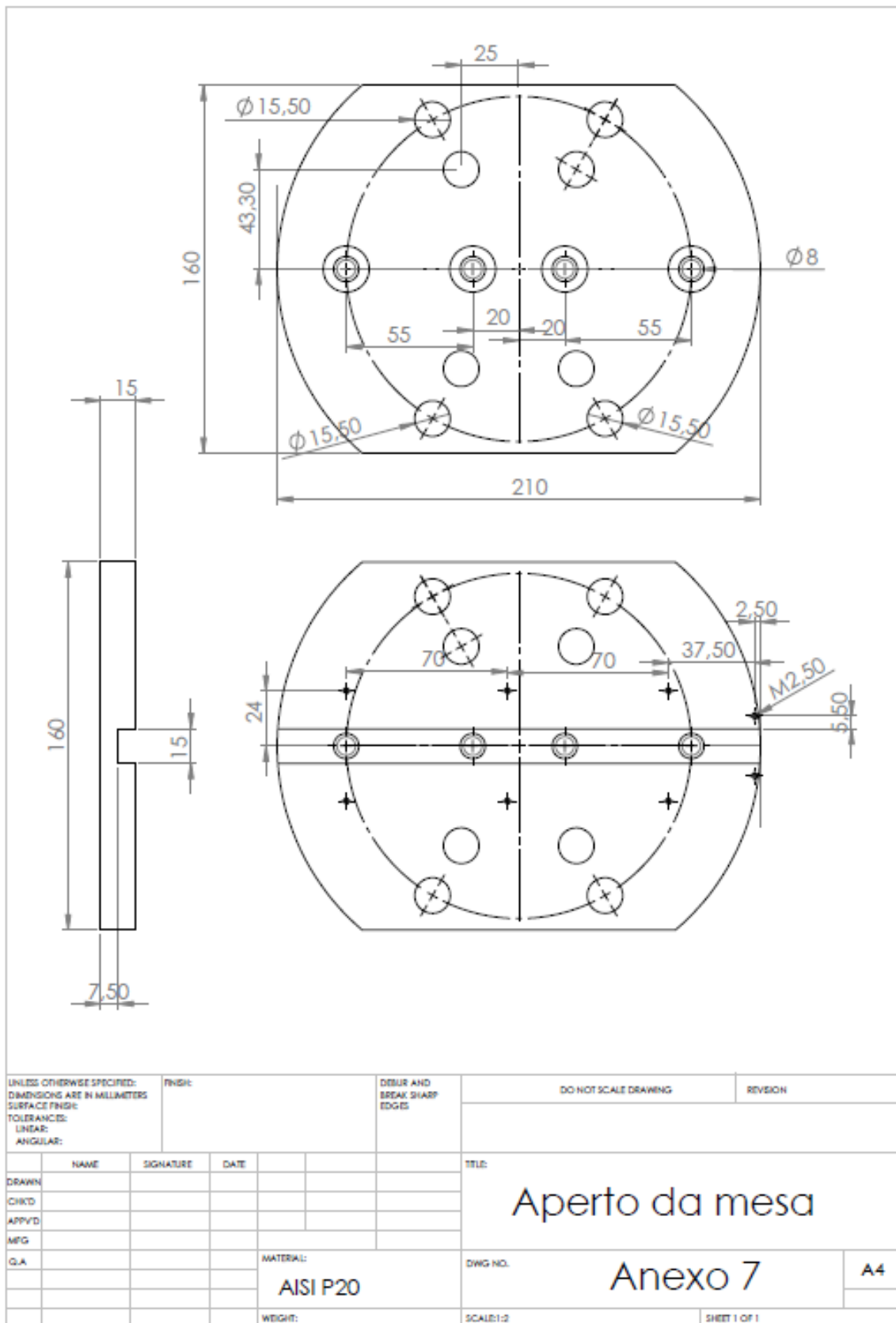
Anexo 5



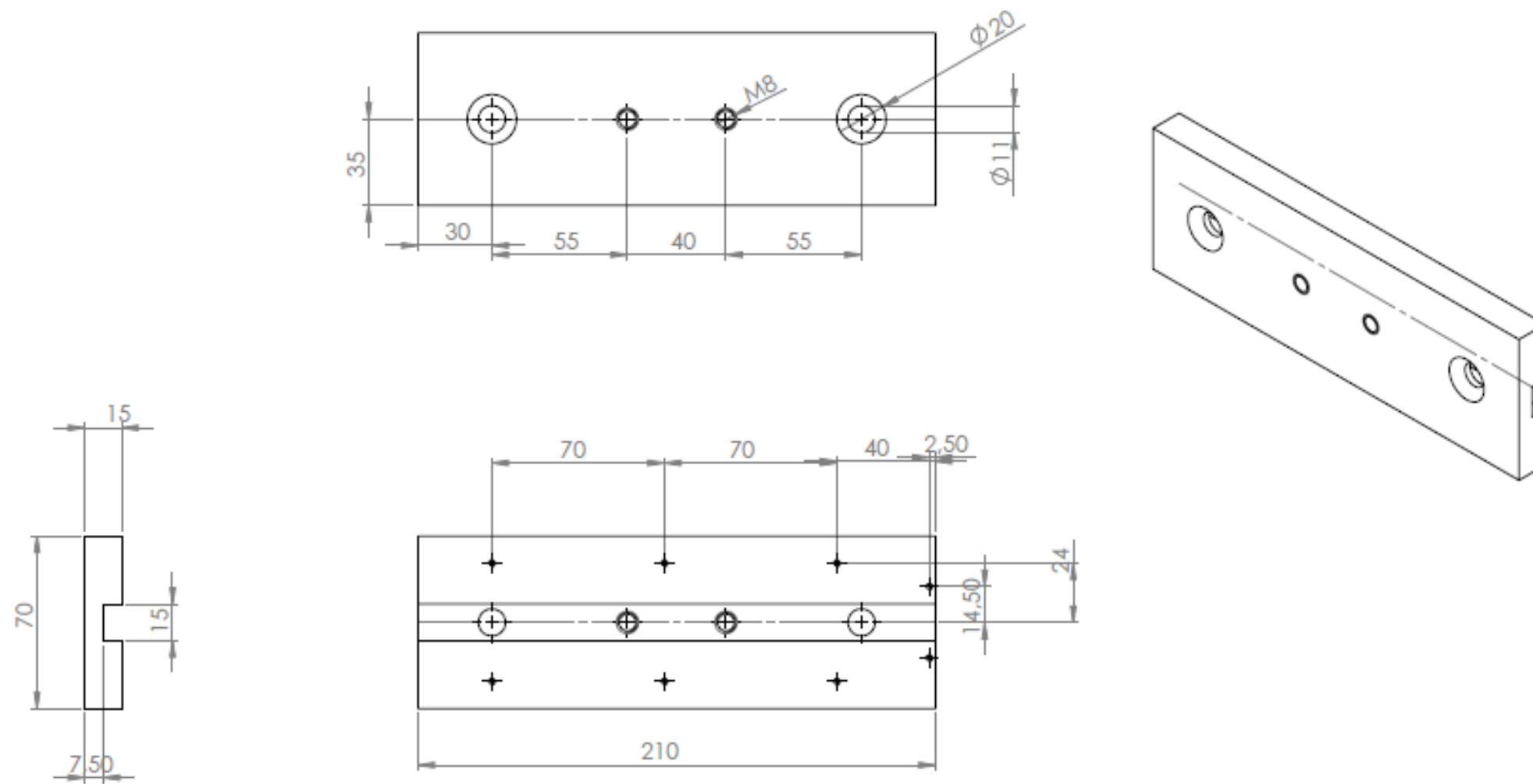
Anexo 6



Anexo 7

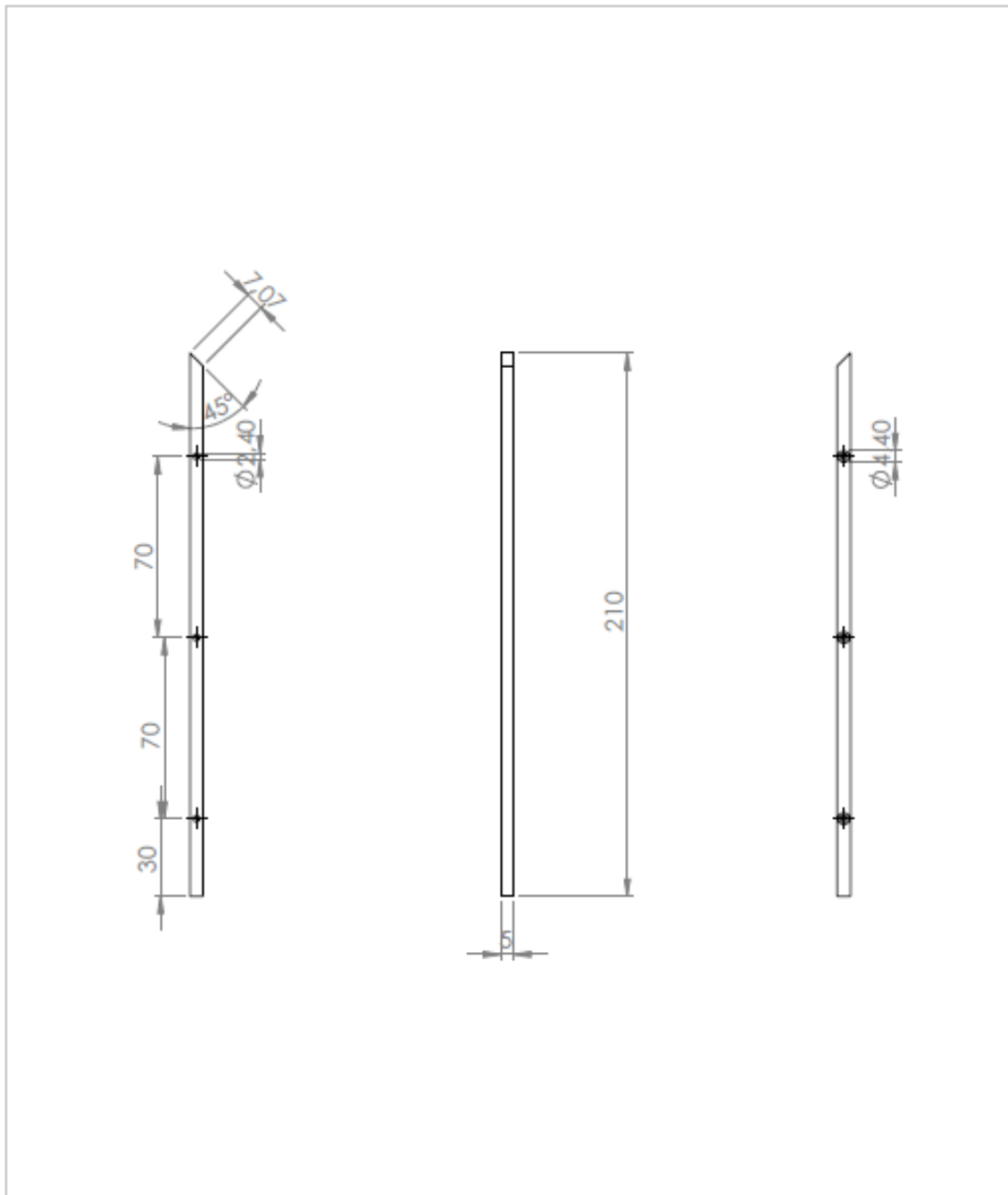


Anexo 8



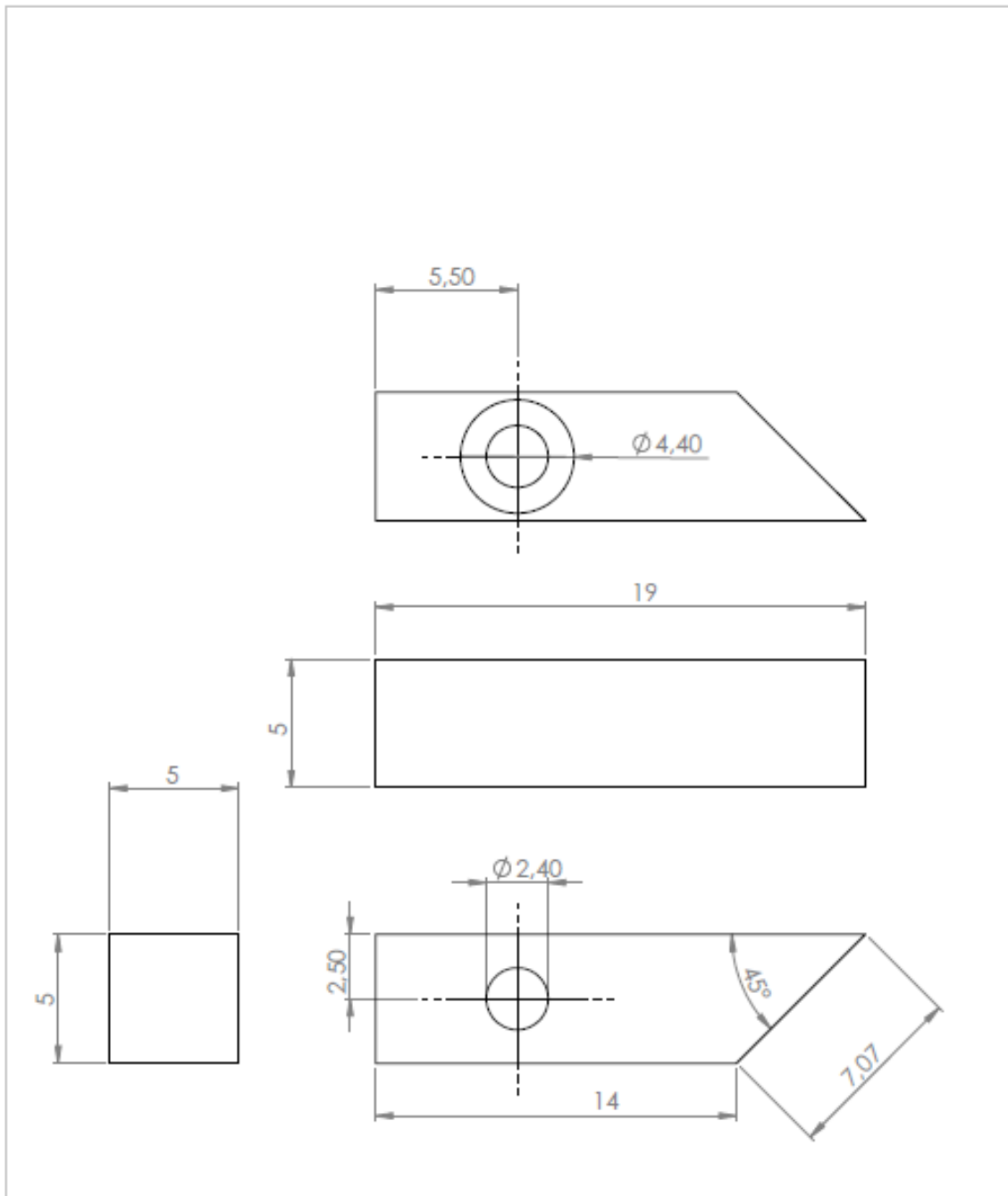
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN:				NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:	
CHKD:										Aperto 2	
APP'D:											
MPG:										Anexo 8	
Q.A:											
				MATERIAL:		AISI P20		DWG NO.		A3	
				WEIGHT:				SCALE:1:2		SHEET 1 OF 1	

Anexo 9



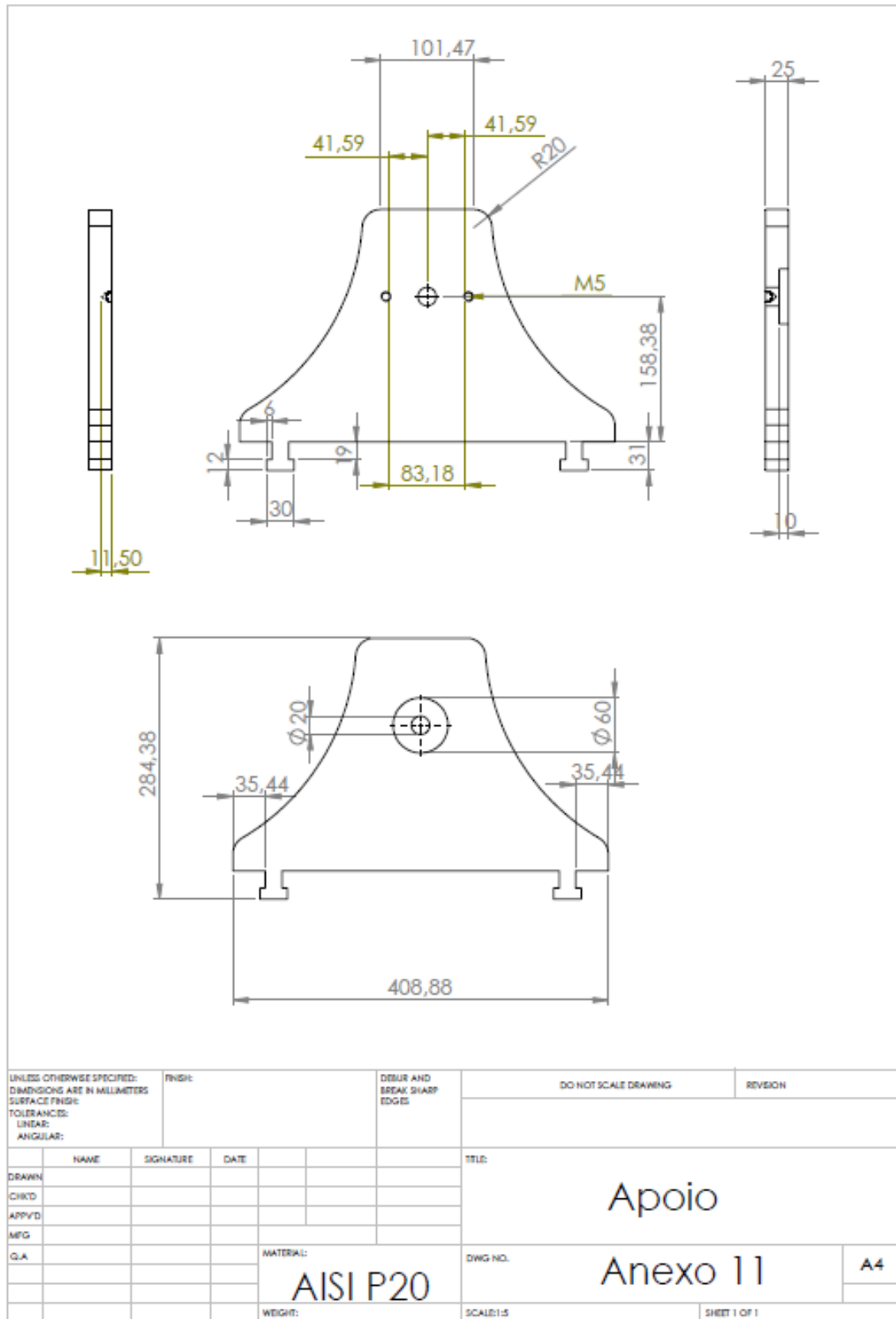
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES:		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN				NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:	
CHK'D										Guia	
APP'VD											
MFG										Anexo 9	
Q.A.											
				MATERIAL:		AISI P20		DWG NO.		A4	
				WEIGHT:				SCALE:1:2		SHEET 1 OF 1	

Anexo 10

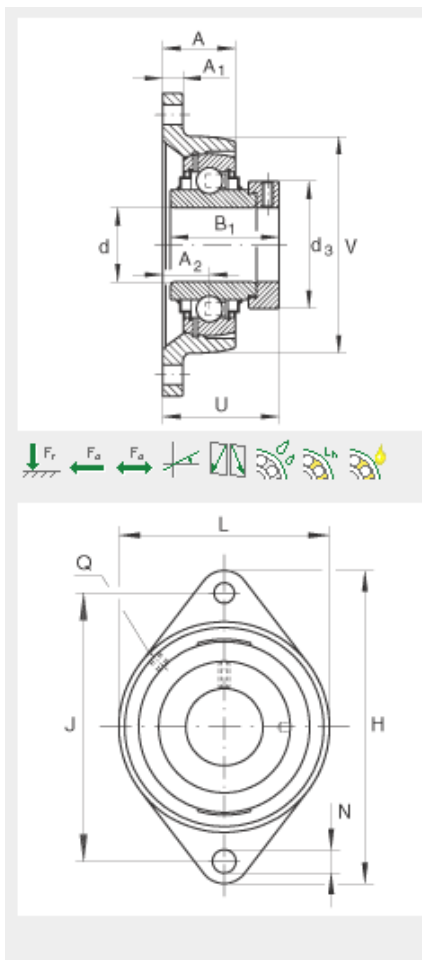


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
NAME	SIGNATURE	DATE				TITLE: Batente	
DRAWN						DWG. NO. Anexo 10	
CHKD						A4	
APP'D						SCALE: 1	
MFG						SHEET 1 OF 1	
Q.A.					MATERIAL: AISI P20	WEIGHT:	

Anexo 11

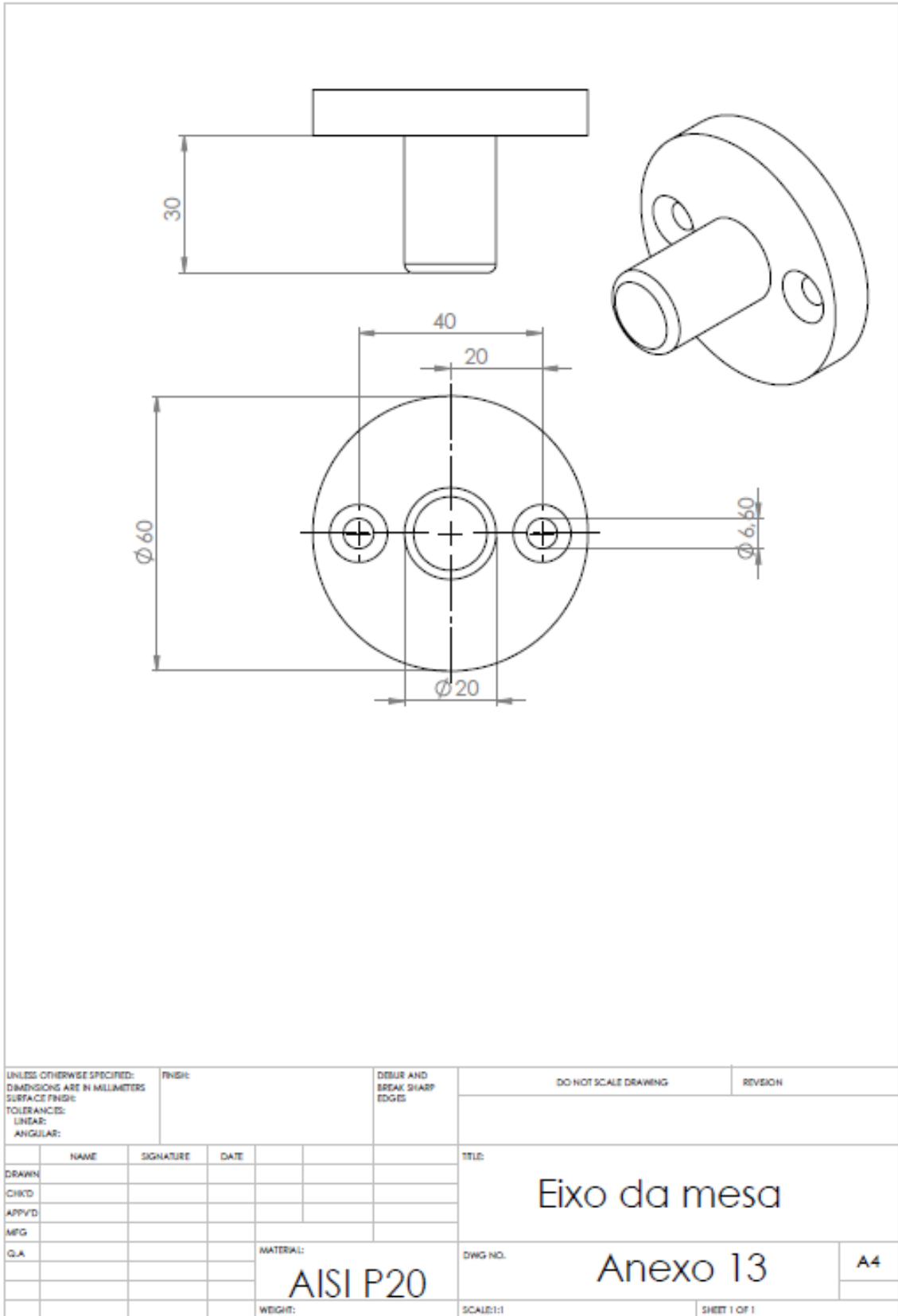


Anexo 12

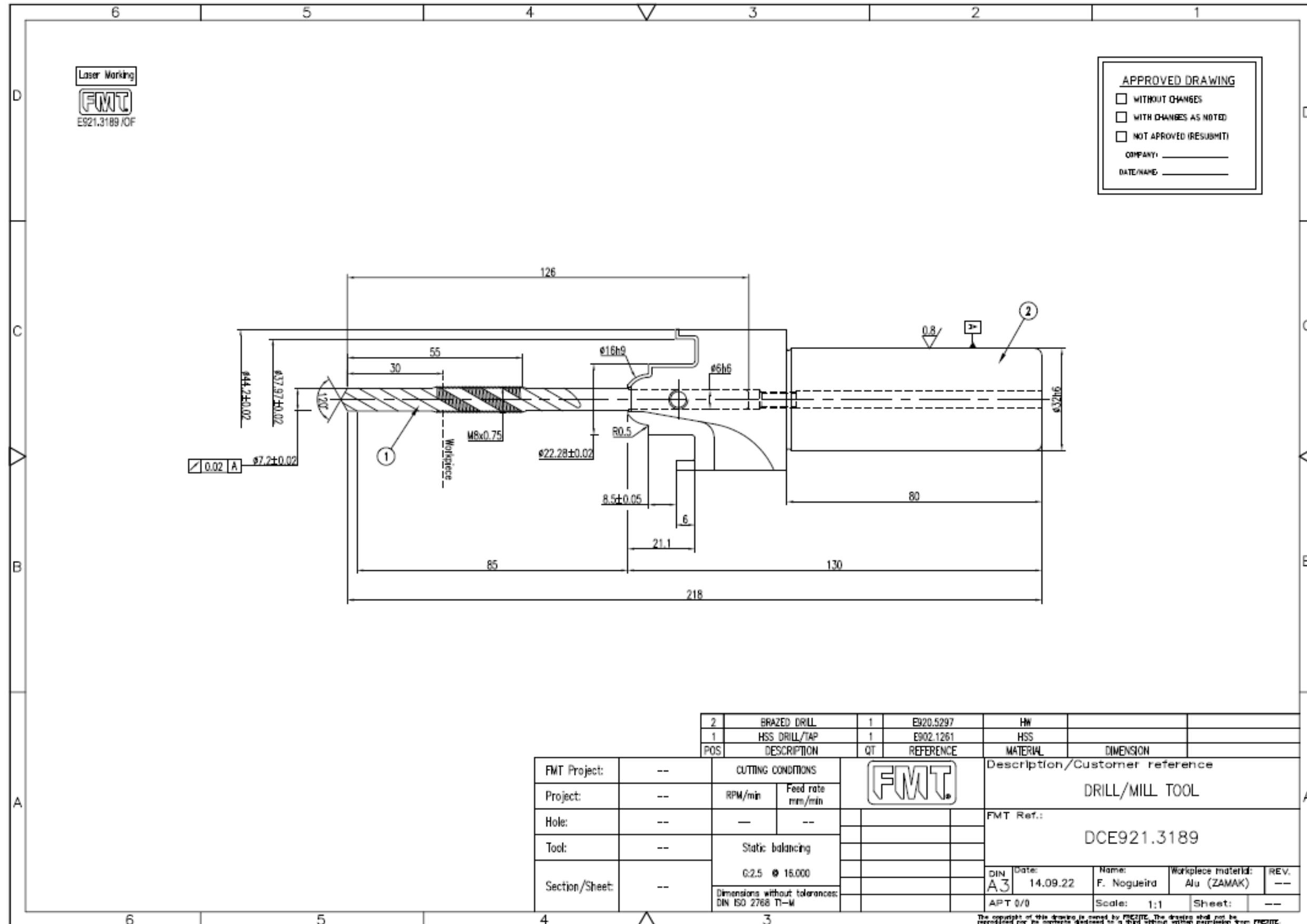


d	20 mm	
H	112 mm	
U	45,6 mm	
A	28 mm	
A₁	10 mm	
A₂	19 mm	
B₁	43,7 mm	
d_{3 max}	33 mm	
J	90 mm	
L	61 mm	
N	11,5 mm	
Q	Rp1/8	
V	61 mm	
m	0,52 kg	Mass
C_r	13600 N	Basic dynamic load rating, radial
C_{0r}	6600 N	Basic static load rating, radial
	GG.CJT04-N-FA125.1	Designation of housing
	GE20-KRR-B-FA125.5	Designation of bearing
	KASK04	Bearing end cap, closed design. To be ordered separately.
		Slot for bearing end cap

Anexo 13



Anexo 14



APPROVED DRAWING

WITHOUT CHANGES

WITH CHANGES AS NOTED

NOT APPROVED (RESUBMIT)

COMPANY: _____

DATE/NAME: _____

2	BRAZED DRILL	1	E920.5297	HW	
1	HSS DRILL/TAP	1	E902.1261	HSS	
POS	DESCRIPTION	QT	REFERENCE	MATERIAL	DIMENSION

FMT Project:	--	CUTTING CONDITIONS		FMT	Description/Customer reference				
Project:	--	RPM/min	Feed rate mm/min		DRILL/MILL TOOL				
Hole:	--	--	--		FMT Ref.:				
Tool:	--	Static balancing			DCE921.3189				
Section/Sheet:	--	G:2.5 @ 16.000			DIN	Date:	Name:	Workpiece material:	REV.
		Dimensions without tolerances: DIN ISO 2768 Tl-M			A3	14.09.22	F. Nogueira	Alu (ZAMAK)	--
					APT 0/0	Scale:	1:1	Sheet:	--

The copyright of this drawing is owned by FMCITE. The drawing shall not be reproduced for its contents disclosed to a third without written permission from FMCITE.